

Sommaire

Dédicaces

Avant-propos

Sigles et acronymes

Introduction générale

Première Partie : Présentation générale de la région de Saint-Louis

Chapitre 1 : Les caractères géologiques et hydrologiques de la région

Chapitre 2 : Le cadre aérologique de la circulation dans la région

Chapitre 3 : Le cadre humain

Deuxième partie : Variabilité pluviométrique et ses effets sur les cultures pluviales

Chapitre 1 : Présentation et traitement des données

Chapitre 2 : Etude de la variabilité pluviométrique

Chapitre 3 : Analyse des productions agricoles

Conclusion générale

Sigles et acronymes

AGRHYMET : Centre régional Agro-Hydro-Météorologie

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

AISH : Association Internationale des Sciences Hydrologiques

ANSD : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie

BRGM : Bureau de Recherche Géologique et minière

BU : Bibliothèque Universitaire

CIEH : Comité Inter-africain d'Etudes Hydrauliques

CSE : Centre de Suivi Ecologique

DAPSA : Direction de l'Analyse de la Prévision et des statistiques agricoles

DRDR : Direction Régionale de Développement Rural

ENDA T.M : Environnement et Développement Action dans le Tiers Monde

FLSH : Faculté des Lettres et des Sciences Humaines

FST : Faculté des Sciences et Techniques

IFAN : Institut Fondamental d'Afrique Noire

IRD : Institut de Recherche pour le Développement, ex ORSTOM

ISRA : Institut Sénégalais de Recherche Agricole

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

PLE : Plan Local d'Electrification de DAGANA-PODOR

SES : Situation Economique et Sociale

TER : Travail d'Etude et de Recherche

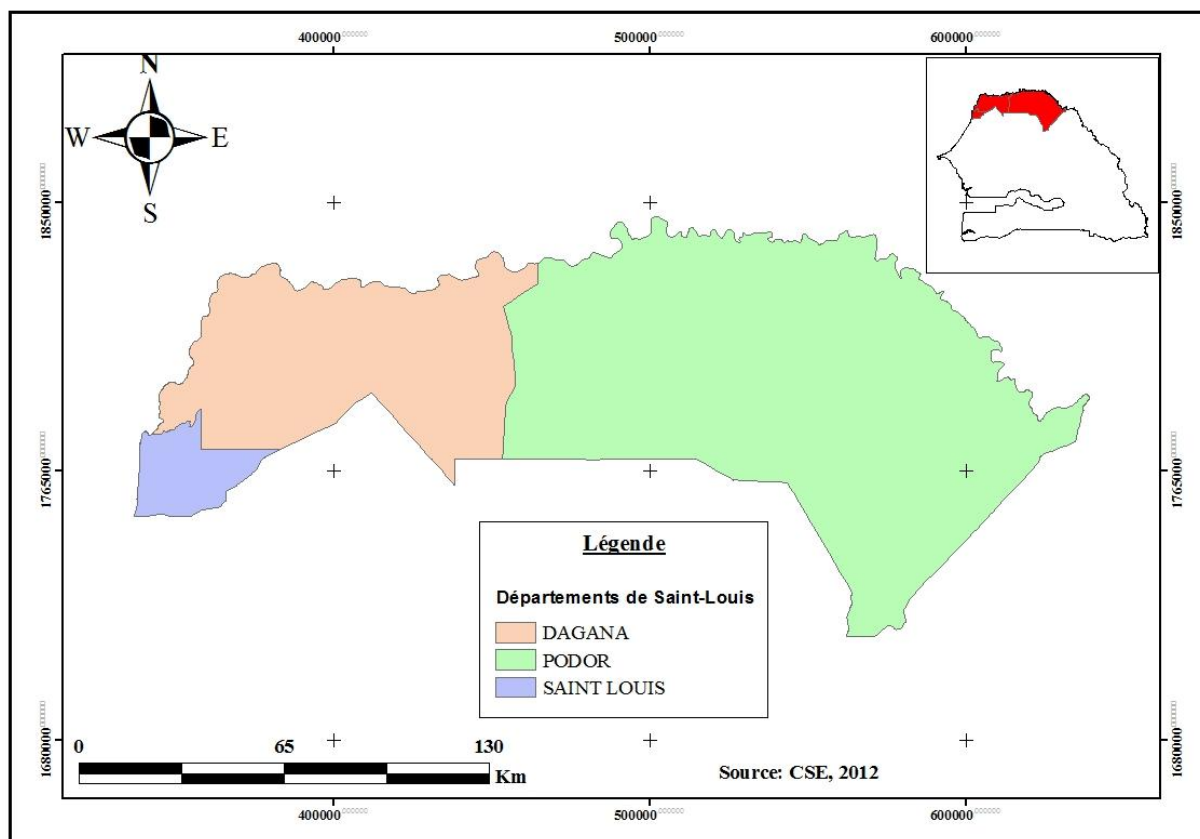
UEMOA : Union Economique et Monétaire Ouest Africaine

RFU : Reserve Facilement Utilisable

Introduction générale

L'Afrique de l'ouest, du point de vue climatique, est marquée par la mousson Atlantique qui se manifeste dans la région pendant la saison estivale. Sa présence est symbolisée par la pluviométrie. Celle-ci enregistre une variabilité notable dans les différents pays de l'Afrique de l'Ouest. « Des anomalies importantes ont d'ores et déjà été observées au cours du vingtième siècle dans les régimes pluviométriques liés aux moussons (...). Les régimes de moussons et leurs anomalies ont un impact important sur la vie des populations locales, qui sont très fortement tributaires du bon rendement de leurs cultures vivrières, lequel dépend d'un cumul suffisant des pluies de mousson ainsi que de leur bonne répartition au cours de la saison » (Janicot S., 2008).

Ainsi au Sénégal, la pluviométrie a diminué depuis la fin des années 1960 et décroît du Sud au nord (Sagna P., 2000 ; Konaté Y. K., 2000). Située au nord du Sénégal par 15°50'-16°30' de latitude Nord et 13°45'-16°30' de longitude Ouest, la région de Saint-Louis fait partie du domaine nord sahélien ; c'est la région la plus septentrionale du pays.



Carte 1 : Localisation de la région de Saint-Louis

A l'image de toutes les autres régions situées sur la bande sahélienne ; elle connaît un déficit pluviométrique notable depuis la fin des années 1960 (Sagna P., 2000). La région de

Saint-Louis est défavorisée par rapport au reste du pays par sa courte saison pluvieuse et la faiblesse interannuelle de sa pluviométrie. Cette instabilité pluviométrique crée des contraintes majeures pour le développement de la région. Car la région de Saint-Louis est une zone à vocation agro-sylvo-pastorale : la population évoluant dans le secteur « agriculture, élevage, forêt » représente 44% de la population active (ANSD, 2009). Hormis l'agriculture irriguée du riz, très développée dans la vallée du fleuve Sénégal, il existe les cultures sous pluies pratiquées dans le Diéri c'est-à-dire sur les hautes terres sableuses non soumises aux effets des crues saisonnières du fleuve. En effet l'irrégularité des pluies inquiète grandement les ruraux qui fondent leurs activités socio-économiques (l'agriculture et l'élevage) sur une bonne pluviométrie. Ceci explique l'intérêt des études portant sur la variabilité de la pluviométrie, avec comme objectif une bonne connaissance et gestion de la répartition des ressources en eau dans le but de suivre l'évolution des rendements des cultures sous pluies.

La mesure de la variabilité pluviométrique nécessite une suite d'années d'observation assez longue puisque les pluies au Sahel se distinguent par leur grande variabilité spatio-temporelle. C'est la raison pour laquelle une étude fiable de la pluviométrie doit porter sur des chroniques les plus longues possibles. C'est pourquoi notre étude portera sur l'ensemble des séries pluviométriques des stations de la région de Saint-Louis, depuis l'origine des observations. Elle permettra de caractériser la dernière décennie dont les apports sont nettement plus abondants et d'analyser ainsi parallèlement sa corrélation avec l'évolution des rendements de l'agriculture pluviale. Cette situation de retour d'une pluviométrie excédentaire depuis la décennie 1991-2000, par rapport à celle d'avant, redonne sans nul doute de l'espoir au monde rural qui aspire à un retour durable d'une bonne pluviométrie. Car « il faut 20mm de pluie en un seul jour ou deux jours successifs et non suivies d'une pause pluviométrique de sept jours pour semer à temps opportun » (Ndong J. B., 2012¹). Donc une longue pause pluviométrique provoque le ralentissement des semis ou tout simplement le flétrissement et la mort des jeunes pousses ; d'où toute l'importance de la problématique de l'analyse de la variabilité pluviométrique et de l'étude de son incidence sur les cultures pluviales. Il existe une littérature abondante sur l'étude de la variabilité pluviométrique dans les pays sahéliens, en général, et au Sénégal en particulier (Dacosta H., 1989) ; (Konaté Y.K., 2000) ; (Diouf R.N., 2001) ; (Dacosta H. ; Konaté Y.K. ; Malou R., 2002) ; (Thiam S., 2010), par exemple. La plupart de ces études sont guidées par le souci de connaître, de comprendre et de maîtriser

¹ : Cours de climatologie, master 1

la répartition spatiale et temporelle de la pluviométrie dans un contexte climatique contraignant.

Au Sénégal, l'impact des précipitations sur l'agriculture a fait l'objet de beaucoup de thèmes de réflexion: (d'Almeida A., 1996) ; (Ndiaye H., 2006) ; (Diatta I., 2007) ; (Sow A., 2010). Ces écrits analysant jusque là l'impact des pluies sur les activités agricoles dans quelques parties de la région de Saint-Louis se limitent en général à étudier les conséquences de la pluviométrie sur l'agriculture dans sa globalité. Mais rares sont les travaux uniquement consacrés à la variabilité pluviométrique (excepté le mémoire de Yaye Kandia Konaté ; 2000) et aussi ceux traitant l'incidence de cette variabilité pluviométrique sur les cultures pluviales. A cet effet, pour éviter la répétition, nous avons jugé nécessaire d'axer notre étude sur l'impact de la variabilité pluviométrique sur les cultures pluviales dans la région nord du Sénégal. Ce travail d'étude et de recherche entre en directe ligne de cette préoccupation.

Cadre conceptuel

L'intitulé de notre sujet requiert une définition et une discussion des concepts qui permettent de délimiter le libellé dans son contexte.

▪ Variabilité :

Selon le dictionnaire de la langue française Le Petit Larousse, « variabilité » se définit en ces termes : Caractère de ce qui est variable, susceptible de se modifier dans le temps ou l'espace. Le Petit Robert, au sens 3, définit le mot comme « un passage possible d'une quantité par différents états de grandeur ».

Reprenat Leborgne J., Sall A. B. (2004) définit la variabilité –pluviométrique- ainsi : « une suite de périodes de déficit profond et prolongé entrecoupées de courtes séquences de rémission, d'années moins déficitaires ou même excédentaires au nombre variable selon les contrées ». Cette définition intègre le mot «contrée». Ce qui veut dire que c'est en fonction de la position géographique d'une localité que la variabilité acquiert tout son sens.

▪ Pluviométrie :

Le dictionnaire Le Petit Larousse la définit comme « l'étude de la répartition des pluies dans l'espace et dans le temps ». La pluviométrie est le paramètre climatique le plus considéré et fait l'objet d'une très grande attention. Cet intérêt est dû à l'importance de la ressource qu'elle génère pour les activités humaines, les dégâts qu'elle pourrait provoquer liés à ses excédents et aussi les incidences causées par son déficit.

▪ Incidence :

C'est la conséquence plus ou moins directe de quelque chose.

- **Culture :**

Le dictionnaire Encarta donne plusieurs sens au mot : Action de faire pousser. Par ailleurs, exploitation de la terre destinée à la production. Type de plantes cultivées.

- **Pluviale :**

La même source définit ainsi 'pluvial' : « alimenté essentiellement par les eaux de pluie ; dans un autre sens : où l'on pratique une agriculture sans irrigation dans laquelle l'apport hydrique vient directement des eaux de pluies ».

Synthèse bibliographique

La thématique de ce travail d'étude et de recherche a fait appel aux écrits analysant généralement la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest. C'est à travers la prise en compte à cette échelle que la variabilité de ce paramètre sera comprise sur la région de Saint-Louis. Car celle-ci se situant dans la partie nord du Sénégal, a des conditions pluviométriques particulières, du fait de la migration de la mousson du sud vers le nord du pays (Sagna P., 2000). La pluviométrie conditionne ainsi considérablement les activités agricoles de la population dans la région.

A cet effet, dans le domaine de la pluviométrie d'énormes études y sont menées. Saint-Louis étant une station de très longue date (plus d'un siècle), les longues séries d'observation ont permis de constituer une base de données pour faciliter l'analyse de la variabilité pluviométrique, à travers les recueils pluviométriques du Sénégal (CIEH, ORSTOM, 1976 et 1990), des études allant dans le sens de la compréhension du phénomène de sécheresse (Olivry J.C., 1983). Après avoir rappelé que l'année climatique est divisée en deux saisons principales, la saison sèche et la saison pluvieuse, Ndong J. B. (1995) constate la tendance générale à la baisse de la pluviométrie depuis les années 1970. Il fait une classification des précipitations au Sénégal et distingue quatre domaines : la zone nord-sahélienne où les précipitations sont comprises entre 100 à 300mm; sud-sahélienne (de 300 à 500mm) ; nord-soudanienne (de 500 à 1000mm) et sud-soudanienne (1000 à 1500mm). D'après cette division, nous pouvons en déduire que la région de Saint-Louis se situe à cheval des deux premières zones. L'analyse adoptée par Ndong et les résultats des données permettent, en plus d'une idée sur les ressources pluviométriques dans le pays, de mesurer leurs impacts sur l'environnement et l'agriculture. Selon Dacosta et al. (2002), la fluctuation de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest résulte du nombre important ou pas des lignes de grains provoquant des pluies sur le territoire. Ils remarquent que depuis les années 1960 jusqu'à celles de fin 1990, presque sur trente années ; la descente méridienne des isohyètes a été très sensible : « Ils

décalent d'un demi-degré au Sud, par rapport au Nord où le décalage est d'un degré ». Leur analyse est fondée sur une observation à partir du nombre élevé de stations de mesure. « A partir de ces points de mesure, la masse de données collectées, de qualité variable, permet une analyse synthétique de l'évolution temporelle et spatiale de la pluviométrie au Sénégal », affirment-ils. Cet article montre sur plus d'un siècle une évolution en dents de scie de la pluviométrie et la répartition de la ressource eau sur le territoire national. Mais l'installation inégale des postes pluviométriques avec une concentration de ces derniers sur le littoral et le long de la vallée du fleuve Sénégal (Dacosta H. et al. Op.cit) ne facilite pas le traitement des données pluviométriques, jusque là trop lacunaires pour mettre en exergue les variations de ce paramètre. Ainsi, selon Dacosta H. (1989), la critique de celles-ci s'impose. « Les opérations critique et vérification de l'homogénéité des séries chronologiques précèdent toute utilisation des données pluviométriques » (Konaté Y.K., 2000). Elle a trouvé nécessaire d'aborder le thème 'variabilité' pour évaluer la physionomie des précipitations sur plusieurs décennies (de 1921 à 1998) et distinguer sur le territoire les zones déficitaires des zones excédentaires. La pluviométrie sur le territoire étant inégalement répartie, elle a adopté des méthodes de vérification de l'homogénéité des séries de pluies (la Méthode du Vecteur Régional). Adoptant le point de vue de Leroux M. et Sagna P., Konaté affirme que « c'est la durée de la saison pluvieuse qui est tributaire de la montée ou du retrait de la mousson ». Le nord par contre est défavorisé ; parce que dans sa progression vers le Nord, la mousson traversant le territoire n'a aucun soutien d'alimentation en eau (ni forêt dense, ni océan). Au Sud, Kédougou : la saison pluvieuse est au moins 170 jours ; au centre du pays, elle dure moins longtemps ; 112 jours à Niourou, 96 à Kaolack et 91 à Thiès ; au Nord, elle est beaucoup plus courte avec 75 jours à Louga, Podor et Matam. Ceci permet une estimation de la disponibilité en eau pour évaluer les besoins hydriques des cultures durant leur phase de croissance. Hiez G., (1977) et Moret B. (1969, 1979) ont mis sur point des outils facilitant l'homogénéisation de l'information pluviométrique ; la Méthode du Vecteur Régional en est la méthode la plus parfaite pour rendre opérationnels les fichiers pluviométriques. C'est avec les indices annuels du Vecteur, que l'étude des pluies annuelles sur l'ensemble de la région de Saint-Louis avec l'inégale distribution des stations de mesure est possible.

Par conséquent, nombreux travaux sont consacrés à l'impact que la variabilité constatée de la pluviométrie peut avoir sur l'agriculture en générale. Dans notre région d'étude, les travaux relatifs à cette thématique ne prennent en considération que quelques localités de la région. D'Almeida A. (1996) lui, a étudié les conséquences de l'évolution de la pluviométrie

sur la production agricole dans la région de Saint-Louis laquelle, était plus étendue qu'actuellement. Après avoir décrit les grands traits de la circulation en Afrique de l'Ouest, il remarque que les deux dernières décennies sont marquées par une sécheresse sans précédent dont la « conséquence première est le déficit pluviométrique » perceptible à travers la réduction des productions agricoles végétales et la baisse de la recharge des nappes d'eau souterraines. En effet, il caractérise les fluctuations des précipitations dans le Sahel d'un fait habituel mais ce qui est pour lui inhabituel réside dans la « réduction continue des pluies ces deux dernières décennies ». Ce qui, selon lui, pèse lourdement sur les productions agricoles. Par ailleurs, Sow A. (2010) caractérise la pluviométrie, annuelle, interannuelle, puis décennale dans « ce contexte de changement climatique », affirme t-il. Il étudie leur évolution par rapport à la Normale 1961- 1990. Analysant l'évolution mensuelle et décadaire de la pluviométrie qui permet de déterminer la durée de la saison humide, il évalue les fluctuations de ce paramètre à Gamadji Saré. Ce qui lui a permis d'apercevoir l'inégale distribution de la pluviométrie annuelle en deux périodes : une courte saison des pluies et une longue saison sèche et ainsi, d'apporter sa contribution sur les connaissances de cette variabilité sur les rendements agricoles et les activités pastorales dans cette partie Nord du Sénégal. Sene M. et al. (1993) évaluent les quantités d'eau reçues lors des périodes pluvieuses en vue de maîtriser les techniques de cultures sous pluies et de gérer le déficit hydrique. Ils mettent en exergue « la durée des périodes sèches, leurs fréquences et leurs probabilités », reprenant Sivakumar, 1991. Cette analyse amène à prendre parallèlement en compte les phases pluvieuses pour mesurer, à cet effet, le potentiel d'érosion des pluies sur les sols cultivables dans le bassin arachidier. Sur plus d'un demi-siècle, c'est-à-dire de 1951 à 2005, Ndiaye H. (2006) procède à la description de la pluviométrie par les écarts à la moyenne. Il remarque « cette crise pluviométrique (à Matam) se caractérise par de courtes périodes humides qui s'intercalent entre de longues périodes sèches ». Analysant la période 1999- 2005, il trouve une moyenne de 496mm, des écarts atteignant plus de 300mm et une seule année qui est déficitaire. Selon lui cette période semble être un retour à la 'normale' et peut être qualifiée de phase humide. L'utilisation de ces techniques de mesure lui permet d'apprécier le potentiel en eau nécessaire pour l'agriculture dans sa zone d'étude.

Objectifs de l'étude

L'objectif général de notre étude est d'analyser l'incidence de la variabilité pluviométrique sur les cultures sous pluies dans la région de Saint-Louis. Pour atteindre cette finalité, nous nous sommes fixés les objectifs spécifiques suivants :

- Analyser la pluviométrie de l'origine des observations à nos jours sur différents pas de temps.
- Analyser les effets de la variabilité pluviométrique sur les cultures sous pluies sur quelques années dans la région de Saint-Louis.

Hypothèses

- La pluviométrie au Sénégal en général et dans la région de Saint-Louis en particulier est très irrégulière d'une année à l'autre et au sein de la région elle-même.
- A différentes échelles de temps la pluviométrie dans la région nord est très variable.
- Cette variabilité pluviométrique se répercute sur le déroulement et la production des cultures sous pluies.

Méthodologie

Ce travail est réalisé sur la base de la méthodologie suivante :

➤ La revue documentaire

Elle a consisté à se rendre dans les centres de documentation suivants:

- L'Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD) ;
- La Bibliothèque Universitaire(B.U) ;
- L'Institut Fondamental d'Afrique Noire (IFAN) ;
- La bibliothèque du département de géographie ;
- L'Institut de Recherche pour le Développement (I.R.D) ;
- La bibliothèque ENDA Tiers Monde ;
- Le Centre de Suivi Ecologique (CSE) ;
- La Direction de l'Analyse et de la Prévision Statistique Agriculture (DAPSA).

Ce qui a permis de consulter les divers documents sur les thèmes ayant trait à notre sujet.

➤ La collecte des données

Les données ayant servi de cadre d'analyse à cette étude sont recueillies au niveau de la DRDR de Saint-Louis pour ce qui est des données pluviométriques journalières, à l'ANACIM pour les paramètres climatiques de la région de Saint-Louis et les données relatives aux cultures pluviales pratiquées dans la région sont obtenues à la DAPSA.

➤ Le traitement des données

Une fois les données pluviométriques obtenues, nous avons procédé à leur mise en forme, à la constitution de la base de données et à l'analyse par les outils suivants:

HYDRACCESS : Après avoir constitué une base de données sous ce logiciel, nous déterminons les fréquences de pluie, effectuons la critique des données annuelles par

l'application de la méthode du vecteur régional (Hiez G., 1977, 1986 ; Hiez G., Rancan L., Costa Barros M., Pedrollo O., 1985) jusqu'aux pluies journalières pour aboutir enfin aux fichiers pluviométriques opérationnels.

EXCEL : Cet outil nous a permis de traiter les données des paramètres climatiques, par la constitution de diagrammes et de courbes pour faciliter la lecture de l'évolution des constituants du climat et des rendements agricoles.

SURFER 10 : Logiciel qui permet d'effectuer les cartes des isohyètes décennales et trentenaires sur l'ensemble de la région étudiée.

BHidrico GD 5.0 2010-R : A l'aide de ce modèle, nous avons calculé automatiquement l'évapotranspiration potentielle de Penman-Monteith-FAO (d'Angiolella G.L.B., 2004), par l'ajout de tous les paramètres climatiques mensuels aux colonnes indiquées à cet effet des stations de Saint-Louis et de Podor.

Ainsi le travail s'articule autour de deux grandes parties:

- La première partie, divisée en trois chapitres présente le cadre physique et humain de la région de Saint-Louis.
- La deuxième partie porte en premier lieu, sur l'analyse de la pluviométrie ; puis dans un second temps l'incidence de cette dernière sur les cultures sous pluie.

**PREMIERE PARTIE : PRESENTATION GENERALE
DE LA REGION DE SAINT-LOUIS**

Chapitre 1 : Les caractères géologiques et hydrologiques de la région

La région de Saint-Louis du point de vue géologique appartient au grand bassin sédimentaire sénégal-mauritanien. Ce dernier « est une superposition de dépôts allant du secondaire au tertiaire » (Sy B. A., 1995). La région est située sur la vallée du fleuve Sénégal et, présente à cet effet un relief plat où les quelques élévations constituent les dunes formées au cours du quaternaire. Cette période est marquée par l'alternance de phases sèches et humides au cours desquelles « la transgression nouakchottienne datée environ 5500 ans BP (Holocène moyen) atteignait les limites de Boghé, situé à 250 kilomètres de la côte » (Michel P., cité par Sall M., 2006). Elle est suivie par la phase ogolienne (22000 ans BP) durant laquelle le climat était sec : c'est l'édification des dunes remarquées le long de la vallée orientées globalement NNE-SSW ainsi que la mise en place des cordons littoraux.

I. Les sols

« Les sols représentent les transformations de la partie superficielle de la lithosphère, surtout sous l'influence du milieu bioclimatique » (Michel P., 1973). La pédogenèse de la région de Saint-Louis est le résultat de l'évolution morphologique marquée par l'alternance de périodes sèches et de périodes humides suivant les caractéristiques du climat de la zone. Des cuvettes argileuses aux terres du Dièri en passant par les hautes levées deltaïques, les sols diffèrent par leur appartenance aux deux unités géomorphologiques bien distinctes dans la région de Saint-Louis : le Walo et le Dièri.

1. Les différentes unités du Walo

Le walo constitue la zone inondable par les crues du fleuve. Selon la morphologie du relief, les sols ont en général une forte teneur en argile dépendant de leur niveau d'immersion. Ils se répartissent en :

➤ Falo

C'est la partie du mineur du fleuve constituée de dépôt actuel. Elle présente une pente faible et les sols composés de mélanges d'argile et de sable fin sont favorables aux cultures d'irrigation et de décrue.

➤ Fondé

Appellation des paysans toucouleurs, le Fondé représente les levées fluvio-deltaïques. « Les levées sont des bourrelets de berge construits par le fleuve lui-même à partir de piégeage de sédiments » (Sy B.A., 1995). Seule la crue forte peut submerger les sols peu évolués rengorgés d'eau renfermant du sable et du limon.

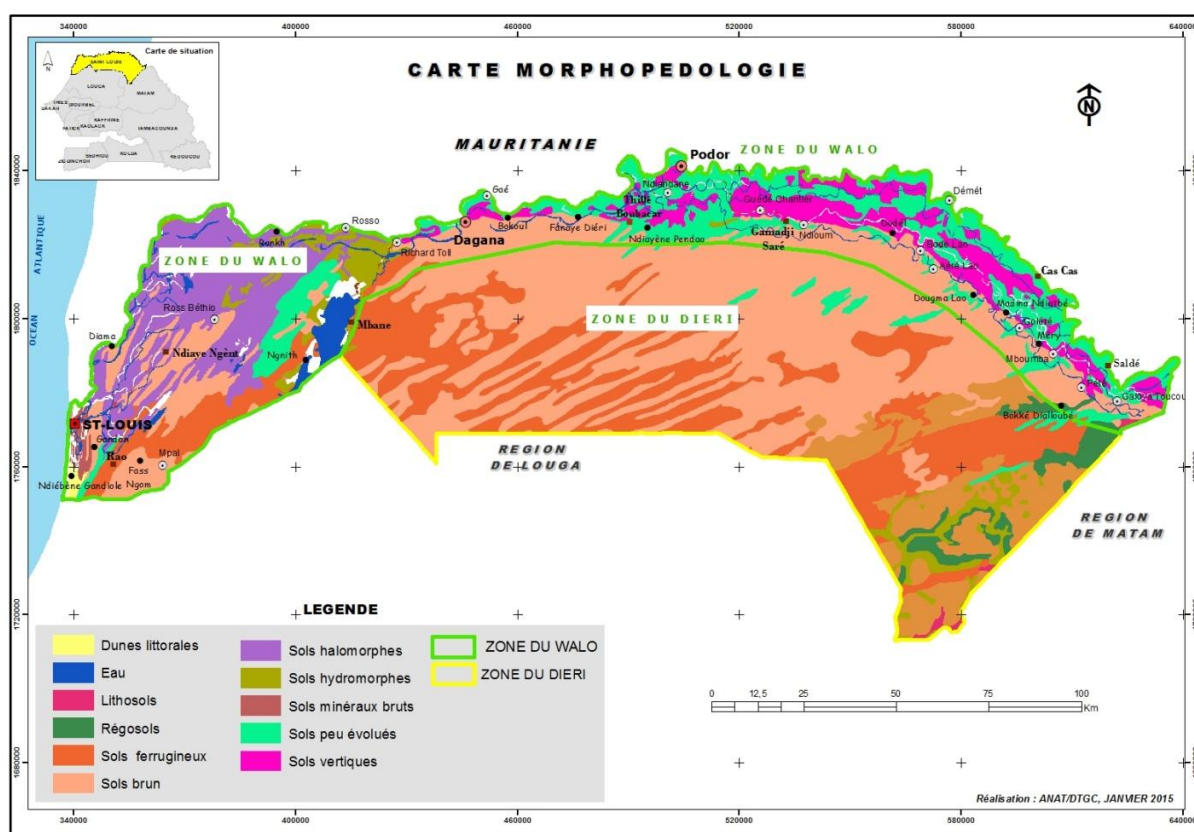
➤ Cuvettes de décantation

Ce sont des parties basse de la vallée, déprimées où les eaux sont stagnantes durant quasiment toute l'année. Elles sont situées au niveau du lit mineur du fleuve et accumulent de l'argile due à la sédimentation. Les sols sont de type hydromorphes² ; «ils supportent les longues submersions d'hivernage et se fendillent en saison sèche sous l'effet de la dessiccation » (Sow M. A, 1998).

2. Le Dièri

Dans cette partie de la région, les sols sur dunes ogoliennes sont formés au Quaternaire et sont de texture légère et subissent facilement l'action éolienne. Ils appartiennent à la catégorie des sols subarides tropicaux. Les sols du Dièri ne subissent pas l'influence des crues du fleuve. C'est le domaine des cultures pluviales.

Le Dièri est notre espace d'étude car les cultures sous pluies se pratiquent sur ces hautes terres à texture mono-granulaire très sableuse : « ces sols se caractérisent par une texture sableuse comprenant plus 95 pour cent de sable totaux » selon Khouma M., 2002.



Carte 2 : carte pédologique de la région de Saint-Louis

² : Se dit d'un sol ou d'un horizon dont les caractères sont dus à la présence temporaire ou permanente de l'eau (Atlas du Sénégal, 2007).

II. L'hydrologie

La région possède un réseau hydrographique très important. Il est réparti entre les eaux de surface et les eaux souterraines. Les eaux de surface sont essentiellement constituées par le fleuve Sénégal, ses défluent avec le lac de Giers, les marigots, les mares temporaires formées durant la courte saison des pluies.

Comme l'a rappelé Malou R. (2004), le Sénégal est dans sa quasi-totalité contenu dans le bassin sédimentaire sénégal-mauritanien qui dispose d'un potentiel important de stock d'eau. La principale ressource d'eaux souterraines constitue la nappe du Maastrichien dont la profondeur varie entre 50m et 250m (PLE, 2003). Selon le CSE (2005), cette nappe datant du secondaire a un puissant débit, et selon les mesures réalisées par le BRGM en septembre 1970 la nappe du Maastrichien s'écoule parallèlement au fleuve vers une dépression piézométrique située vers Tatki et Diaglé. Par ailleurs, une partie des eaux souterraines dans la région de Saint-Louis est contenue dans la nappe éocène (Tertiaire), ses réservoirs sont multiples et principalement liés à des phénomènes de karstification. Il ya la nappe Quaternaire (Continental Terminal) : sa profondeur varie entre 5 et 10m. Au fur et à mesure qu'on avance dans le Diéri, l'eau est dans l'ensemble de qualité acceptable, mais elle est quelques fois saumâtre (CSE, op. cit).

Conclusion partielle

Ainsi, la faible topographie datant du secondaire au quaternaire caractérise la région avec différents types de sols. Elle possède d'importantes ressources hydriques aussi bien de surface que souterraine. La configuration de la région fait que la zone a un climat peu contrasté.

Chapitre 2 : Le cadre aérologique de la circulation dans la région

I. Les principaux traits du climat de la région

Le Sénégal est inscrit dans la dynamique de la circulation atmosphérique planétaire en général et de l'Afrique de l'ouest en particulier. Il est situé entre 12°5 et 15°5 de latitude nord et les longitudes 11°21 et 17°32 ouest, donc appartient au domaine tropical : ce qui confère au pays des caractéristiques climatiques remarquables. Ces dernières sont conditionnées d'une part par les centres d'action qui ceinturent la zone intertropicale à 23°27 de part et d'autre des latitudes nord et sud. Les flux issus de ces Hautes Pressions Tropicales organisent la circulation à l'intérieur de la zone par le déplacement de l'Equateur Météorologique. Ce dernier régit par la même occasion l'alternance des saisons qui rythment le climat dans les différentes régions du pays.

Ainsi la région de Saint-Louis s'étendant entre les latitudes 15°50- 16°30 Nord et les longitudes 13°45- 16°30 Ouest connaît deux principales saisons conditionnées par la circulation atmosphérique, dont les anticyclones tropicaux (Açores et Sainte Hélène) et les Basses Pressions Intertropicales sont le moteur.

En hiver boréal, l'anticyclone des Açores est puissant du fait du renforcement des Anticyclones Mobiles Polaires durant cette période. Il propulse vers la zone tropicale le froid venant des pôles en passant par les moyennes latitudes. Les vents qu'ils génèrent entraînent la fluctuation saisonnière de l'Equateur Météorologique qui, en retour détermine les différents types de temps notés dans la région.

1. L'Equateur Météorologique (E.M.)

Elle est la discontinuité des flux d'air circulant de part et d'autre de l'équateur géographique et est fluctuante en fonction de la circulation des vents issus des deux hémisphères. Elle sépare la circulation d'alizé de celle de la mousson. Ses mouvements influent énormément sur la répartition des saisons dans les différentes zones climatiques. Selon ses migrations méridiennes saisonnières, différents types de flux suivant ses déplacements déterminent le temps au Sénégal.

2. L'hiver boréal

Durant cette période, le renforcement de l'anticyclone des Açores et la cellule libyenne centrée sur le Sahara font pression sur l'Equateur Météorologique (EM) qui migre vers l'Equateur. Cette subsidence de l'air crée des conditions favorables au développement des flux aux caractères hygrométriques distincts, particulièrement en Afrique de l'ouest.

a. L'alizé maritime

De direction dominante Nord à Nord-Ouest, ce flux provient de l'Anticyclone des Açores et a un parcours essentiellement océanique. Ce vent intéresse surtout la frange côtière du pays ; de Dakar à Saint-Louis. Il est marqué par une humidité relative élevée, une faible amplitude thermique. Dans la région de Saint-Louis, le flux d'alizé intéresse surtout la partie occidentale de la région ; plus il dirige vers l'intérieur plus il acquiert les caractères de l'harmattan : « il s'arrête à une vingtaine de kilomètres à l'intérieur des terres » (Poussin J.C., 2008). L'insuffisance de sa hauteur au large de l'Afrique occidentale (500 mètres environ) empêche toute condensation de la vapeur d'eau et par conséquent absence de pluies. « Ce ne sont pas les alizés qui gonflent les totaux pluviométriques des régions intertropicales », remarque Leborgne J. (1988). Dans sa progression vers l'intérieur du pays, ce vent s'assèche et devient de plus en plus chaud.

b. L'harmattan

De direction Est à nord-est dominant, l'harmattan est chaud et sec du fait de son long parcours continental. Il provient du renforcement de l'anticyclone des Açores et de la cellule anticyclonique maghrébine durant l'hiver boréal. Dans la région de Saint-Louis, ce vent intéresse surtout les départements de Dagana et de Podor dû à leur position très continentale. Il souffle sur presque sept à huit mois de l'année (de novembre à mai).

3. L'été boréal

L'été boréal coïncide avec le changement de direction de la circulation d'alizé provenant de l'hémisphère sud, modifiant les caractères thermiques et hygrométriques de ce dernier et devient vecteur de précipitations ; c'est la mousson.

➤ La mousson

« Une mousson est donc génétiquement le prolongement dans un hémisphère d'un alizé issu d'une Agglutination anticyclonique (ou directement d'un AMP) de l'autre hémisphère, attiré par une pression thermique dans l'hémisphère en été » (Leroux M., 2000). Elle est de direction Sud-ouest dominante et d'épaisseur variable décroissante du Sud vers le Nord. A cet effet, la présence de la mousson favorise la pluie mais, « la mousson qui parvient sur la région en été est peu épaisse et déjà asséchée, restreignant ainsi l'efficacité des lignes de grains » selon Leroux M. (op.cit). Cette situation cause des préjudices à la mise en culture des spéculations durant la saison des pluies.

II. Les éléments du climat

Le sujet de notre étude nécessite de prendre en compte les autres paramètres climatiques qui conditionnent le temps dans la région et jouent un rôle déterminant dans le cycle saisonnier de la pluviométrie. A cet effet leur influence sur le déroulement de la pluviométrie ainsi que sur le cycle végétatif des cultures est crucial. Il s'agit des températures, de l'humidité relative, de l'insolation, de l'évaporation et de la direction ainsi que la fréquence des vents dans la zone. Mais l'analyse se limite seulement aux départements de Saint-Louis et de Podor, celui de Dagana ne dispose pas de station synoptique ou climatologique, selon l'ANACIM.

Ainsi le traitement de ces paramètres climatiques obtenus auprès de cette structure et qui porte sur 23 années (de 1990 à 2012) montre un caractère non homogène du climat de la région.

1. Les températures

Les températures de la région de Saint-Louis sont loin d'être uniformes sur la toute zone ; elles sont plus clémentes dans ledit département que celui de Podor. L'analyse des températures moyennes sur les vingt-trois années découle des températures maximale et minimale à Saint-Louis et à Podor. Sur toute la série, les moyennes indiquent que les maxima n'ont jamais descendu les 30°Celsius à l'île à Morphil. Par contre à Saint-Louis les températures moyennes sont plus douces dues à l'air marin.

Les températures moyennes mensuelles à Podor sont bimodales: 32,9° enregistrées au mois de mai pour le maximum principal et le maximum secondaire enregistré au mois d'octobre avec 31,9°. Cette situation peut s'expliquer par le fait que le mois de mai coïncide avec la remontée de l'équateur météorologique vers le nord et octobre son retrait. A Saint-Louis, la moyenne des températures tourne autour 24,7° en avril pour les minima et 29,2° en septembre pour le maxima. Ce phénomène s'explique par le fait que la localité est sur la côte et bénéficie de l'influence maritime sur la quasi-totalité de l'année.

2. L'humidité relative

L'humidité relative est la quantité d'eau contenue dans une colonne d'air, elle est fonction des températures et exprimée ici en pourcentage. Elle est plus élevée à Saint-Louis qu'à Podor avec des minima notés partout en janvier. Cette importante humidité à Saint-Louis s'explique par des températures diurnes basses sur la quasi-totalité de l'année due à la présence de l'air humide provenant de la mer. La plus forte humidité est notée en septembre dans les deux départements du fait que durant ce mois l'atmosphère est saturée et que l'ensoleillement est

réduit. Podor par sa continentalité accentuée par l'harmattan qui assèche l'air est tout simplement marqué par une faible humidité relative. Ce qui n'encourage pas le développement des plantules, à moins que le choix des paysans se porte sur les cultures à cycle court pendant l'hivernage.

3. L'insolation

L'insolation est la durée pendant laquelle les rayons solaires atteignent la surface terrestre, elle est exprimée en nombre d'heures par mois. Elle est plus fluctuante à Saint-Louis avec un pic en Février de 9,7 heures/mois, le point le plus bas de la série se situe au mois de juin avec une moyenne de 6 heures/mois. Cette forte insolation à Saint-Louis durant le mois de février peut découler d'un ciel tout à fait dégagé qui ne fait qu'accentuer le rayonnement solaire. A Podor les moyennes mensuelles sont plus régulières où la plus forte insolation s'observe en avril avec une moyenne de 8,9 heures/mois pour redescendre à 7 heures/mois en juin. Ce phénomène est occasionné surtout par la permanence des vents de poussière surtout durant la longue saison sèche qui font barrière à l'ensoleillement.

4. L'évaporation

L'évaporation exprimée en millimètres, est le phénomène de perte d'eau par l'air ambiant sur les plans d'eau et dans le sol. Elle est importante dans la région nord du fait de la forte insolation notée et l'aridité de son climat. L'évaporation est plus forte à Saint-Louis qu'à Podor due à ses températures élevées. La moyenne maximale se situe au mois de janvier (6,2mm) et le minimum relevé en septembre pour 2,7mm seulement. A Podor l'évaporation moyenne atteint 10 mm au mois de mai, la valeur minimale tourne autour de 4,2mm en septembre. Cela s'explique dans ce département par la siccité de l'air : ce qui ne profite pas aux cultures plus exigeantes en eau. La période durant laquelle l'évaporation est moindre à Podor est le mois de septembre, moment où l'humidité est maximale due à la saturation de l'atmosphère pendant la saison des pluies. A Saint-Louis sur toute la série des années, l'évaporation est plus régulière occasionnée par la présence durant toute la saison non pluvieuse de l'alizé maritime et une atmosphère plus humide qu'apporte la mousson pendant l'hivernage.

5. Les vents

L'analyse des vents est exprimée à travers la direction dominante ainsi que la fréquence. Comme les autres paramètres évoqués ci-haut, nous avons une moyenne de 23 ans de 1990 2012 qui concerne Saint-Louis et Podor.

➤ **La direction des vents**

La direction dominante est nord à Saint-Louis, ce sont les vents d'alizé. Ils sont remplacés à partir de juillet par le flux nord-ouest et trop oscillante à Podor avec une prédominance ouest à partir du mois d'avril ce qui est précoce ; c'est le début de l'hivernage. Mais c'est en juillet que la direction prenne une orientation globalement ouest à l'île à Morphil. Nous sommes en saison des pluies ; cette période est cruciale dans l'activité des paysans qui entament les premiers semis.

➤ **La vitesse des vents**

La vitesse est exprimée en mètres par seconde (m/s) mais elle n'est pas la même dans l'ensemble de la région. A Saint-Louis elle est plus importante due pendant la saison sèche au renforcement de l'alizé maritime durant cette période. Le mois d'avril enregistre la vitesse de vents la plus élevée avec 115 m/s avant qu'elle commence à s'atténuer généralement à partir du mois de juin pour avoisiner en moyenne 68,1 m/s. Ce ralentissement peut s'expliquer durant l'hivernage par l'humidité élevée de l'air qui casse considérablement la vitesse des vents. Par contre à Podor, cette dernière est moins importante ; tout au long de la série les vitesses n'ont jamais atteint 45 m/s. En terme de pourcentage, une première allant de novembre à mars où les valeurs atteignent 93,6% au mois de janvier : c'est la période de l'harmattan. La deuxième période coïncide avec l'installation de la saison des pluies avec le record noté au mois de juillet pour une vitesse de l'ordre de 95,8%. L'effet d'une pareille vitesse peut empêcher les petites pousses d'atteindre la maturité et par conséquent causer de médiocres rendements.

III. Les types de précipitations de la région

Les précipitations qui surviennent au Sénégal en général et la région de Saint-Louis en particulier sont le résultat antagoniste des flux issus des hémisphères Nord et Sud à travers respectivement, les anticyclones des Açores et de Sainte Hélène qui conditionnent la circulation planétaire. L'équateur météorologique, discontinuité séparant cette circulation joue un rôle déterminant dans l'alternance des saisons sous nos latitudes.

1. Les pluies d'hivernage

Les précipitations de l'hivernage sont liées à la mousson atlantique qui intervient au Sénégal que pendant l'été boréal, elle fait son entrée par le sud-est du pays dès le mois d'avril et, progressivement envahit le pays pour atteindre le nord en juin. La durée de la saison des pluies est tributaire de la migration de la mousson accompagnant la progression ou le retrait latitudinal de l'Equateur Météorologique. La saison est ainsi plus longue au Sud du pays où

cette zone reçoit en premier et en dernier le passage de la mousson, par contre au nord la durée de la pluviométrie est plus courte résultant du cours séjour de ce flux instable et humide. Les pluies qui interviennent à travers les manifestations de la mousson durant cette saison sont d'une part liées à la partie active de l'Equateur Météorologique et d'autre part aux lignes de grains.

a. Les pluies liées à l'Equateur Météorologique

Les pluies liées à cette structure surviennent généralement au cœur de l'été. « Située dans les couches moyennes de la troposphère (2000-5000mètres), la partie active de l'Equateur Météorologique se manifeste par des formations nuageuses denses. Elle remonte vers le nord jusqu'à une ligne Kaolack-Kédougou qui marque sa position extrême. Les précipitations générées sont abondantes et non orageuses » (Sagna P., 2000). Ce qui signifie qu'au-delà de cette ligne seules les précipitations liées aux lignes de grains donnent les cumuls enregistrés durant cette saison.

b. Les pluies liées aux lignes de grains

La ligne de grains est une perturbation pluvio-orageuse mobile qui se forme soit à partir d'une incursion du flux d'alizé soit du flux d'est supérieur (Jet d'Est Africain Nord), (Sagna P., 2000). En outre, elle est un phénomène orageux caractérisé par une variation très importante de la vitesse, débutant brusquement et s'amortissant plutôt rapidement et souvent accompagné d'averse ou d'orage. C'est à cet effet que les précipitations liées aux lignes de grains sont uniquement orageuses et leur caractère discontinu dans le temps comme dans l'espace entraînant une insécurité climatique qui s'aggrave vers le nord mais également vers l'ouest ; là pour une même latitude, la saison des pluies est plus tardive et connaît une fin plus précoce que dans l'intérieur (Sagna P., op. cit).

Ces pluies selon leur caractère ne semblent pas offrir toutes les conditions hydriques nécessaires aux cultures pratiquées durant la saison pluvieuse dans la région nord. Ce que nous vérifierons à partir de l'analyse des données pluviométriques.

2. Les pluies de Heug

Mise à part les précipitations enregistrées durant l'hivernage, il y a celles liées à des poussées d'air polaire des régions tempérées. Ces précipitations tombent durant l'hiver boréal, de novembre à avril surtout au nord du pays et « ce sont des situations au cours desquelles la pénétration polaire possède une intensité capable de modifier la structure des Hautes Pressions Tropicales à partir et au-delà des couches moyennes » (Leroux M., cité par Diouf R.N., 2001) : elles sont appelées des pluies de Heug ou pluies de « mangues ». Elles sont en

général faibles au sol du fait de la prédominance, durant leur évolution, de la siccité de l'air ; mais exceptionnellement peuvent être importantes. Comme ce fut le cas en 2002 au Sénégal, par exemple 115,8 mm sont enregistrés en janvier à Podor, avec d'énormes dégâts surtout chez les populations rurales. Les pluies de Heug sont insignifiantes pour les cultures donc ne sont pas souhaitables par les paysans.

Conclusion partielle

Appartenant à la zone sahélienne, la région de Saint-Louis se distingue par les pluies de courte durée de l'hivernage. L'agriculture pluviale se pratique durant cette saison pluvieuse. Selon les potentialités économiques de chaque département, la région a une population inégalement répartie sur l'espace.

Chapitre 3 : Le cadre humain

D'une superficie de 19034 km², une longueur de 300km d'est en ouest et d'une population totale estimée à 908941 habitants (ANSD, 2013), la région de Saint-Louis est composée depuis le découpage administratif de 2002 de trois départements : Podor, Dagana et Saint-Louis.

I. La croissance démographique de la région

1. L'évolution de la population

La population de la région de Saint-Louis n'a cessé d'augmenter depuis le premier recensement effectué par l'ANSD en 1976. Elle a doublé en moins de trente ans, c'est-à-dire entre cette date et 2002. Ainsi, la population est passée de 344432 habitants en 1976 à 834840 habitants en 2008. Cette croissance rapide peut s'expliquer par un accroissement naturel élevé occasionné par une amélioration des conditions de vie par des soins de santé convenables. La jeunesse de la population de la région nord étant très importante ; avec 43% de la population ayant moins de quinze ans et 51% pour la tranche d'âge allant de 15 à 59 ans, elle induit des besoins énormes dans le secteur de l'alimentation et des autres secteurs vitaux (ANSD, 2013). La structure de la population de la région est, par ailleurs, caractérisée par un effectif féminin plus important que celui masculin : respectivement il s'élève à 455626 femmes contre 453315 hommes. Ces derniers sont dominants pour les groupes d'âge ayant moins de 20 ans. Par contre, la population féminine âgée de 25 ans et plus reste la plus élevée. Ce fait s'explique, selon la même source, par un solde migratoire favorable aux hommes à partir de 25 ans. Il ya aussi que l'espérance de vie est meilleur chez les femmes au-delà de 75 ans.

Ainsi différentes ethnies composent la population de la région, dominées principalement par la communauté pulaar. Cette dernière réside surtout dans le département de Podor avec plus de 50% des habitants de la localité. Dagana et Saint-Louis sont majoritairement composés de wolof, représentant 39% de la population régionale. A ces deux grandes groupes, les maures, les bambara et les serer complètent la diversité ethnique de la région.

Population	Années					
		1976	1988	2002	2008	2013
	Hommes	166210	211772	338536	408566	453315
	Femmes	178222	223238	356953	426274	455626
	Total	344432	435010	695489	834840	908941

Tableau 1 : Croissance de la population de la région de 1976 à 2012

2. La répartition de la population

La population de la région nord est inégalement répartie et est majoritairement rurale avec 496904 ruraux contre 412037 urbains. Le département de Podor, localisé à l'est de la région de Saint-Louis est le département le plus septentrional du Sénégal (16°39 de latitude nord et 14°57 de longitude ouest). Il est situé en pleine vallée du fleuve dans la partie nord-ouest de l'île à Morphil sur sol argileux (Ndiaye A, 2007). Le département de Podor, pour une superficie de 12947 km² (soit 68% de la région de Saint-Louis), concentre 370751 habitants soit une densité de 28,6 habitants au Km² (ANSD, 2013). Il compte 12 communes, 4 arrondissements et 10 communautés rurales. Par exemple, les communautés rurales de Ndiayène Pendao et de Doumga Lao n'ont que 16 habitants au km² ou Galoya avec 4,4 habitants au km². Les activités dominantes dans ce département sont l'agriculture, l'élevage et le commerce.

Deuxième département de la région de Saint-Louis par sa superficie (5208 km²), Dagana est situé entre les coordonnées 15°50 de longitude ouest et 16°52 de latitude nord. Sa population est estimée en 2013 à 241695 habitants et se concentre particulièrement dans la commune de Richard-Toll et la communauté rurale de Mbane. Cette concentration humaine dans ces localités peut s'expliquer par le statut agro-industriel de la ville ainsi que la proximité avec le lac de Giers.

Par contre, le département de Saint-Louis se trouvant dans le delta du fleuve Sénégal polarise une population plus importante de toute la région. Sur l'ensemble de la population régionale, Saint-Louis concentre 296496 habitants sur 879 km² ; soit 337,3 habitants au km² de densité. Le département de Saint-Louis plus urbain que rural, ne regroupe que trois communautés rurales.

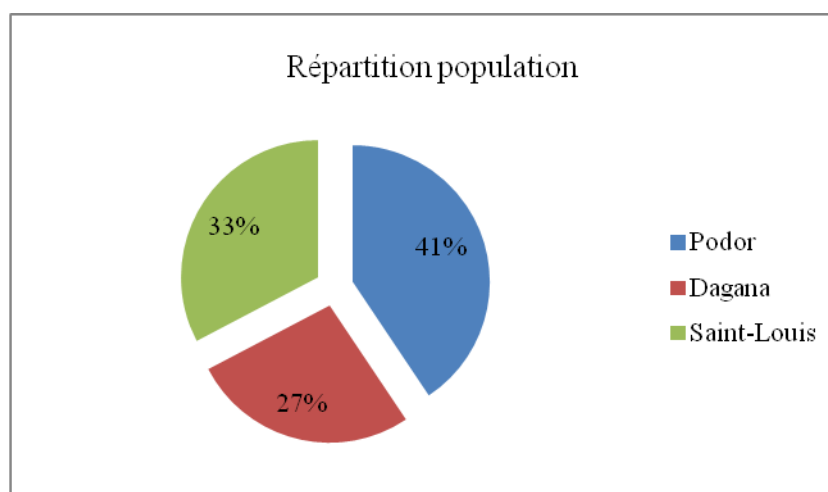


Figure 1: Répartition population (%) de la région selon le département en 2013

Source : ANSD, RGPHAE, 2013

II. Les activités économiques de la région

La région de Saint-Louis est une zone à fort taux de ruraux et différentes activités y sont pratiquées pour son développement économique et l'épanouissement de sa population. Mais nous ne faisons qu'une analyse sommaire de deux activités.

1. L'élevage

L'existence d'une vaste zone pastorale (le Diéri) dans la région de Saint-Louis constitue un atout pour le développement de cette activité. A cela s'ajoutent, selon toujours l'ANSD, une longue tradition d'élevage, de ressources en eau abondantes (cours d'eau, forages, puits) et des résidus agricoles. En effet, la région est bien pourvue en cheptel composé de bovins, ovins, caprins, équins, asins, camelins et dans une moindre mesure de volailles familiales. Mais l'effectif des espèces du cheptel est variable selon chaque département. Il est moins important à Saint-Louis, représenté par moins de 50000 têtes entre ovins, caprins, bovins et volailles (SES, ANSD, 2013). Podor est le département polarisant quasiment le cheptel de la région, abritant 64% du total régional suivi de loin de Dagana.

2. L'agriculture

La région de Saint-Louis est bien favorable à l'agriculture compte tenu de ses ressources en eau considérables. Tous les types de cultures y sont pratiqués : cultures pluviales, cultures irriguées et cultures de décrue où, les deux dernières sont exercées par les habitants tout au long de la vallée. L'immense zone du diéri est réservée à l'agriculture pluviale. Les principales cultures de la région sont le riz (*Oriza sativa*) : par exemple selon la DRDR reprise par l'ANSD, entre 2007 et 2013 la production a augmenté de 85%. Les cultures de la pastèque (*Citrullus lanatus*), du gombo (*Abelmoschus esculentus*), de la tomate (*Lycopersicon esculentum*), du mil (*Pennisetum glaucum*), du sorgho (*Sorghum bicolor*), du maïs (*Zea mays*), de l'arachide huilerie (*Arachis hypogaea*), du niébé (*Vigna unguilata*) ne sont pas en reste.

Conclusion partielle

La population de la région de Saint-Louis est dans l'ensemble jeune et dominée par les femmes. Ainsi, les opportunités qu'offre la région surtout sur le plan agricole sont nombreuses pour l'émergence de la région nord.

**DEUXIEME PARTIE : VARIABILITE
PLUVIOMETRIQUE ET SES EFFETS SUR LES
CULTURES PLUVIALES**

Chapitre 1 : Présentation et traitement des données

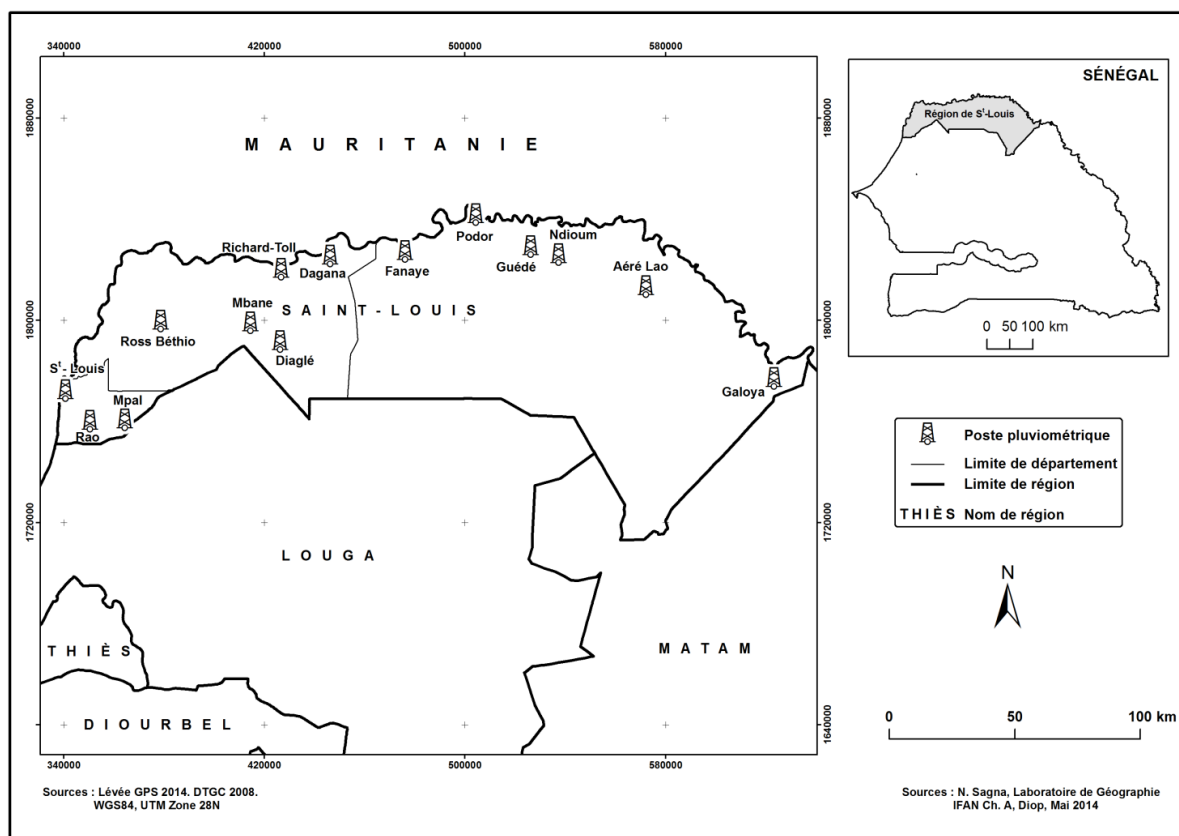
L'analyse de la pluviométrie dans notre zone d'étude nécessite de prime abord la présentation puis le traitement des données pluviométriques ; ce qui permettra de minimiser les erreurs souvent notées lors d'enregistrement des averses. Et ces erreurs sont dues particulièrement à l'inattention de l'observateur, au mauvais déchiffrement, à une éprouvette non adaptée au pluviomètre en place ou à la mauvaise qualité de ce dernier ; troué entre autres..., ou bien à un retard accusé entre la fin de l'averse et sa mesure.

I. Présentation des données

1. Présentation des données pluviométriques

La connaissance de la répartition spatio-temporelle de la pluviométrie d'une région passe nécessairement par les relevés effectués par les services compétents à travers les stations climatiques installées à cet effet. Dans les pays sahéliens en général, les ressources en eau provenant des pluies saisonnières sont l'espoir des populations qui vivent d'une agriculture quasi dépendant de la pluviométrie. La population sénégalaise n'échappe pas à cette dépendance pour le développement du secteur primaire où « 96% des cultures sont tributaires de l'hivernage, soit directement (cultures sous pluies) soit indirectement (cultures de décrues dans la vallée du fleuve Sénégal) » (Ndiaye A., 2007).

Or, la plus grande entrave qui appauvrisse l'information pluviométrique au Sénégal en général est l'inégale répartition des stations de mesure « avec une forte concentration de ces dernières au sud du 14ème parallèle et à l'ouest du 15ème degré de longitude ouest » (Dacosta H. et al. 2002). Bien que les premières mesures pluviométriques remontent en 1854 dans la ville de Saint-Louis, la région n'en est pas ainsi dotée de postes de mesure sur l'étendue de son espace territorial. Ces derniers sont inégalement répartis ; la quasi-totalité de ces stations longent la vallée du fleuve Sénégal, le centre et le sud-est sont mal équipés (carte 3).



Carte 3: Situation des postes pluviométriques de la région de Saint-Louis

En outre les séries de pluies se caractérisent d'une part, par une longueur inégale entre les stations et, d'autre part par une discontinuité des données pluviométriques au sein de certaines stations. Les lacunes observées dans la plupart des données viennent se répercuter d'avantage sur la fiabilité de l'information pluviométrique. Selon Konaté Y.K. (2000) : « Ces anomalies relevées dans les valeurs sont très souvent dues à la diversité des sources de collecte, à celle des périodes d'implantation des stations à des erreurs de manipulation ». Le chronogramme ci-dessous (figure 2) montre le caractère inégal et discontinu des données des stations sur toute la série d'observation. Ainsi pour rendre les données opérationnelles et procéder à leur analyse à des fins multiples de prise de décision (production agricole, recharge des nappes souterraines...), nous avons fait le traitement pour homogénéiser et combler les lacunes.

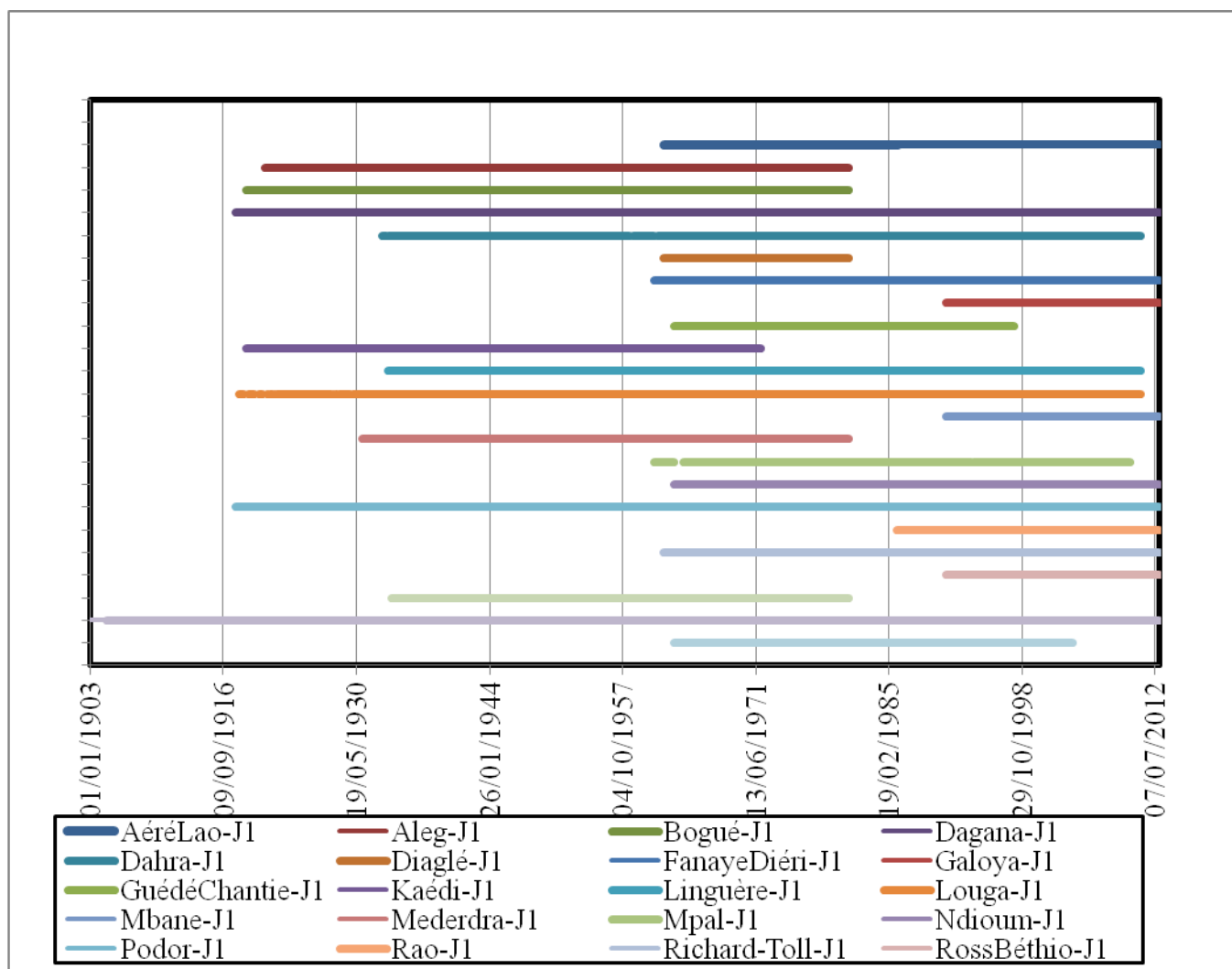


Figure 2: Chronogramme des données pluviométriques journalières (J1 : capteur journalier dans Hydraccess) des stations de notre zone d'étude.

Le déficit d'information pluviométrique se répercute sur l'analyse corrélative avec les données des cultures aussi trop lacunaires relevées durant les campagnes agricoles. La critique des données agricoles permet de savoir les campagnes et les cultures à considérer pour leur corrélation avec la pluviométrie.

2. Présentation des données agricoles

Les données relatives à l'agriculture (superficies et production) dans la région de Saint-Louis sont obtenues auprès de la DAPSA; elles vont de la campagne agricole 1990/1991 à celle de 2010/2011. Il faut noter que la région de Saint-Louis englobait l'actuelle région de Matam, c'est à partir du découpage administratif de l'année 2002 que cette dernière est érigée en région.

Les données concernent le mil, le sorgho, le maïs, le riz, l'arachide huilerie, le niébé et les pépins de la pastèque, appelés localement béref. Mais notre analyse s'intéresse uniquement aux cultures pratiquées pendant la saison des pluies ; à cet effet Le riz et le sorgho ne font pas parties de notre étude car n'étant pas des cultures totalement sous pluies: le riz est quasiment pratiqué en irrigué et le sorgho exige la décrue pour sa semence. Les données obtenues sont trop lacunaires (tableau 10, annexe) ; celles des céréales pluviales mises en culture ne sont pas complètes dans les différents départements de la région, puis pour Saint-Louis le suivi des campagnes allant de 2002 à maintenant n'est pas assuré. C'est la raison pour laquelle les données de ce département, disponibles à partir de la même année sont trop lacunaires pour subir une analyse minutieuse des données de ses cultures : à cet effet, elles ne font pas parties de l'analyse.

II. Traitement des données pluviométriques

➤ L'application de la Méthode du Vecteur Régional

L'analyse de la pluviométrie sera effectuée avec les données pluviométriques journalières brutes de 23 stations réparties sur l'ensemble de la région de Saint-Louis ainsi que ses limites nord, est et sud. Le total des stations se répartit comme suit :

- 14 stations appartiennent à la région de Saint-Louis,
- 5 sont situées au sud et sud-ouest de la Mauritanie,
- 3 appartiennent à la région de Louga,
- 1 station appartenant à la région de Matam.

La prise en compte des stations qui se situent hors de la région se justifie par le souci de la précision du tracé des isohyètes sur le pourtour de la région.

Au niveau de la région de Saint-Louis, seules les stations de Podor, de Dagana et de Saint-Louis disposent d'une longue série chronologique et complète (jusqu'en 2012). Les autres stations de la région ont des données trop lacunaires et de courte durée : c'est le cas des stations mises en place dans les années 1990. Les stations de la Mauritanie ayant des données relativement longues sont : Boghé, Kaédi, Mederdra et Rosso, toutes les séries de ces postes pluviométriques se limitent en 1980. Au sud de la région de Saint-Louis, Louga dispose d'une série plus ou moins longue avec l'année 2010 comme fin de sa série.

La station de Saint-Louis, par la particularité de ses observations pluviométriques mérite une brève description : de toutes les stations de notre zone d'étude, Saint-Louis dispose de la plus longue série de données. Cette longueur est due à l'installation très tôt d'un poste pluviométrique dès 1854 à l'hôpital militaire, relayé à partir de 1892 par la station de Saint-

Louis Ecole. Ce poste de mesure est ramené ensuite dans l'île où les observations s'effectuaient jusqu'à 1958. Depuis cette date jusqu'à nos jours, la station Saint-Louis Aéroport assure le suivi de la mesure pluviométrique. C'est ainsi que le cumul des données obtenues aux différents postes offre la plus longue série disponible. Cet écart de longueur de série chronologique par rapport à celle des autres stations de la région nous obligent à retenir que les relevés des deux derniers postes de contrôle de Saint-Louis³ où donc le début des observations débute en 1903. Mais après homogénéisation des données sous Hydraccess, le logiciel a supprimé les 13 premières années de la série de Saint-Louis, ce qui a amené le début de celle-ci en 1916. Ainsi, pour cause de lacunes énormes et sur le principe d'homogénéiser les données, le logiciel a retenu l'année 1919 comme la date de début commune à toutes les stations pour un bon tracé des isohyètes décennale et trentenaire.

Hydraccess est un logiciel de l'IRD développé en 2000 par Philippe Vauchel. Il permet l'homogénéisation des données lacunaires par la méthode du vecteur régional. C'est un logiciel qui répond vraiment au contexte d'une information pluviométrique toujours pas satisfaisante. Le manque d'homogénéité des données découle souvent d'erreurs aléatoires ou systématiques (confusion ou utilisation d'une éprouvette non indiquée pour le type de pluviomètre en place). Comme l'a rappelé Vauchel P. en 2004 : « Hydraccess est un logiciel complet, homogène et convivial... Comme résultat de traitement, Hydraccess crée des fichiers Excel. Il offre de nombreuses possibilités de visualiser les données, en graphes simples ou comparatifs, que l'on peut dérouler sous Excel grâce à une petite macro incluse dans le logiciel ».

L'hétérogénéité des données pluviométriques nous amène à faire appel au logiciel pour leur homogénéisation, par la Méthode du Vecteur Régional (M.V.R.) de Bunet-Moret Y. (1979). Le vecteur régional se définit comme une série chronologique d'indices pluviométriques, issus de l'extraction de l'information la plus « probable » - au sens de la plus fréquente- contenues dans les données d'un ensemble de stations d'observations groupées en « région ». Le vecteur régional est donc une suite chronologique d'indices annuels de précipitations prenant en compte les effets de persistance, de tendance, de pseudo-cycles de la zone climatique mais homogène dans le temps. (Dacosta H., 1989). La M.V.R. permet aussi d'homogénéiser des données pluviométriques et de reconstituer celles manquantes avec un maximum de vraisemblance. « La dernière version de M.V.R (1.5) permet de reconstituer une série de données calculées par rapport au vecteur, sur toutes les stations d'une unité, pour tout

³ : Les données des deux premiers postes de mesure pluviométrique de la ville sont entachées de lacunes.

l'intervalle de temps considéré, si au moins trois stations dans l'unité présentent des séries complètes sur l'intervalle de temps » (Mahé G. ; L'Hôte Y., 1992). Ce qui s'applique bien à notre cas. A cet effet, l'indice du vecteur Z_i est calculé à partir de l'ensemble des stations et s'écrit sous la forme :

$$\checkmark Z_i = \sum (P_{ai}/P_{an})/n$$

Avec : **P_{ai}** : Pluie moyenne de l'année à la station a

P_a : Pluie moyenne interannuelle à la station a ; **n** : nombre de stations

L'inégale répartition des stations sur l'ensemble de notre zone d'étude ajoutée à une irrégularité et une discontinuité des séries de données recueillies aux quelques postes ne nous permet pas de regrouper certaines stations en unités climatiques en guise de l'application de la M.V.R. Mais ces lacunes peuvent être comblées avec l'utilisation de cette dernière compte tenu de quatre stations à série complète et de longue durée. En effet selon Konaté Y. K. (2000) : « A terme elle doit permettre d'utiliser à poids égal des séries de longueur et de qualité variable, sans distribution régulière ». Ainsi, l'analyse spatiale des vingt-trois stations découlera du calcul avec le vecteur d'une série chronologique allant de 1921 à 2010 et constitution de fichiers pluviométriques opérationnels.

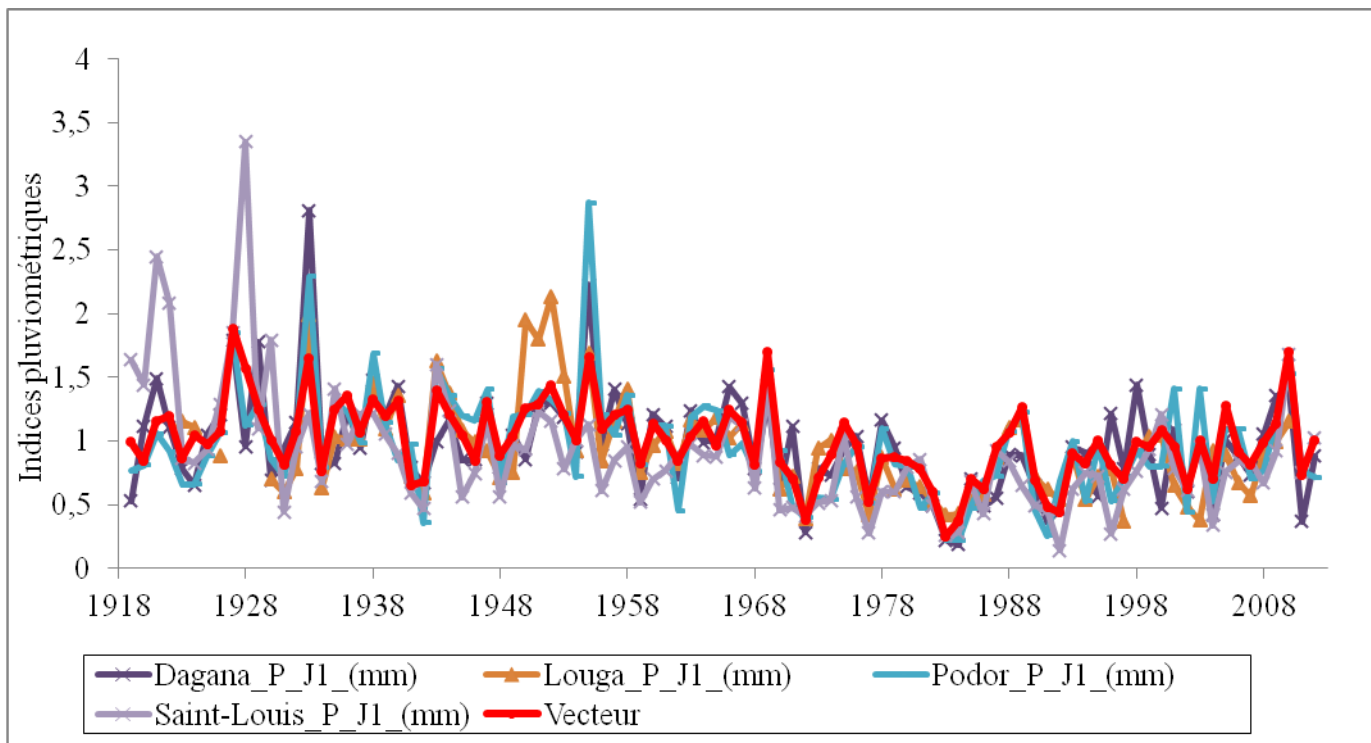


Figure 3 : Vecteur des indices pluviométriques annuels des stations de Podor, Dagana, Saint-Louis et Louga

Stations	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Date début	Période homog
Région Saint-Louis					
Dagana	-15°29'W	16°31'N	4	1918	1919/2012
Diaglé	-15°41'W	16°12'N	24	1962	1919/2012
Fanaye Diéri	-15°13'W	16°31'N	18	1961	1919/2012
Galoya	-13°51'W	16°04'N	24	1991	1919/2012
Guédé	-14°45'W	16°32'N	10	1963	1919/2012
Haéré Lao	-14°19'W	16°24'N	17	1962	1919/2012
Mbane	-15°48'W	16°16'N	9	1991	1919/2012
Mpal	-16°16'W	15°55'N	13	1961	1919/2012
Ndioum	-14°40'W	16°31'N	9	1963	1919/2012
Podor	-15°06'W	16°39'N	6	1918	1919/2012
Rao	-16°23'W	15°55'N	13	1986	1919/2012
Richard-Toll	-15°41'W	16°28'N	9	1962	1919/2012
Ross Béthio	-16°08'W	16°16'N	5	1991	1919/2012
Saint-Louis	-16°29'W	16°01'N	2	1854	1919/2012
Mauritanie					
Aleg	-13°54'W	17°03'N	45	1921	1919/2012
Boghé	-14°15'W	16°35'N	13	1919	1919/2012
Kaédi	-13°29'W	16°09'N	15	1919	1919/2012
Mederdra	-15°39'W	16°55'N	31	1931	1919/2012
Rosso	-15°48'W	16°30'N	7	1934	1919/2012
Région Louga					
Dahra	-15°29'W	15°21'N	44	1933	1919/2012
Linguère	-15°06'W	15°23'N	17	1933	1919/2012
Louga	-16°14'W	15°36'N	38	1918	1919/2012
Région Matam					
Thilogne	-13°35'W	15°57'N	18	1963	1919/2012

Tableau 2 : Liste des stations utilisées

Conclusion partielle : La critique des données rend l'utilisation opérationnelle et facilite ainsi l'analyse. En effet, la pluviométrie de la région étudiée sur différents pas de temps, permettra une bonne corrélation avec les données de l'agriculture pluviale.

Chapitre 2 : Etude de la variabilité pluviométrique

L'étude de la variabilité pluviométrique dans la région de Saint-Louis est faite à travers les données brutes de 23 stations dont les pluies annuelles ont été homogénéisées par le vecteur régional sur la période 1921-2010, soit une chronique longue de 89 années. A l'échelle spatiale, elle permet d'obtenir sept normales et neuf décennies qui expriment bien les variations de la pluviométrie au nord du pays ; et montrer ainsi cette variation aux échelles annuelle, mensuelle et journalière.

I. Variabilité interannuelle de la pluviométrie

1. Variation de la pluviométrie par normale

L'évolution des moyennes pluviométrique par normale est appréhendée à travers le tracé des isohyètes, générées à partir des fichiers pluviométriques opérationnels. A cet effet, sept normales y sont représentées pour bien mettre en évidence la fluctuation de la pluviométrie dans l'espace et dans le temps. Ces normales migrent entre:

1921-1950 : 240 mm à l'extrême nord de la région et 400 mm à la latitude sud de celle-ci ;

1931-1960 : Les mêmes isohyètes apparaissent durant cette normale ;

1941-1970 : 250 mm apparaît à peine au nord de la région et 390 mm au Sud ;

1951-1980 : L'isohyète 220 mm est à l'extrême nord de la région et 360 mm vers le sud ;

1961-1990 : Elles sont remplacées aux mêmes latitudes par 210 mm et 310 mm ;

1971-2000 : L'isohyète 200 mm s'installe sur la partie nord et 280 mm se confine au sud ;

1981-2010 : 230 mm et 310 mm au sud ;

En moyenne les cartes des isohyètes distinguent :

➤ Trois normales pluvieuses (1921-1950 ; 1931-1960 et 1941-1970) ; la pluviométrie moyenne interannuelle tourne autour de 240 mm au nord de la région de Saint-Louis à 400mm vers la partie sud.

➤ Une normale moyennement pluvieuse (1951-1980) où l'isohyète 220 mm s'installe dans la partie nord de la région et la disparition totale de l'isohyète 400 mm au sud de Saint-Louis. Cette normale est la plus proche de la moyenne interannuelle de la série 1921-2010.

➤ Trois normales moins pluvieuses (1961-1990 1971-2000 et 1981-2010) où en moyenne l'isohyète 250 mm se maintient sur la région (figure 5, dernière carte). Pour la première normale 220 mm qui se situait sur la moitié nord de notre zone d'étude est remplacée à la même latitude par celle de 200mm, au sud de Saint-Louis l'isohyète 310 mm se positionne sur la partie la plus méridionale de la région. La normale 1971-2000 bat le record par la faiblesse de sa pluviométrie parmi toutes les normales de la période. L'isohyète

200 mm apparaît au centre de la région puis l'isohyète 310 mm qui se situait juste à la limite sud-est de Saint-Louis durant la précédente normale, disparaît entièrement et laisse place à l'isohyète 280 mm. Cette normale est singulière par la faiblesse des valeurs caractérisant ses isohyètes. Cependant, la normale 1981-2010 se particularisant par une amélioration de la pluviométrie, est marquée par le retour de l'isohyète 230 mm sur la partie nord de Saint-Louis et par une timide réapparition de l'isohyète 310 mm au sud de la région.

L'analyse de la pluviométrie par les moyennes interannuelles trentenaires dans la région sur la période 1921-2010 permet d'apercevoir la variation spatio-temporelle des pluies. Les isohyètes de ces sept normales expriment la faiblesse et la forte variabilité des pluies ; la pluviométrie dans la région de Saint-Louis ne cesse de décroître depuis 1921, caractérisée par une migration des isohyètes du nord vers le sud dépassant partout 100 km. Mais la toute dernière normale (1981-2010) inverse un peu la tendance, par une pluviométrie nettement plus importante par rapport aux deux normales précédentes. Bien que les moyennes de la dernière normale n'atteignent pas celles de 1951-1980 (la référence), pouvons-nous attendre à un retour à une pluviométrie plus abondante dans la région de Saint-Louis et par conséquent l'amélioration des conditions d'existence du monde rural ?

Le tableau 4 où sont confinées les statistiques des normales de quelques stations confirme, en outre, la tendance à la baisse de la pluviométrie exprimée par la migration latitudinale nord-sud des isohyètes. La position géographique de ces stations par rapport à la région et dans une moindre mesure la faiblesse de leurs lacunes sont retenues comme critères de choix.

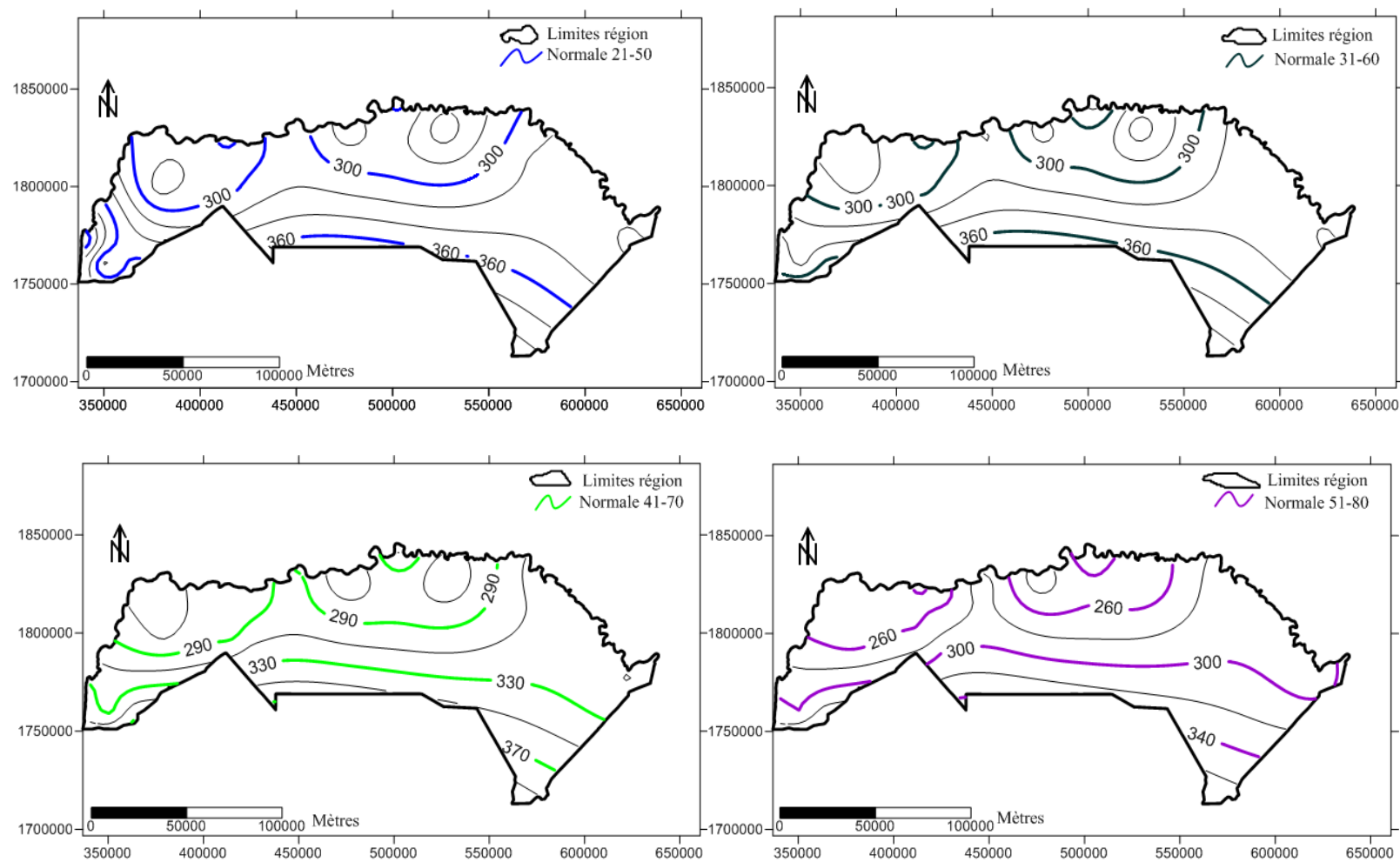


Figure 4 : Cartes de spatialisation des normales pluviométriques

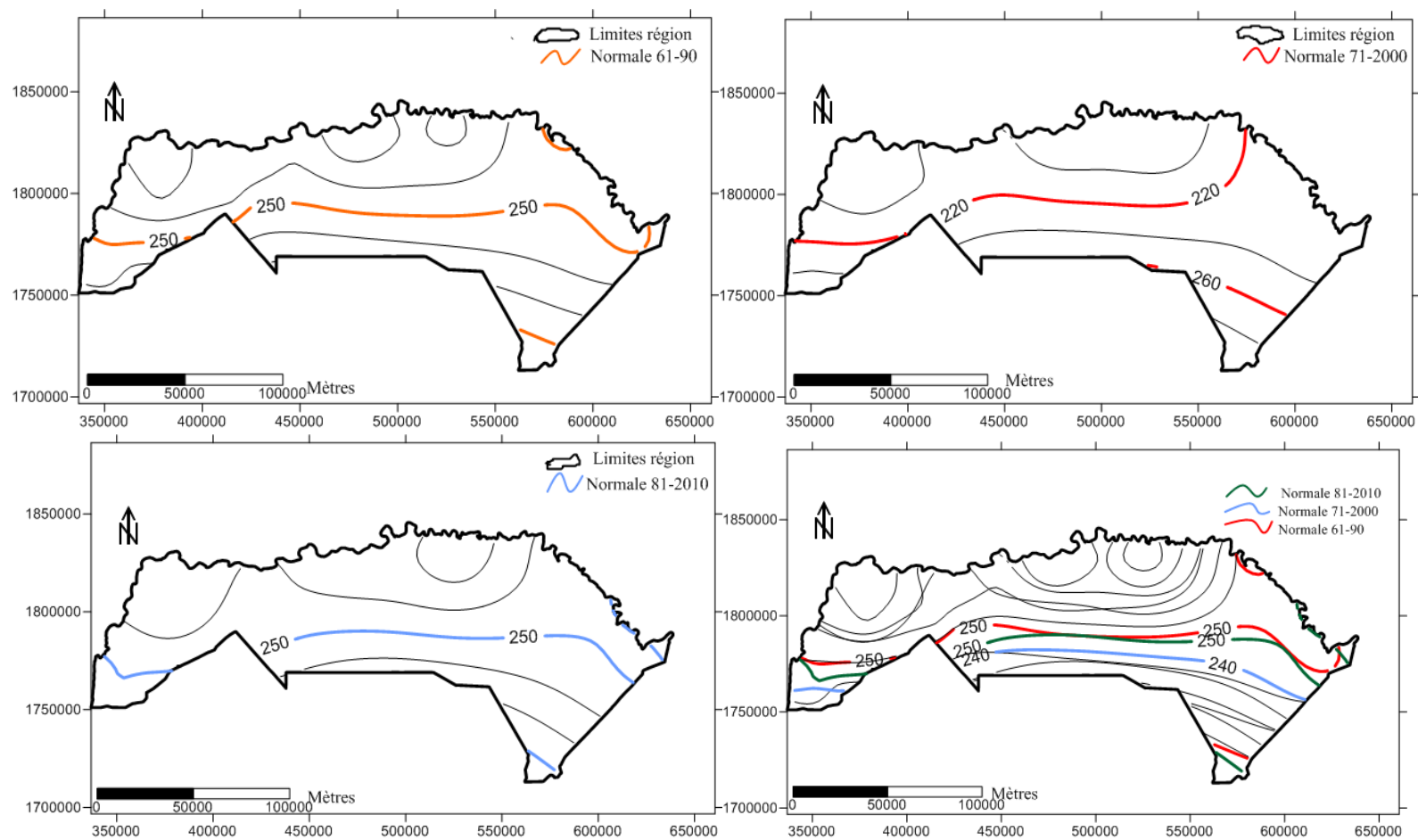


Figure 5 : Cartes de spatialisation des normales pluviométriques

Stations	Moy 21-50	Moy 31-60	Moy 41-70	Moy 51-80	Moy 61-90	Moy 71-2000	Moy 81-2010
Louga	452,94	470,74	463,3	415,88	332,54	293,71	299,29
Linguère	525,75	533,71	497,39	456,54	402,15	379,57	417,16
Galoya	317,53	318,38	308,49	286,15	241,48	220,25	244,06
Aéré Lao	322,55	323,41	311,71	290,68	243,66	220,88	237,23
Podor	308,69	333,77	318,36	280,46	216,85	187,53	216,7
Dagana	317,06	323,4	301,65	290,99	229,63	206,38	218,95
St-Louis	436,63	342,87	332,57	295,64	258,32	224,58	256,39
Rao	333,14	334,03	323,67	300,22	256,77	243,5	250,26
Moy (mm)	376,79	372,54	357,14	327,07	272,68	247,05	267,51
Ec type	125,08	111,8	101,78	110,62	97,94	89,94	111,09
Max (mm)	743,06	665,39	625,94	618,23	500,95	443,15	547,86
Min (mm)	181,48	177,24	177,94	123,05	89,23	82,31	82,31
C.V	0,33	0,3	0,28	0,34	0,37	0,36	0,43

Tableau 3 : Paramètres statistiques des normales pluviométriques de quelques stations

2. Variation de la pluviométrie à l'échelle décennale

La spatialisation de la pluviométrie à l'échelle décennale permet d'avoir un aperçu plus détaillé de la variation spatiale de ce paramètre. À l'aide de la cartographie des isohyètes de moyennes interannuelles décennales, les isohyètes fluctuent dans le temps et leur migration montre :

1921-1930 : Les isohyètes oscillent entre 300 mm au nord de la région et 420 mm au sud ;

1931-1940 : Sur les mêmes latitudes, ces isohyètes sont remplacées par 290 et 410 mm ;

1941-1950 : 260 mm au nord et 360 mm au sud de Saint-Louis ;

1951-1960 : 300 mm au nord et 420 mm au sud ;

1961-1970 : 270 mm au nord et 350 mm au sud ;

1971-1980 : L'isohyète 230 mm est à la latitude centre de la région et 270 mm au sud ;

1981-1990 : Elle est remplacée par 200 mm et 270 mm se maintient au sud ;

1991-2000 : L'isohyète 205 mm remonte au nord et 285 mm au Sud ;

2001-2010 : 260 mm au nord de la région et 360 mm vers le sud ;

A partir de la décennie 1961-1970, les isohyètes sont marquées par une migration continue vers le sud où les valeurs ne cessent de décroître. Cependant, elles amorcent une timide remontée depuis la décennie 1991-2000. La fluctuation des isohyètes sur la région de Saint-Louis de 1921 à 2010 montre cette tendance de la pluviométrie :

➤ Cinq décennies pluvieuses (1921-1930, 1931-1940, 1941-1950, 1951-1960, 1961-1970). Cette dernière sert de référence car elle est la plus proche de la moyenne interannuelle sur la période 1921-2010 (295,05 mm). Toutefois au cours de ces cinq décennies, les isohyètes oscillent sensiblement tantôt vers le nord tantôt vers le sud mais avec le maintien de l'isohyète 300 mm sur la région. La décennie 1951-1960 casse timidement la tendance avec les isohyètes qui remontent un peu et tournent autour de 300 mm au nord de Saint-Louis à 410 mm à la latitude de Linguère.

➤ Quatre décennies moins pluvieuses (1971-1980, 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010) : elles sont caractérisées par une descente marquée des isohyètes vers le sud. La décennie 1981-1990 est la plus affectée avec l'isohyète 300 mm qui, en moyenne était au centre de la région de Saint-Louis, a entièrement migré de la région pour s'installer au sud de celle-ci.

➤ La dernière décennie c'est-à-dire celle de 2001-2010 se singularise par une légère remontée des isohyètes au nord. En guise d'exemple, l'isohyète 300 mm qui avait migré hors de notre espace d'étude depuis la décennie 1971-1980 réapparaît au sud de la région de Saint-Louis.

Après analyse décennale de la pluviométrie, se dégagent trois aspects :

Sur les cinq premières décennies de la série 1921-2010, la pluviométrie de la région de Saint-Louis est caractérisée par une nette abondance avec l'apparition fréquente de l'isohyète 400 mm sur la partie sud de la région ;

Une descente des isohyètes toujours vers le sud mais de manière sévère à partir de 1971-1980. Ce qui permet de classer cette décennie dans la deuxième période de la série laquelle, enregistre des moyennes faibles par rapport aux cinq premières décennies ;

Une dernière décennie appartenant à la période non pluvieuse mais qui se caractérise par des moyennes pluviométriques un peu plus importantes aux précédentes décennies de cette période.

Konaté Y.K. (2000) remarque que « Les valeurs moyennes décennales de la pluviométrie décroissent du sud vers le nord en suivant le gradient pluviométrique du Sénégal ». La variabilité ainsi que la migration des isohyètes dans le sens nord sud sur la région de Saint-Louis confirment ses propos. Le tableau 4 indique les moyennes décennales de quelques stations de la région de Saint-Louis ainsi que leurs statistiques ; il permet de voir la tendance pluviométrique dans le temps de ces stations.

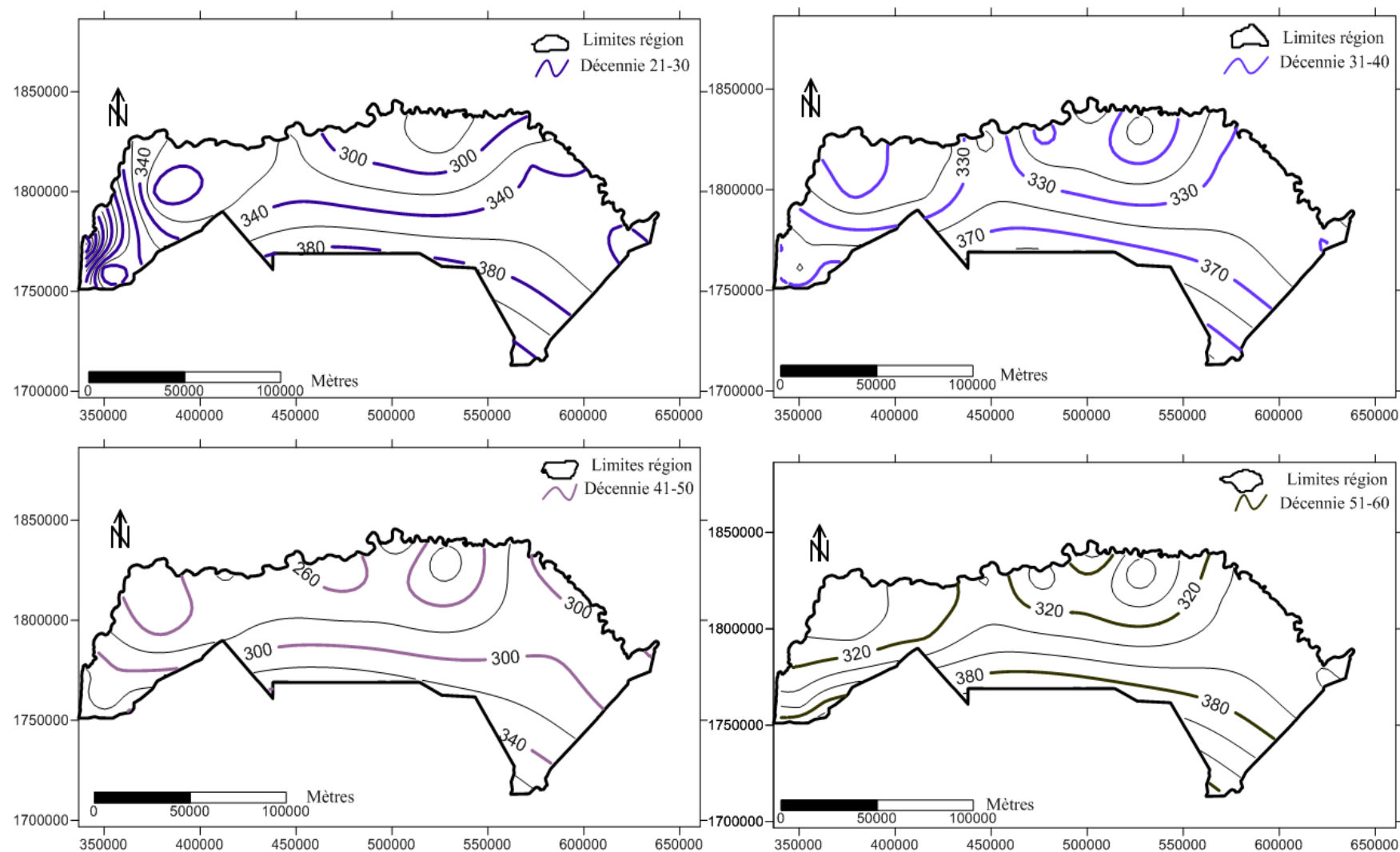


Figure 6 : Carte des isohyètes moyennes décennales

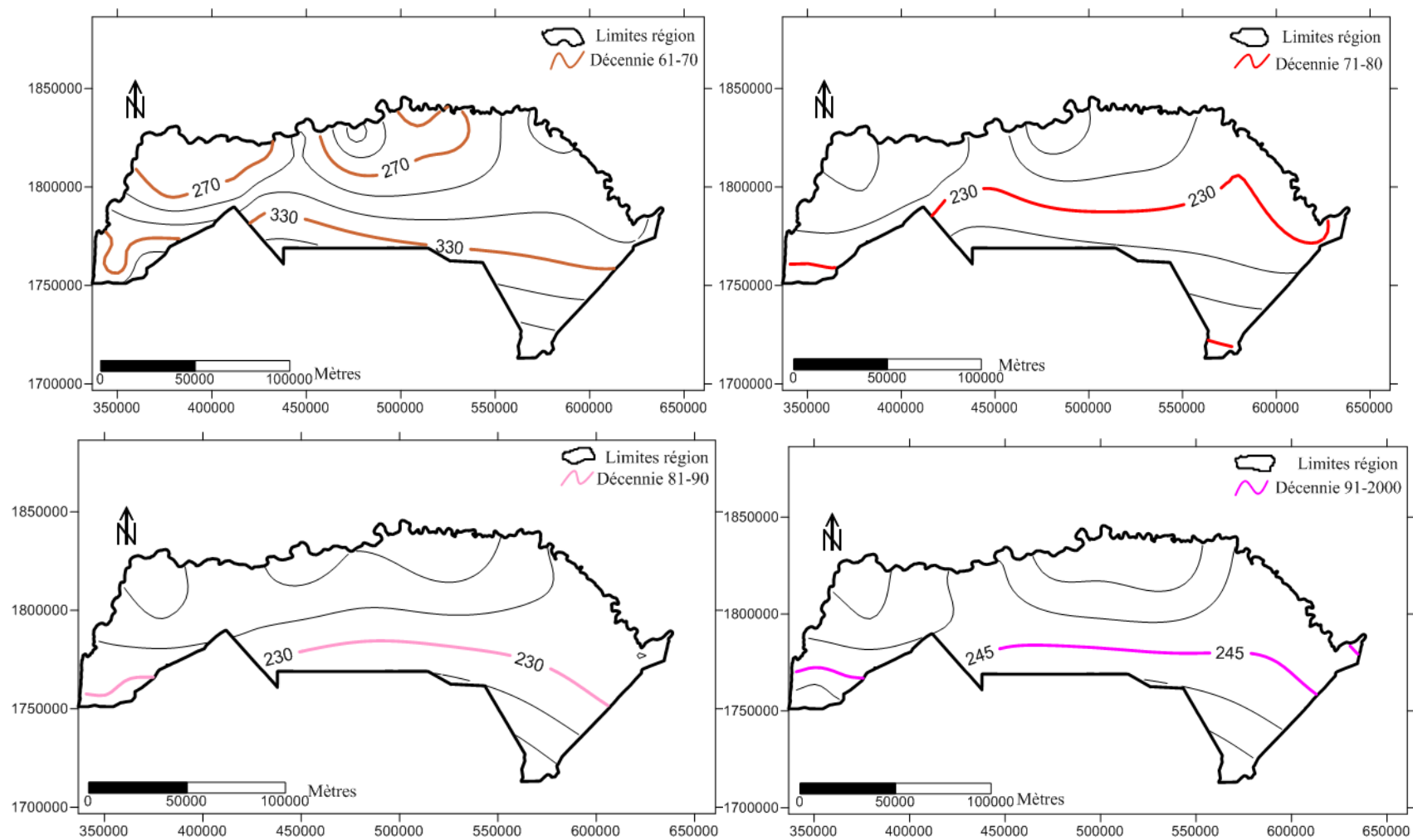


Figure 7 : Carte des isohyètes moyennes décennales

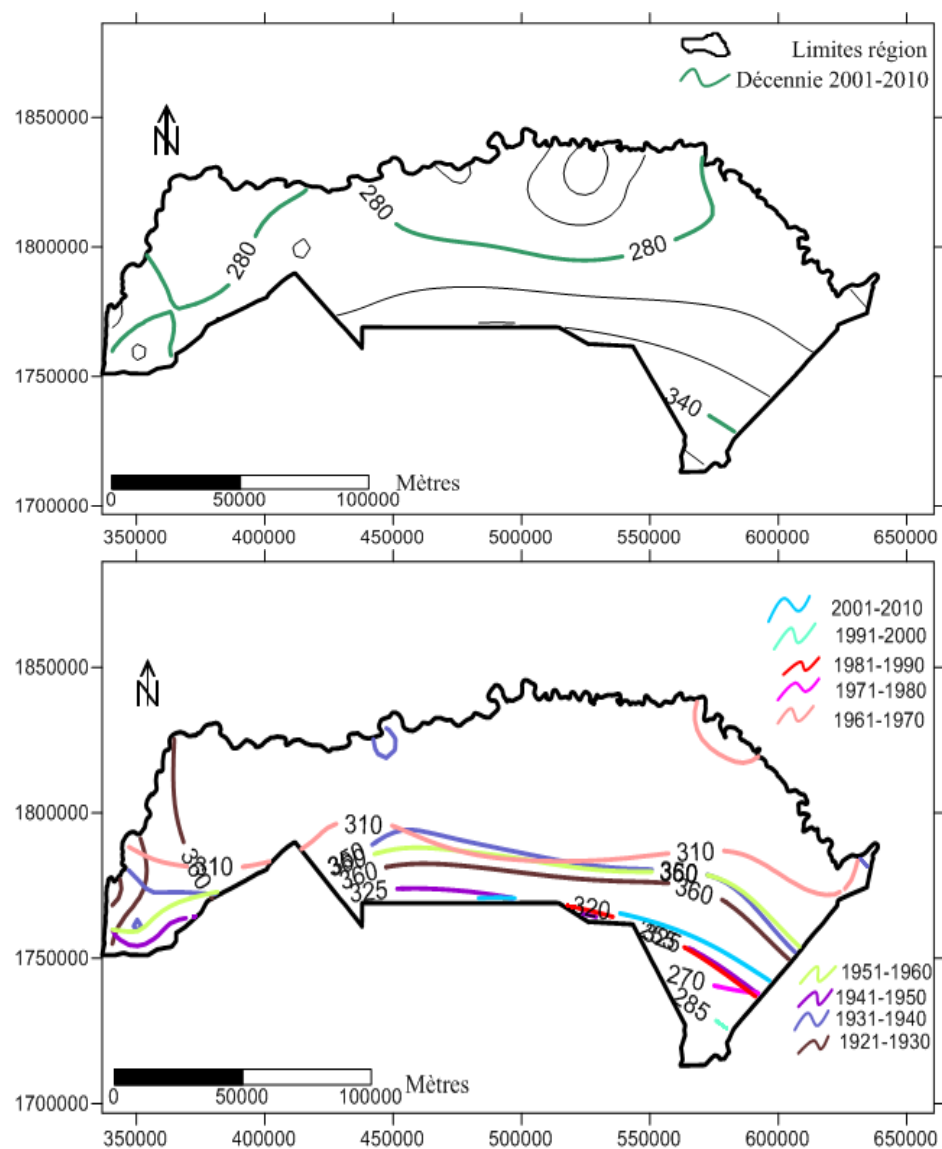


Figure 8 : Cartes des isohyètes moyennes décennales

Stations	Moy 21-30	Moy 31-40	Moy 41-50	Moy 51-60	Moy 61-70	Moy 71-80	Moy 81-90	Moy 91- 2000	Moy 2001- 2010
Louga	480,26	444,07	434,49	533,66	421,76	292,22	283,65	305,26	308,96
Linguère	548,41	561,5	467,33	572,29	452,55	344,78	409,13	384,8	457,5
Galoya	335,22	329,7	287,66	337,76	300,06	220,62	203,76	236,37	292,06
Aéré Lao	340,51	334,9	292,22	343,09	299,8	229,14	202,03	231,48	278,18
Podor	285,88	333,41	306,79	361,12	287,16	193,1	170,29	199,2	280,62
Dagana	352,2	362,8	263,16	344,22	297,56	231,2	160,12	227,83	268,9
St-Louis	611,6	372,38	325,9	330,33	341,47	215,13	218,35	240,27	310,54
Rao	351,69	345,92	301,81	354,36	314,84	231,45	224,02	275,04	251,73
Moy.mm	409,85	385,59	334,92	397,1	339,4	244,7	233,9	262,53	306,07
Ec.type	132,18	119,36	99,89	107,39	85,43	74,13	95,83	98,28	126,55
Max .mm	686,34	627,39	494,51	605,6	496,6	365,4	389,13	414,06	545,03
Min .mm	260,99	232,53	183,09	235,84	212,56	123,05	90,86	109,68	140,73
C.V	0,31	0,31	0,29	0,27	0,25	0,31	0,43	0,39	0,42

Tableau 4 : Statistiques des moyennes décennales de quelques stations

3. Variation annuelle de la pluviométrie

a. La variation de la pluviométrie autour de la moyenne

La période d'étude (1921-2010) est marquée par une forte variation de la pluviométrie ; en atteste la cartographie des isohyètes interannuelles. Cette variation est caractérisée par une alternance d'années pluvieuses et d'années moins pluvieuses où ces dernières s'intensifient depuis le début des années 1970. Le calcul des écarts normés sur la série chronologique décrit bien la caractéristique de la pluviométrie annuelle dans la région ; ce qui permettra le suivi des campagnes agricoles. Il est obtenu suivant la formule :

$$\checkmark \text{ Ecart (\%)} = \frac{P_i - P_{an}}{P_{an}} \times 100$$

Où **Pi** = pluie de l'année i, et **Pan**= Pluie moyenne interannuelle

A cet effet, les lacunes notées sur la quasi-totalité des stations ne facilitent pas une étude régionale ; c'est-à-dire entre postes voisins et ayant des séries complètes, mais seulement au niveau des stations à chronique continue et de longue durée. Ces stations sont: Dagana, Podor et Saint-Louis ; à cela s'ajoute la représentativité de ces stations aux trois départements administratifs de la région. En guise de comparaison, la station de Louga située au sud-ouest de la région de Saint-Louis et par les mêmes critères précédemment cités, y sera ajoutée.

D'une année à l'autre, la pluviométrie varie fortement autour de la moyenne de chaque station comme le montre la représentation des écarts normalisés pour les quatre stations (figures 9 à 12). La courbe de tendance de la série tend partout vers la baisse, causée par un nombre important de déficits pluviométriques à partir de 1970. C'est sur cette base que nous allons scinder la période d'étude en deux temps fondés sur la variation de la pluviométrie de 1918 à 2010 aux stations retenues. La série est marquée par une rupture (matérialisée par le passage de la courbe de tendance au-dessous de zéro) survenue à la fin des années 1960 et marquant fortement la variabilité de ce paramètre. Par conséquent les deux sous périodes sont :

✓ 1918-1969

✓ 1970-2010

➤ **La sous période 1918-1969** : Sur 52 ans, les années pluvieuses alternent avec quelques années de faibles déficits. La période est aussi marquée par des années aux excédents dépassant de loin le pourcentage; c'est le cas à Dagana pour les années 1933 et 1955 avec respectivement des excédents de 189,1 % et 129,1% ; et Podor a enregistré un surplus de 133,9% et 193,1%. Pour Saint-Louis, de 1957 à 1969 la pluviométrie est dans l'ensemble excédentaire entrecoupée de trois années aux déficits moindres telles 1959, 1960 et 1968, pour des valeurs négatives de -43,1% ; -23,3% et -31%. Le nombre d'années déficitaires sur la période est de 20 à Saint-Louis, suivi de Dagana, Podor et Louga avec respectivement 19, 18 et 17 années. En outre Saint-Louis enregistre fréquemment des déficits pouvant se succéder sur plusieurs années; c'est l'exemple de la sous-période 1956-1962 laquelle est entrecoupée par l'année 1958 peu excédentaire. Le même cas est noté à la station de Podor au début de la série où de 1919 à 1925, seule l'année 1921 enregistre 7,9% d'excédent ; et de Louga surtout de 1929 à 1932 ou de 1947 à 1949. A Dagana par contre, la succession d'années déficitaires se limite à deux alternant avec des excédents peu élevés.

➤ **La sous période 1970-2010** : Toutes les quatre stations enregistrent des déficits sévères. Les écarts négatifs les plus importants se remarquent plus à Dagana et Podor qu'à Saint-Louis et Louga. Sur vingt-six années, c'est-à-dire de 1970 à 1995, la station de Dagana a enregistré des cumuls annuels en dessous de la moyenne, se traduisant par une fréquence de valeurs négatives. Deux années seulement se distinguent par des excédents peu significatifs : 1971 et 1978, pour 14,5% et 19,5%. En outre, la particularité du déficit pluviométrique de cette sous période est sans doute sa durée : de 1979 jusqu'au début des années 1990 (sur 16 années) la pluviométrie n'a cessé de se dégrader. A cet effet, les écarts normalisés des années

1983 et 1984 sont énormément négatifs : -77,1% et -80,7%. Par contre de 1996 à 2010, la succession d'années déficitaire et excédentaire caractérise la pluviométrie à Dagana, où les déficits deviennent moins accusés et des excédents notés depuis 2008.

La station de Podor comme celle de Dagana, de 1970 à 1987, a enregistré des déficits entrecoupés par un excédent de 12,3% en 1978. La baisse de la pluviométrie est tellement accusée que les années 1983 et 1984 ont vu les déficits dépasser partout de -77%. Cette baisse s'estompe en 1988 et 1989 où les écarts remontent à 9,8% et 25,6% ; le déficit reprend sur les dix années suivantes à l'intérieur desquelles, l'année 1993 fait exception avec 1,6% d'excédent. A partir de 2001, il y a certes des déficits (-54,7% en 2002 et -46,3% en 2004), mais ils s'intercalent au moins avec une ou deux années excédentaires et, ne sont pas comme les deux précédentes décennies où la succession d'années déficitaires était la règle.

L'année la plus déficitaire pour Saint-Louis est 1992 avec -84,4% ; aussi cette station enregistre sur la période des déficits pouvant s'étaler sur une dizaine d'années relayés par une ou deux années excédentaires. Depuis la fin des années 1990, les valeurs des excédents sont certes faibles mais deviennent plus fréquents : c'est l'exemple de 1999, 2000, 2003, 2009 et 2010.

Sur cette période, la pluviométrie interannuelle à Louga est globalement déficitaire. La station n'a connu que huit années excédentaires durant lesquelles, deux seulement présentent des valeurs positives: 18,4% et 24,8% en 1988 et 1989. Le déficit pluviométrique le plus sévère intervient en 1997 faisant suite à une petite amélioration pluviométrique de deux ans.

En somme l'analyse de la pluviométrie annuelle au niveau de ces quatre stations laisse voir quelques particularités. Les trois premières stations bien que partageant la même latitude, possèdent chacune ses propres caractéristiques pluviométriques. D'une part, Saint-Louis sur toute la série chronologique présente moins d'années déficitaires, mais avec des déficits aux valeurs très élevées. D'autre part, Dagana et Podor ont dans une moindre mesure des similitudes avec les extrêmes pluviométriques survenant aux mêmes années. Toutefois les valeurs des années déficitaires des stations de Dagana et de Podor sont moins accusées qu'à Saint-Louis, même si dans l'île les écarts négatifs sont plus élevés dépassant de loin ceux de Louga.

⁴ : Nous n'avons relevés que les déficits les plus sévères. Car les années 2008, 2009 et sont aussi toutes déficitaires.

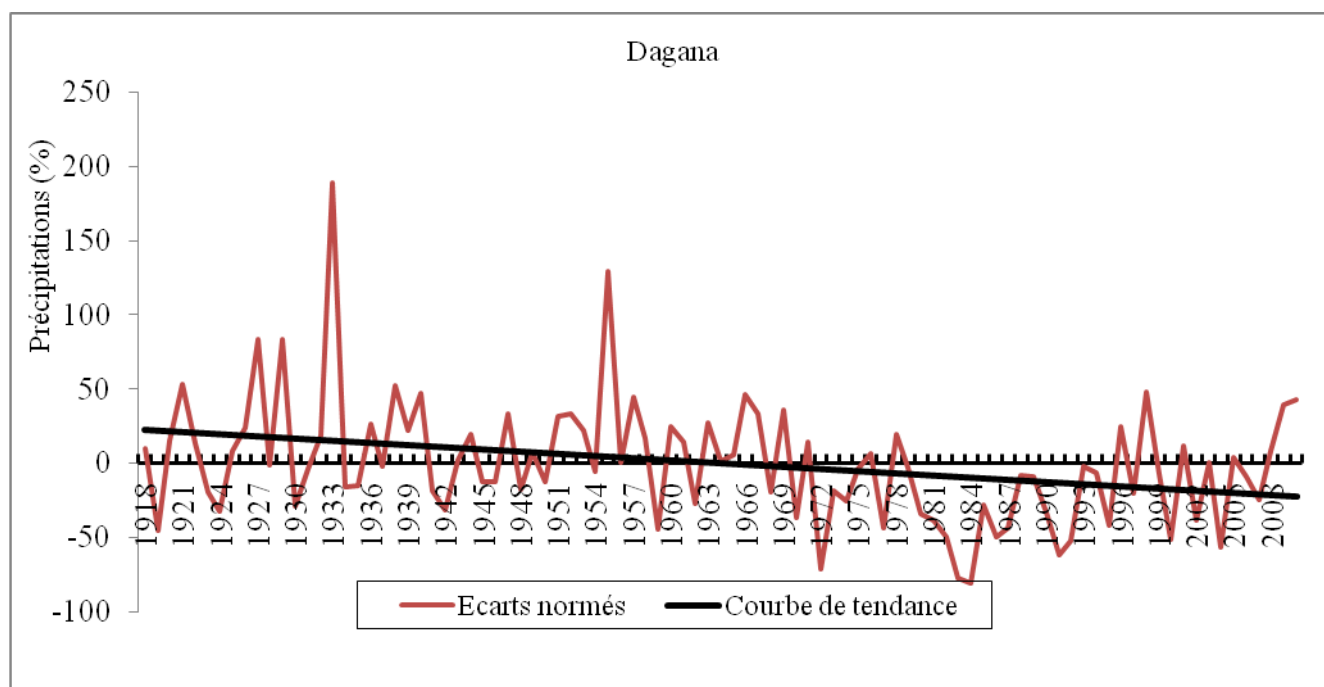


Figure 9 : Ecart normalisés des pluies annuelles à la station de Dagana de 1918 à 2010

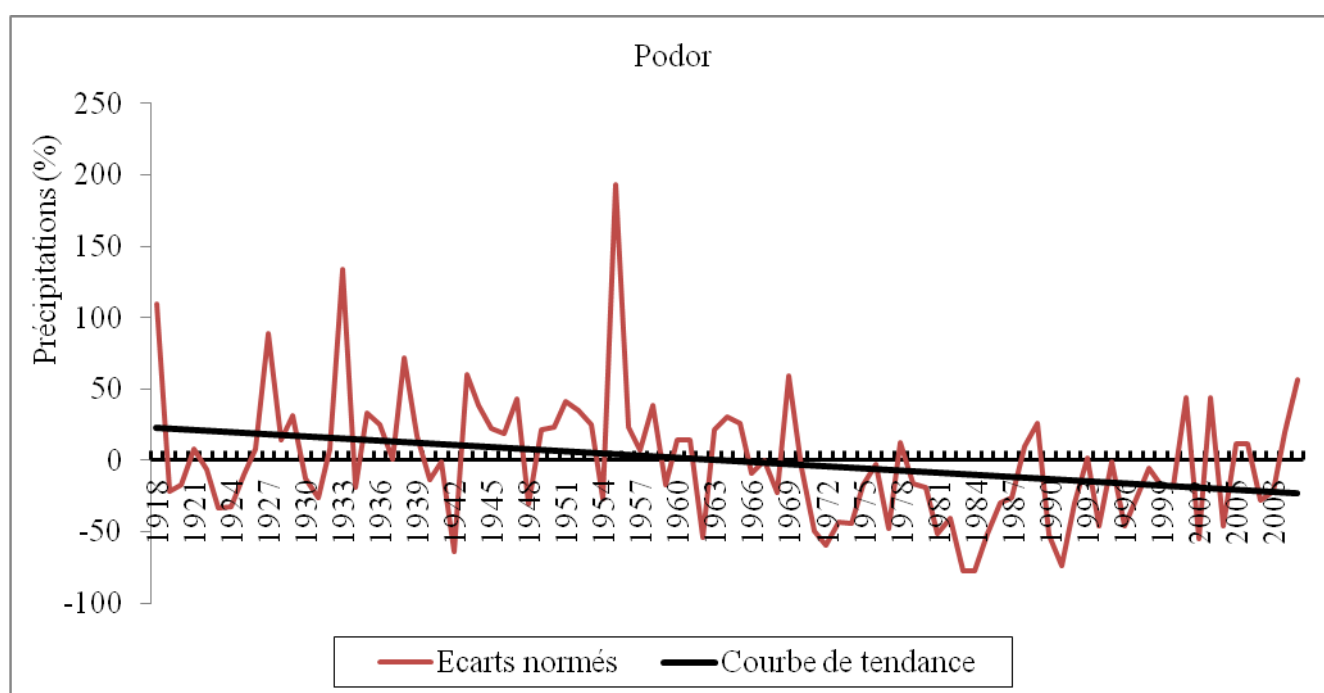


Figure 10 : Ecart normalisés des pluies annuelles à la station de Podor de 1918 à 2010

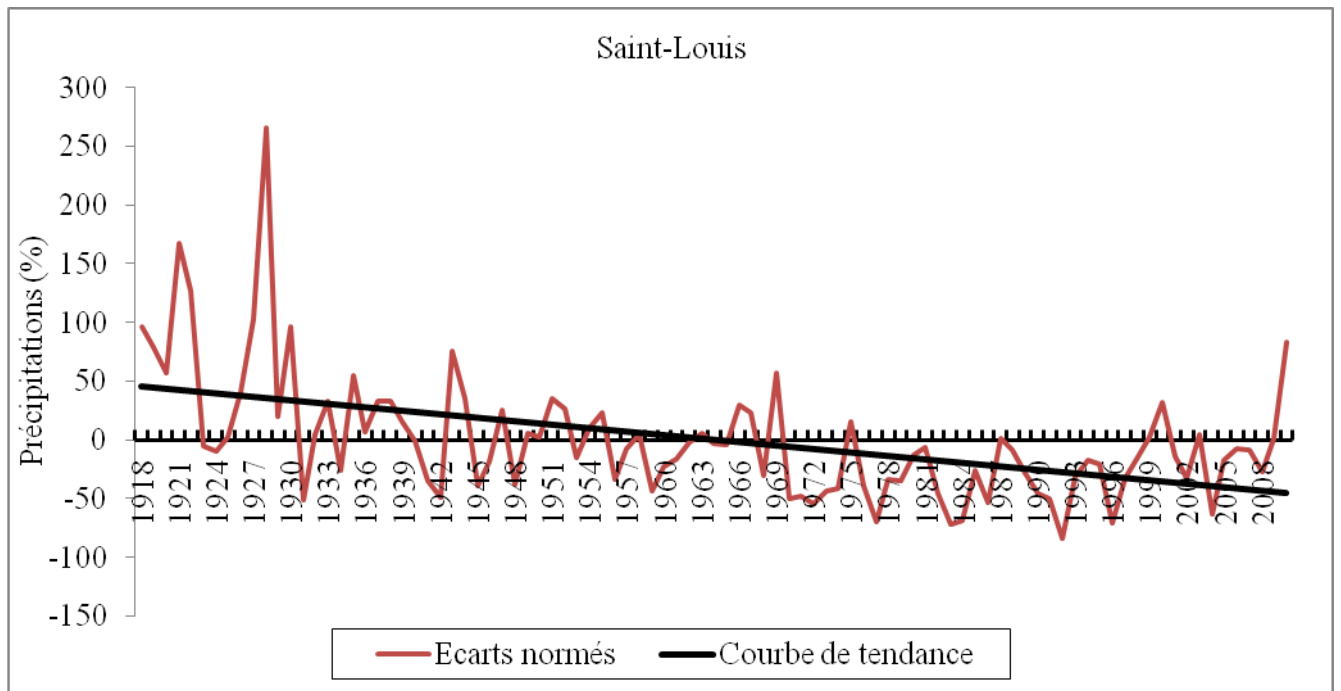


Figure 11 : Ecart normalisés des pluies annuelles à la station de Saint-Louis de 1918 à 2010

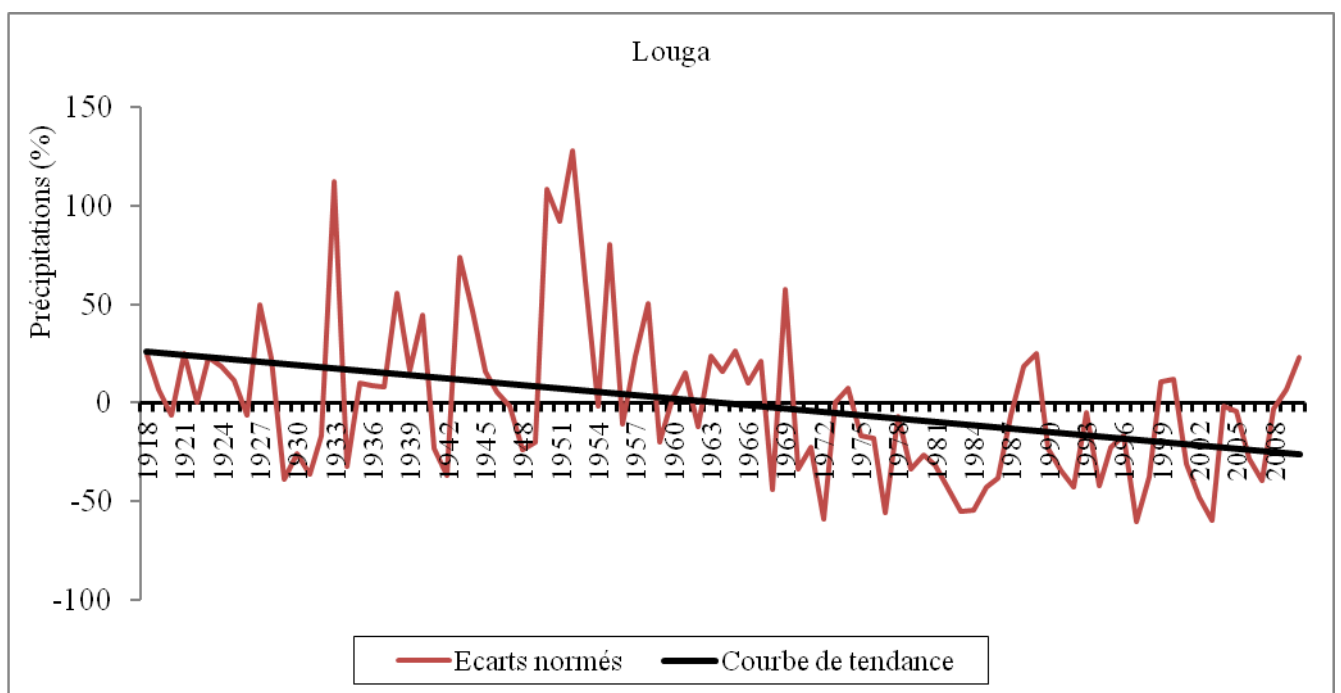


Figure 12 : Ecart normalisés des pluies annuelles à la station de Louga de 1918 à 2010

b. Analyse statistique de la pluviométrie annuelle

L'analyse statistique de la pluviométrie annuelle permet de déterminer la période de retour ou la fréquence d'apparition d'un quantile de pluie annuelle. Elle consiste à ajuster une loi statistique théorique à une série chronologique de pluies annuelles. L'ajustement est effectué automatiquement avec le logiciel Hydraccess qui intègre un module d'analyse statistique

comportant 10 lois statistiques fréquemment utilisées en hydrologie (Brunet-Moret Y., 1969). Le tableau 5 où sont consignés les quantiles et leurs récurrences montre que 3 lois (Gumbel, Pearson3, et Goodrich) s'ajustent le mieux aux pluies annuelles : Gumbel pour Saint-Louis et Podor ; Pearson3 pour Dagana et Goodrich pour Louga et Linguère.

Les récurrences annuelles vont de la centennale sèche à la centennale humide. Elles montrent d'une part la forte variabilité pluviométrique de la zone nord : A Podor et Linguère par exemple, une pluie annuelle de 136,4mm et 282,9mm est attendue en décennale sèche. En récurrences humides, les quantiles décennaux sont 430,1mm et 637,6mm. Cet écart considérable et cette forte variabilité pluviométrique au niveau de ces deux stations situées au nord et au sud de la zone d'étude est aussi accentuée par la décroissance pluviométrique suivant le gradient inverse. En effet les valeurs du rapport de la décennale humide à la décennale sèche (K3) met en évidence l'irrégularité interannuelle de la pluviométrie aux 5 stations. Mais le rapport distingue bien les stations de la région de Saint-Louis où la variabilité pluviométrique est plus forte avec des valeurs supérieures à 3, de celles de Louga et Linguère moins importante. Par ailleurs, le coefficient de variation est partout élevé surtout à Saint-Louis avec plus de 50%, suivi de Podor et de Dagana ; induit par des pluies annuelles fortement variantes autour de la moyenne interannuelle. Ce qui n'est pas le cas aux stations de Louga et Linguère et montre ainsi que la variabilité pluviométrique est moins forte dans ces localités.

Stations	Lois	Récurrences sèches					Médiane	E.type	Moy	Récurrences humides					K3	C.V
Fréquences		0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5			0,8	0,9	0,95	0,98	0,99		
Récurrences		100ans	50ans	20ans	10ans	5ans	2ans									
Podor	Gumbel	70,4	85,9	111,4	136,4	170,5	250,7	119,4	270,8	358,6	430,1	498,6	587,3	653,8	3,2	0,45
Dagana	Pearson 3	78,5	92,3	116,2	140,9	175,5	257,3	113,8	272,9	361,4	425,3	483,2	554,1	604,8	3,0	0,42
Saint-Louis	Gumbel	56,2	77,9	113,6	148,7	196,5	308,9	180,2	337,1	460,2	560,4	656,5	780,8	874,0	3,8	0,51
Louga	Goodrich	154,4	162,5	180,6	204,0	242,9	350,7	149,3	378,3	498,8	589,9	671,2	768,8	837,1	2,9	0,4
Linguère	Goodrich	204,2	219,8	249,7	282,9	330,9	441,3	135,2	453,0	567,8	637,6	696,4	763,5	808,6	2,3	0,3

Tableau 5 : Récurrences des pluies annuelles de quelques stations

II. La répartition mensuelle de la pluviométrie

1. Variabilité mensuelle de la pluviométrie

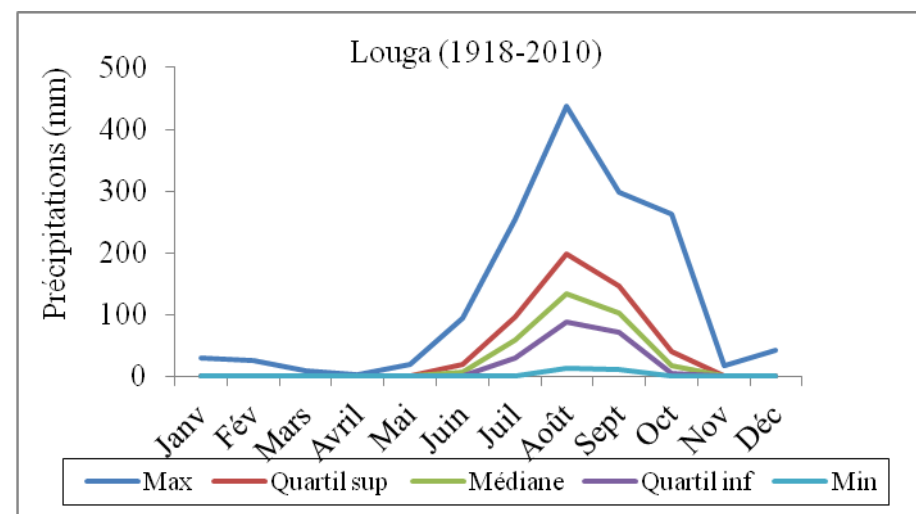
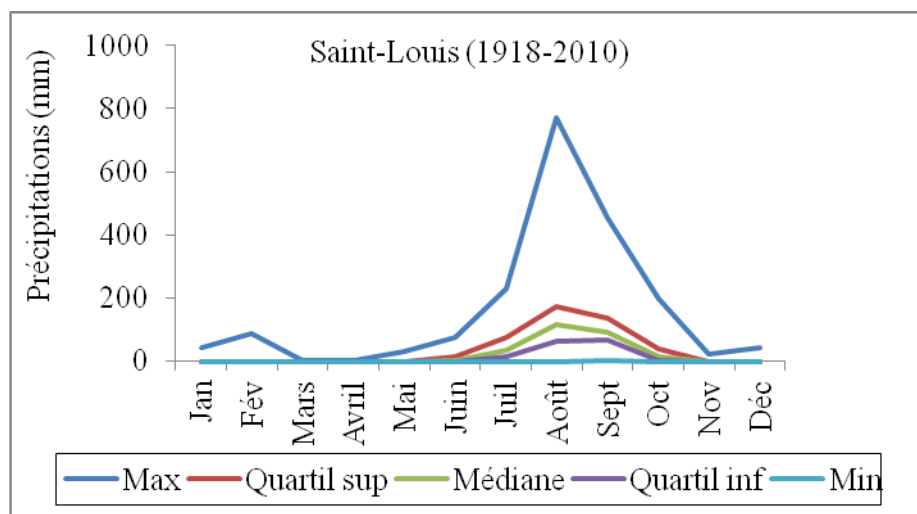
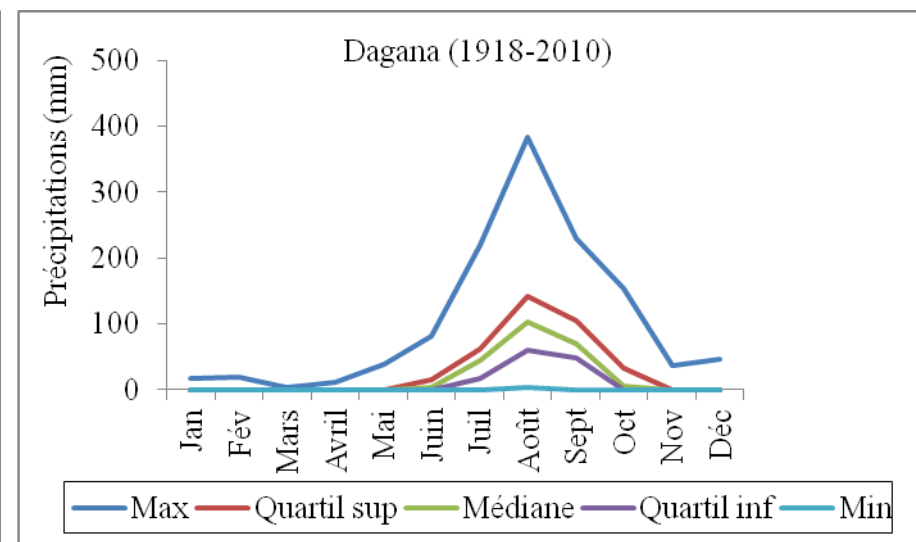
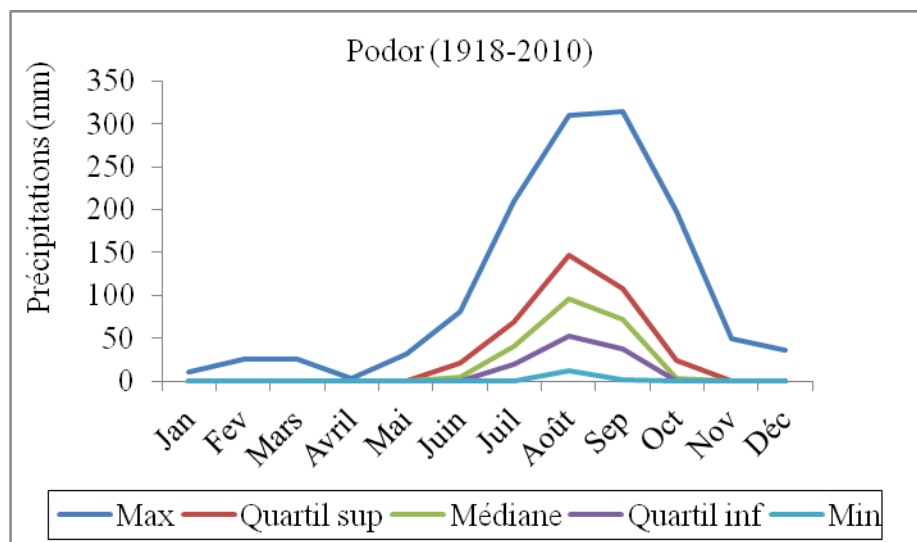
« L'étude de la répartition des pluies dans l'année et en particulier des hauteurs mensuelles de précipitations pose le problème de l'hétérogénéité des données de base » (Dacosta H., 1989). Ainsi l'inégale répartition des stations dans la région, les durées inégales des observations et les lacunes font que nous avons retenu les 3 stations précédentes (Podor, Dagana et Saint-Louis) représentant les départements de la région de Saint-Louis, auxquelles on a ajouté la station de Louga.

La variabilité pluviométrique mensuelle aux stations sur l'étendue de la série 1918-2010 est très importante (figures 13). Sur toute la série, les pluies débutent timidement au mois de juin pour des valeurs maximales de 81 mm à Podor ; 82 mm à Dagana ; 75 mm à Saint-Louis et 94,6 mm à Louga. Cette station bénéficie d'un maximum plus élevé dû en partie qu'elle reçoit en premier les plus importantes quantités de pluies, induite par sa position sud par rapport à la région de Saint-Louis. A partir de Juin, les pluies croissent jusqu'à août où se situe le pic annuel, pour enfin que la baisse survienne et précède la fin de la saison dans toutes les stations.

En outre, les pluies hors saison ne sont pas négligeables : elles interviennent ici dans la première décennie de la série de novembre à avril pour ce qui de la station de Podor avec le maximum en février, pour une moyenne globale de 26 mm. A Dagana et Podor ces pluies sont moins accusées sur l'ensemble de la série et sont cantonnées sur les mois de janvier, et février où le maximum est enregistré. A Saint-Louis, même si à partir du mois de mai quelques millimètres sont notées en 1986 et 1988, elles sont insignifiantes pour les semis d'autant plus que ces pluies ne sont pas régulières et peuvent être considérées comme des pluies de Heug. Ainsi pour l'année 1986, 1,2 mm est enregistré au mois de mai avant que l'hivernage ne débute au mois de juillet ; tout le mois de juin pas une seule goutte n'est enregistrée.

Par ailleurs Saint-Louis fait exception parmi les autres départements de ladite région dans la mesure où le cumul mensuel de sa pluviométrie dépasse ceux de Podor et Dagana. Ce fait peut s'expliquer par « l'influence de l'atlantique dont l'inertie thermique a pour conséquence un début tardif de la saison des pluies sur le littoral mais avec des totaux annuels plus importants cependant par rapport à l'intérieur du pays » (Dacosta et al. 2002).

En complément, l'analyse statistique de la pluviométrie mensuelle donnera plus de détails à la physionomie des précipitations à cette échelle de temps.



Figures 13 : Variation pluviométrique moyenne mensuelle du maximum, du minimum et des quartiles des stations de Podor, Dagana, Saint-Louis et Louga



2. L'analyse statistique de la pluviométrie mensuelle

L'analyse est effectuée avec les valeurs des pluies journalières calculées d'abord automatiquement sous Hydraccess puis exportées vers Excel pour enfin calculer les paramètres statistiques qui vont servir à une analyse et comparaison plus fine entre les stations prises ici en compte. En complément de l'analyse de l'évolution mensuelle de la pluviométrie effectuée plus haut, la prise en compte des paramètres statistiques de ces stations donne une idée sur la répartition mensuelle des pluies. Les paramètres considérés et consignés dans le tableau 6 sont :

- La moyenne interannuelle de la série de chaque station ainsi que les normales 1931-1960 et 1981-2010.
- L'écart-type (E.T) et le coefficient de variation (C.V).
- Le coefficient pluviométrique (C.P%) qui exprime la part de chaque mois au total annuel sur la série et sur les normales retenues.

Les pluies de ces stations analysées à travers les moyennes mensuelles, les paramètres statistiques ainsi que la part de chaque mois au cumul distinguent Saint-Louis des autres départements du fait que la première station subit fortement l'influence maritime. A cet effet, son cumul au mois d'août dépasse de loin le maximum de toutes les autres stations.

Les moyennes mensuelles obtenues sur toute la durée d'observation et présentées sur la figure 13 indiquent la répartition des pluies mensuelles sur la période allant 1918-2010 aux stations retenues. Les cumuls de Saint-Louis et de Louga sont plus importants par rapport aux stations de Podor et de Dagana lesquelles, la pluviométrie débute généralement au mois de juin pour évoluer jusqu'au mois d'Août où le maximum survient : le quartile supérieur (75%) des quatre stations se situe au mois d'août. Dès septembre, les pluies commencent à diminuer pour s'arrêter au mois d'octobre. Nous pouvons donc noter que l'hivernage à Louga dure aussi 5 mois. La station présente le même cas à Podor et à Dagana en ce qui concerne la longueur de la saison des pluies et Août concentre le maximum pluviométrique mensuel. La station de Podor se particularise par deux maxima, le premier enregistré au mois d'août et un second principal situé en septembre. Les cumuls mensuels enregistrés à Louga sont plus importants du fait que la pluviométrie suit un gradient décroissant sud nord.

La comparaison du CP(%) des trentenaires 1931-1960 et 1981-2010 montre une baisse des valeurs de la pluviométrie entre ces deux normales. Par exemple la part du mois d'août est

⁵ : Nous avons choisi ces normales pour représenter la variabilité pluviométrique avant et après la période de sécheresse des années 1970

respectivement à Podor de 39,5% et 38,3% ; à Dagana 40,7% et 40,3% et Saint-Louis 45,6% et 35,7%. La station de Louga par contre enregistre une augmentation de l'apport du mois d'août avec 39,2% et 39,7%.

Stations	Périodes	Param.	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Octobre	Nov	Dec
Podor	1918-2010	Moyenne	0,1	1,1	0,4	0,1	1,5	12,4	51,3	104,9	80	16,5	1,2	0,9
		E.T	1,7	4,1	2,8	0,4	5,2	16,7	46,2	63,5	53,6	29	5,4	4,3
		C.V	3,3	3,9	6,8	4,4	3,5	1,3	0,9	0,6	0,7	1,8	4,7	4,9
		C.P (%)	0,2	0,4	0,2	0	0,5	4,6	19	38,7	29,6	6,1	0,4	0,3
	1931-1960	Moyenne	0,6	1,6	0,9	0,1	3,2	16,2	67,6	131,8	83,9	23,1	2,8	2
		C.P (%)	0,2	0,5	0,3	0	0,9	4,8	20,3	39,5	25,1	6,9	0,9	0,6
	1981-2010	Moyenne	0,1	0	0,1	0	0	6,5	42,7	83	74,8	9,5	0,2	0
		C.P (%)	0	0	0	0	0	3	19,7	38,3	34,5	4,4	0,1	0
Dagana	1918-2010	Moyenne	0,6	1	0,1	0,2	1,5	11,3	47,3	110,2	79,9	20,9	1	1,1
		E.T	2,2	3,4	0,4	1,3	5,9	17,1	38,6	66,5	49,5	31,5	4,7	5,4
		C.V	3,7	3,3	5,9	7,9	4	1,5	0,8	0,6	0,6	1,5	4,6	4,9
		C.P (%)	0,2	0,4	0	0,1	0,5	4,1	17,2	40,1	29	7,6	0,4	0,4
	1931-1960	Moyenne	0,3	1,5	0,1	0,4	2,9	12,7	56	131,5	88	25,1	2,3	2,4
		C.P (%)	0,1	0,5	0	0,1	0,9	3,9	17,3	40,7	27,2	7,8	0,7	0,8
	1981-2010	Moyenne	0,4	0	0	0	0	6,2	39,2	88,3	68,5	16,5	0	0
		C.P (%)	0,2	0	0	0	0	2,8	17,9	40,3	31,3	7,5	0	0
Saint-Louis	1918-2010	Moyenne	1,4	2,1	0,1	0,1	0,9	10,1	48,8	131,8	113,7	27,0	0,9	1,5
		E.T	5,3	9,7	0,3	0,5	3,7	16,9	44,9	102,8	88,1	40,1	3,7	6,6
		C.V	3,8	4,7	6,1	5,4	4,2	1,7	0,9	0,8	0,8	1,5	4,1	4,5
		C.P (%)	0,4	0,6	0,02	0,03	0,3	3,0	14,4	39,0	33,6	8,0	0,3	0,4
	1931-1960	Moyenne	0,7	1,3	0,02	0,2	1,2	7,2	44,3	156,3	96,2	29,8	2,4	3,3
		C.P (%)	0,2	0,4	0,01	0,1	0,4	2,1	12,9	45,6	28	8,7	0,7	0,9
	1981-2010	Moyenne	0,2	0,1	0,1	0	0,1	6,3	41,3	91,4	95,7	21,1	0,1	0
		C.P (%)	0,1	0	0	0	0	2,4	16,1	35,7	37,3	8,2	0	0
Louga	1918-2010	Moyenne	1	1	0,1	0,1	1,3	12,7	70	149	114,5	29,3	1	0,9
		E.T	4,6	3,7	0,9	0,3	3,9	15,6	51,7	80,4	62,4	37,4	3,4	5,5
		C.V	4,7	3,6	8	5,2	3,1	1,2	0,7	0,5	0,5	1,3	3,4	6,2
		C.P (%)	0,3	0,3	0	0	0,3	3,4	18,5	39,3	30,2	7,7	0,3	0,2
	1931-1960	Moyenne	1,1	1,7	0	0	2,5	14,2	89,6	184,7	132,7	39,4	2,3	2,6
		C.P (%)	0,2	0,4	0	0	0,5	3	19	39,2	28,2	8,4	0,5	0,5
	1981-2010	Moyenne	0,4	0,8	0,1	0	0,3	10,1	52,7	116,6	89,9	23	0	0
		C.P (%)	0,1	0,3	0	0	0,1	3,4	17,9	39,7	30,6	7,8	0	0

Tableau 6 : Paramètres statistiques des pluies moyennes mensuelles

III. L'analyse de la pluviométrie journalière

« Le pas de temps journalier constitue la base des chroniques pluviométriques disponibles » (Dacosta, 1989). Brunet-Moret Y. (1963) tentait de définir un ' jour de pluie', en se référant aux Services Météorologiques « qui comptent comme jour de pluie toute période de 24 heures pendant laquelle il a été mesuré 0,1 mm ». La connaissance du pas de temps journalier est capitale dans le calendrier agricole pour appréhender d'une part les quantités d'eau pouvant s'abattre sur une parcelle donnée, d'autre part estimer la date de semis d'une spéculacion quelconque en rapport avec ses besoins évolutifs en eau.

Les stations de notre zone d'étude se répartissent de manière très hétérogène sur l'espace. Les données pluviométriques issues de ces postes se remarquent par une discontinuité de leur série aussi bien entre les stations qu'au sein même de chaque station. Sur les 15 postes qui représentent le réseau de mesure pluviométrique de la région de Saint-Louis, seules 9 offrent la possibilité d'y effectuer une étude statistique des pluies à l'échelle journalière. Car combler ou homogénéiser une pluviométrie à ce pas de temps étant impossible, l'analyse à l'échelle journalière concerne les stations qui présentent une complémentarité des données et ce, quelque soit la durée de leur observation. Ces stations sont :

Stations	Nombre d'années observé
Saint-Louis	110
Dagana	95
Podor	95
Louga	93
Linguère	77
Rao	27
Galoya	22
Ross Béthio	22
Mbane	22

Tableau 7 : Nombre d'années d'observation des stations à série complète

1. L'analyse fréquentielle de la pluviométrie journalière

L'étude statistique des hauteurs de pluies journalières concerne les stations du tableau 7. Elle permet d'estimer, parmi les dix lois de distribution intégrées dans Hydraccess, la probabilité d'une quantité de pluies journalière reçue ou dépassée sur différentes périodes. Seules les récurrences humides sont calculées par le logiciel. La loi Pearson 3 Tronquée s'ajuste le mieux aux données pluviométriques journalières de toutes les stations sauf Rao (figures 37 et 38, annexe).

Stations	Lois	Médiane	Récurrences humides				
		0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
		2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
St-Louis	Pearson 3	73,2	98,3	117,5	138,6	166	187,3
Dagana	Pearson 3	61	81,3	97,5	114,1	136,4	152,9
Podor	Pearson 3	55,3	71	82,2	94,3	110,4	122,3
Louga	Pearson 3	65	83,7	97,7	111,9	131,1	145,6
Linguère	Pearson 3	66,4	82,7	95,6	107,5	124,1	136,8
Rao	GoodrichT	60,1	79,5	94,9	110,9	132,8	149,9
Galoya	Pearson 3	57,45	72,1	83,2	94,07	108,46	119,71
RossBéthio	Pearson 3	50,96	63,51	73,27	82,71	95,62	104,5
Mbane	Pearson 3	60,3	78,9	93	107,2	126,8	141,9

Tableau 8 : Pluies fréquentielles journalières de quelques stations

Les hauteurs journalières à différentes récurrences de Saint-Louis sont plus élevées par rapport aux autres stations comme Dagana, Louga, Podor ; le caractère littoral de Saint-Louis induit des cumuls journaliers plus importants. Par contre, l'importance des hauteurs à Louga et Linguère se justifie par leur position géographique plus méridionale. Parmi toutes les récurrences sauf la médiane, la station de Louga présenterait des quantités de pluies journalières supérieures à celle de Linguère. Etant donné que cette station se situe plus au sud, ceci peut s'expliquer par une série moins longue de cette station par rapport à celle de Louga.

Les quatre dernières stations ont des hauteurs de pluies journalières moins élevées et à tous les pas de temps. Mais ces stations ont une série chronologique plus courte par rapport au groupe de stations de Podor. Rao ici présente les hauteurs et périodes de retour plus marquées : ce phénomène n'est-il pas lié à la « dimension de l'échantillon c'est-à-dire le faible nombre d'années d'observations des stations récentes » (Brunet-Moret Y., 1963). Galoya, Ross Béthio et Mbane qui ont toutes une même longueur de données suivent de près les récurrences de Rao. Mbane, d'une série de données courte présente sur toutes les récurrences les plus importantes hauteurs journalières ; sa proximité avec le lac de Giers en est peut être pour quelque chose.

Ainsi, l'étude de la fréquence de la pluviométrie journalière est capitale certes pour connaître les récurrences, de l'échelle annuelle à celle centennale. Mais, elle ne renseigne pas sur les caractéristiques des averses enregistrées c'est-à-dire la répartition dans l'année des hauteurs journalières.

2. Les fractions journalières

L'analyse des fractions pluviométriques journalières consiste en la répartition des hauteurs de pluie journalières en trois classes. Ce qui va indiquer la fraction la plus fréquente que chaque station enregistre. La répartition du total annuel en fractions se fonde sur trois classes et estimée par:

F1 : Somme des pluies journalières comprises entre 0 et 20 mm ;

F2 : Somme des pluies journalières allant de 20 à 40 mm ;

F3 : Somme des pluies journalières supérieures à 40 mm.

Les stations représentées (figures 14 à 18) montrent une variation des trois fractions d'une année à l'autre mais cette variation est plus forte pour les classes F2 et F3 où une absence fréquente de cette dernière est notée. Outre les stations représentées sur les figures, le tableau 9 montre la part de chaque fraction (%) pour toutes les stations. Pour les cinq premières stations (sauf Saint-Louis), la part de F3 est la plus faible avec un écart énorme entre F2 et F3 pour les stations de Podor et Dagana (respectivement 11% et 8%). Par contre à Saint-Louis, c'est F3 qui est la plus représentée avec toutefois un écart moindre entre les première et deuxième fractions (4,4% et 4,6%). La station de Rao enregistre une faible différence entre F1 et F2 (0,8%), mais entre cette dernière et F3 l'écart atteint 7,7%. Les trois dernières stations (sauf Mbane) de série chronologique courte présentent une décroissance de valeurs entre les classes. Cette répartition interannuelle entre les différentes fractions montre le caractère très variable de la pluviométrie dans la région.

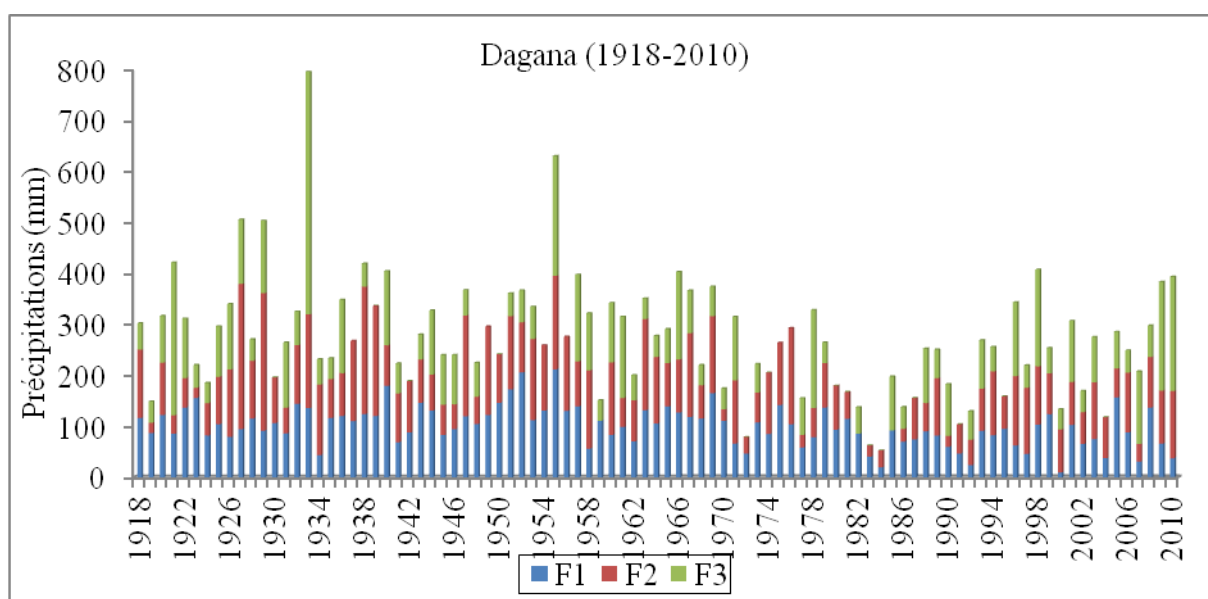


Figure 14 : Variation des fractions pluviométriques journalières à la station de Dagana

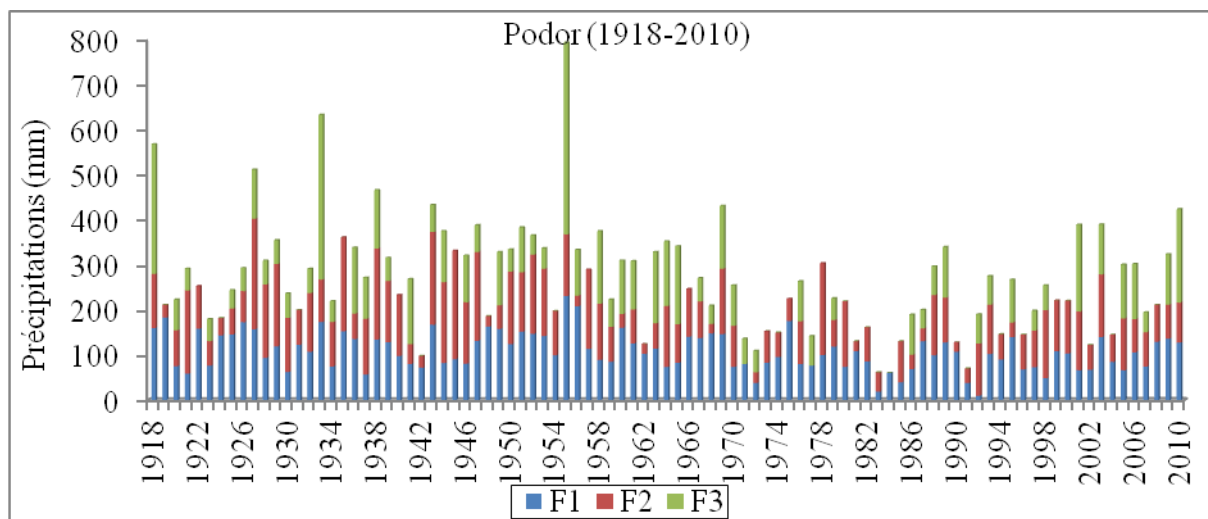


Figure 15 : Variation des fractions pluviométriques journalières à la station de Podor

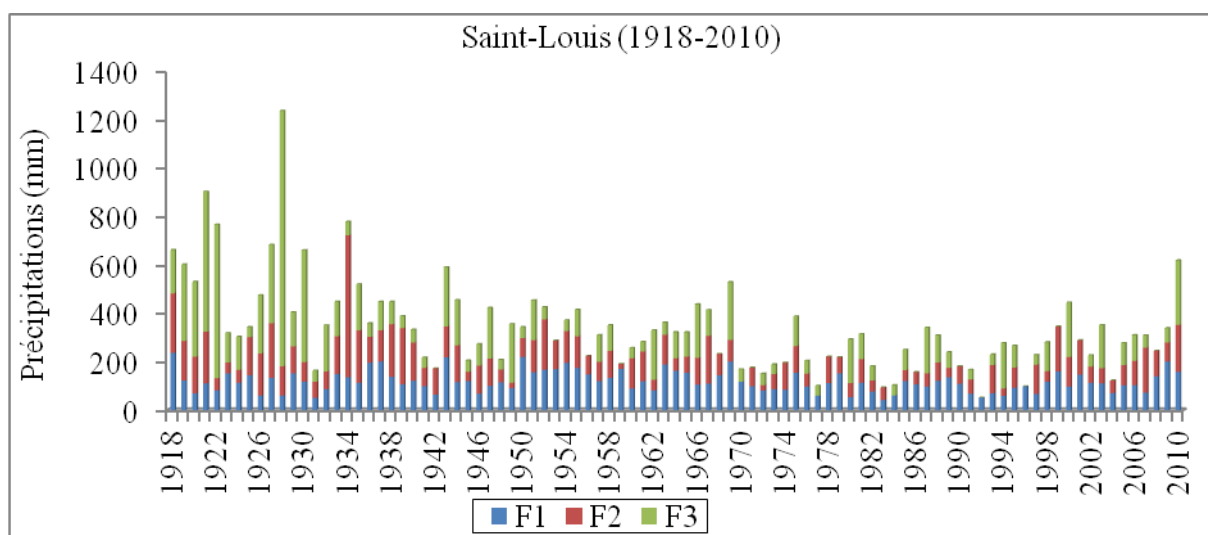


Figure 16 : Variation des fractions pluviométriques journalières à la station de Saint-Louis

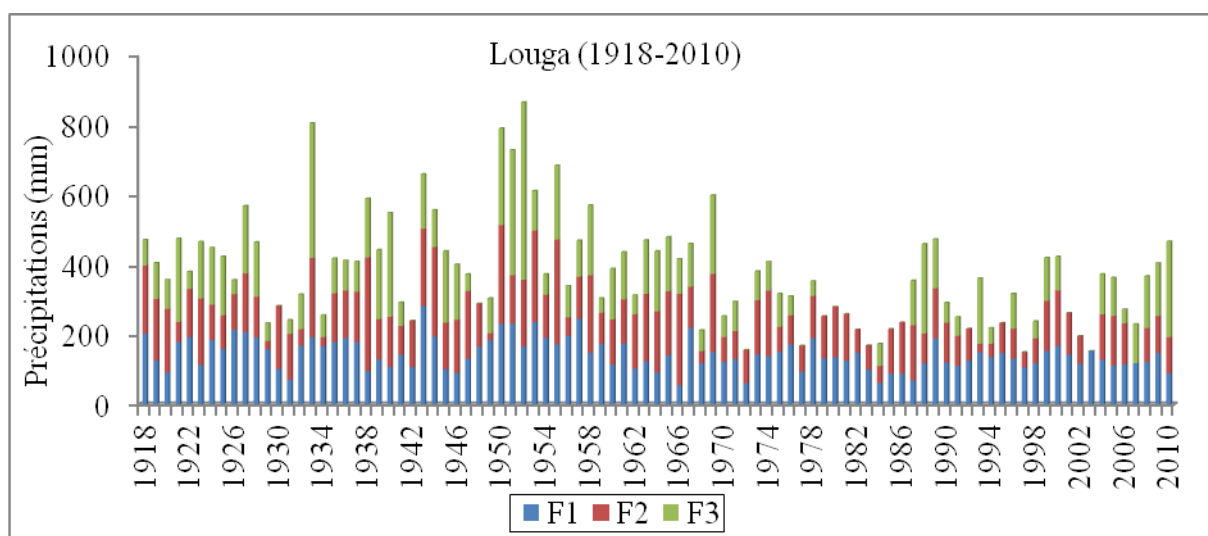


Figure 17 : Variation des fractions pluviométriques journalières à la station de Louga

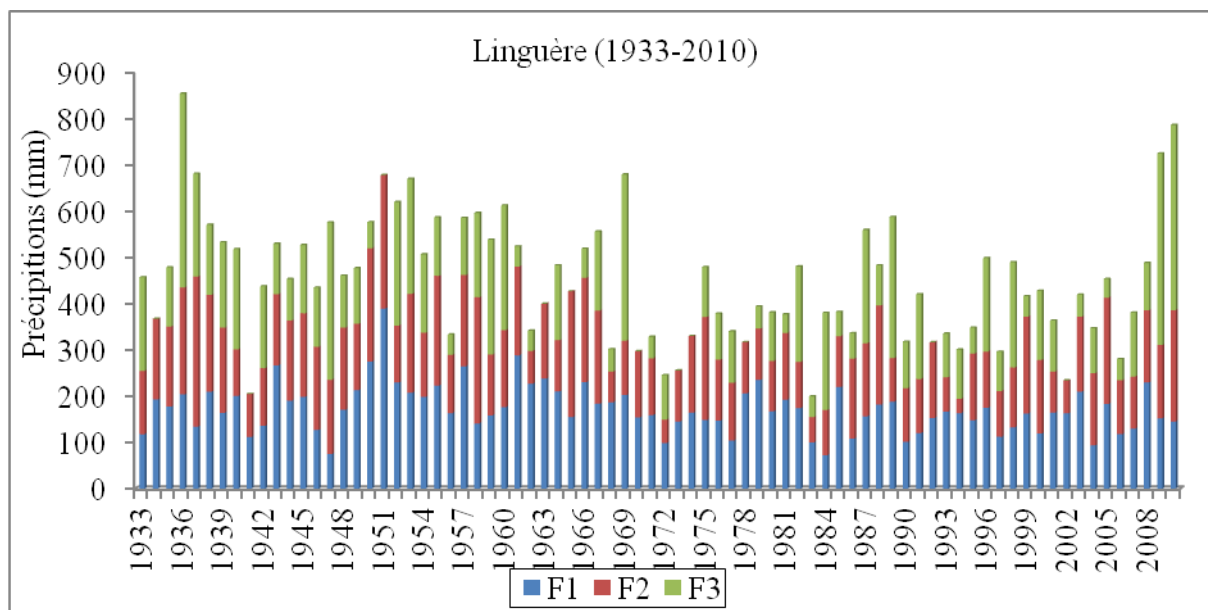


Figure 18 : Variation des fractions pluviométriques journalières à la station de Linguère

Stations	Période	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)
Saint-Louis	1918-2010	34,7	30,3	34,9
Dagana	1918-2010	36,6	35,7	27,7
Podor	1918-2010	40,0	35,5	24,5
Louga	1918-2010	38,1	33,7	28,1
Linguère	1933-2010	38,3	33,7	28
Rao	1986-2010	36,4	35,6	27,9
Galoya	1991-2010	37,6	31,5	30,8
Ross Béthio	1991-2010	37,8	35,0	27,1
Mbane	1991-2010	37,5	26,2	36,3

Tableau 9 : Part des fractions pluviométriques (%) des stations

La variabilité pluviométrique dans la région de Saint-Louis à toutes les échelles temporelles, caractérisée particulièrement par l’alternance d’années sèches et humides, affecte la recharge des nappes souterraines. Le bilan hydrologique subit, à cet effet, les conséquences du déroulement de la pluviométrie.

IV. Le bilan hydrologique

Le bilan hydrologique d'une région dépend de l'interaction des pluies reçues qui sont les apports ou entrées, les facteurs climatiques qui régulent les réserves souterraines à travers l'évapotranspiration qu'est le déficit. Le bilan est appréhendé par la formule suivante:

$$\checkmark \text{ Pmm} = Q \text{ (mm)} + E \text{ (mm)} \pm \Delta R$$

Pmm= Précipitation ; Q= débit d'écoulement des nappes souterraines ; E= déficit d'écoulement ; $\pm \Delta R$ = variation de la réserve des nappes.

Dans la région de Saint-Louis, la faiblesse des pluies joue certainement sur la recharge des nappes souterraines, et selon l'évapotranspiration de référence (ETo), le bilan hydrologique est estimé. « ETo représente l'évapotranspiration standard définie par Penman en 1956 comme étant la quantité d'eau transpirée par unité de temps par une végétation courte et verdoyante, recouvrant complètement le sol, de hauteur uniforme et qui ne manque jamais d'eau ». (Van Laere, cité par Manga A.V., 2012). Elle a été calculée à partir de la formule de Penman-Monteith et les données climatiques de la région. L'intérêt que nous portons ici au calcul de l'ETP entre dans le souci de mieux connaître le bilan hydrologique dans les bassins de notre zone d'étude afin d'estimer la quantité d'eau potentiellement disponible du sol et à la fin son apport aux besoins hydriques des cultures sous pluies. Car selon Mendy A. (2010) : « L'évapotranspiration est après les pluies, le terme le plus important du bilan hydrologique. Les disponibilités en eau sont évaluées à partir de deux variables : les hauteurs de pluies et la quantité d'eau évapotranspirée ». Le calcul de ce paramètre sur les années 2002 et 2010⁶ s'est effectué avec le model BHIDRICO GD 5.0 2010 d'estimation de l'ETo. Nous avons entré tous les paramètres climatiques mensuels de Podor et de Saint-Louis⁷ pour avoir une estimation relative du bilan hydrologique : Evapotranspiration réelle, évapotranspiration potentielle (ETP), pluie, le déficit d'écoulement et l'excédent.

⁶ : Ces années représentent respectivement du point de vue pluviométrique et sur la base des données mises à notre disposition l'année déficitaire et l'année excédentaire.

⁷ : Seulement nous avons pu disposer les fichiers des paramètres climatiques de ces deux départements à l'ANACIM.

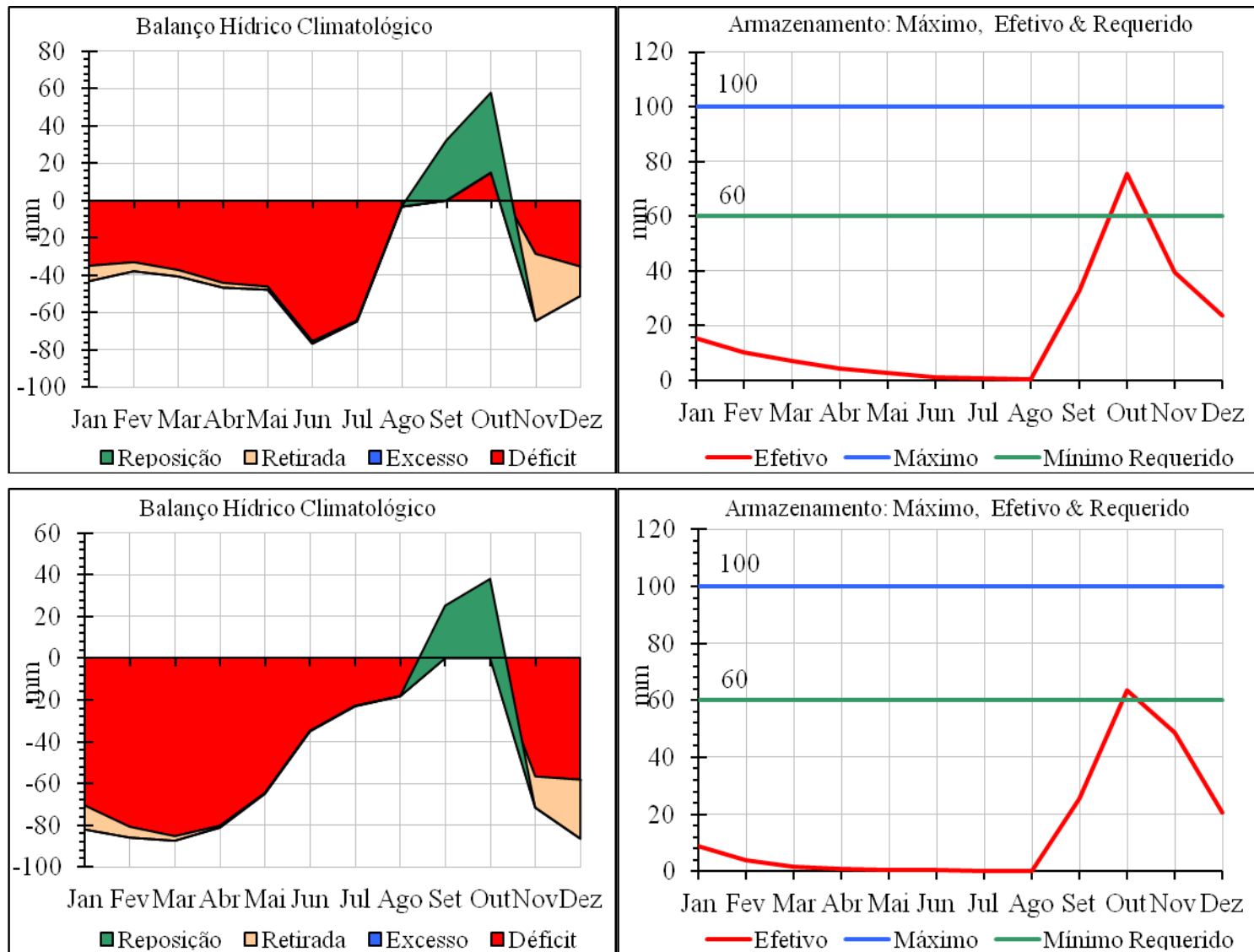


Figure 19 : Bilan hydrologique des stations de Podor et de Saint-Louis en 2002

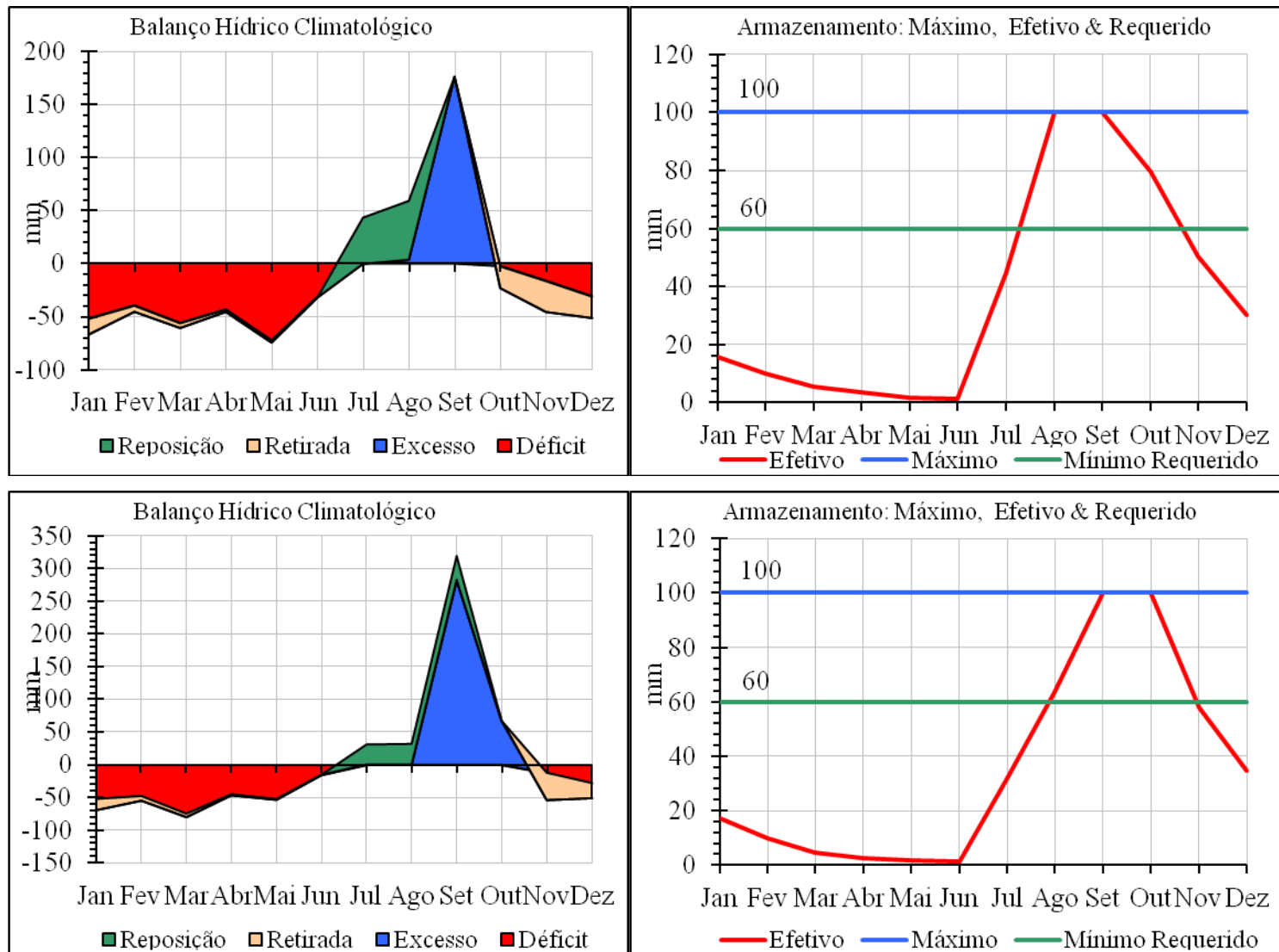


Figure 20 : Bilan hydrologique des stations de Podor et de Saint-Louis en 2010

Le bilan hydrologique mensuel dans ces deux stations sur les deux années caractéristiques de la pluviométrie montre bien le caractère du bilan. L'année 2002 à Saint-Louis et Podor (figures 19) se caractérise par un déficit très élevé poussant les réserves sous terraines qui n'ont pas été suffisamment alimenté à soutenir les débits. Ceci est causé par un hivernage de courte durée et non pluvieux.

En 2010, le comportement des bassins est remarquablement différent de 2002 ; du fait que durant cette année la pluviométrie est excédentaire (excédents de 154,7 mm à Podor et 352,5mm à Saint-Louis). Le bilan est donc positif durant cette saison: sur la figure 20 le surplus survient à partir du mois d'août dans les deux stations mais un peu plus précoce à Podor, du fait qu'en général l'hivernage débute tardivement sur les régions littorales avec des cumuls plus importants. A cet effet, les réserves sont bien soutenues par les excédents durant cette période.

En somme la fluctuation des nappes aussi bien à Saint-Louis qu'à Podor montre l'étroite dépendance de ces dernières à la pluviométrie dans la zone. La RFU est atteinte que lorsque l'année est pluvieuse, comme le cas en 2010 dans les deux sites et le retrait survient subitement dès octobre. Lors des années de déficit pluviométrique (ici 2002), les nappes n'ont que le temps de se reconstituer après une longue période de déficit et de retrait profond. Ceci montre bien que la variabilité pluviométrique imprime bien sa marque dans la région nord au niveau de la recharge des nappes souterraines. Malou R. (2002) étudiant l'évolution du niveau des nappes en zones subguinéenne, soudanienne et sahélienne, c'est-à-dire suivant le gradient pluviométrique sud nord, il remarque qu'« à mesure que l'on s'achemine vers les zones sèches (notamment en zone sahélienne), ce caractère cyclique à périodicité saisonnière s'estompe et l'on note de courtes phases de recharge dominées par de grandes phases de décharge ». Il l'a expliqué par la faiblesse des précipitations, la courte durée de la saison pluvieuse et l'allongement de la saison sèche qui font que la recharge devient très faible et ne dure que peu de temps contrairement à ce que l'on observe en climats plus humides.

En effet, les cultures dépendantes de l'eau pluviale durant la courte période que dure l'hivernage sont affectées par la fluctuation des nappes, étant donné que « dans la fraction retenue dans les interstices du sol après une pluie, seule une partie peut être extraite par le système racinaire des végétaux : c'est la réserve utile du sol » (Diagana A., 1994). L'auteur reprenant Brochet et al. (1968) distingue une réserve facilement utilisable représentant environ 50 à 60% de la réserve utile. La RFU est la seule susceptible d'alimenter les végétaux et d'en assurer la meilleure productivité, conclut-il.

Conclusion partielle

La pluviométrie dans la région de Saint-Louis durant ce dernier siècle est très variable, marquée par une baisse persistante à partir de la fin des années soixante. L'analyse de ce paramètre sur les différentes échelles de temps a montré la tendance pluviométrique au niveau de chaque station. En effet, l'agriculture pluviale de la région va sans doute subir les conséquences de cette forte variabilité de la pluviométrie. Ces deux dernières décennies (1991-2000 et 2001-2010) nettement plus pluvieuses redonne de l'espoir aux paysans. A travers les données de production agricole puis une corrélation avec les pluies moyennes annuelles, le suivi de la variation des productions face à la pluviométrie sera analysé. Les données agricoles vont de la campagne 1990/1991 à celle de 2010/2011⁸ ; l'analyse est basée sur la disponibilité de celles-ci dans chaque département et de chaque céréale cultivée.

⁸ : Le choix de la campagne 2010/2011 comme limite de l'analyse des données agricoles disponible permet de bien les corréler avec les données pluviométriques. Mais Podor pour faute de lacunes, l'analyse s'arrête en 2003/2004.

CHAPITRE 3 : Analyse des productions agricoles

I. L'évolution des superficies et des rendements

1. Les superficies emblavées

La région de Saint-Louis est par excellence une région à vocation agricole. L'empreinte de l'agriculture est plus visible dans les départements de Dagana et de Podor avec les cultures irriguées pratiquées généralement dans les cuvettes de décantations argileuses du walo ; pendant pratiquement toute l'année, et les cultures sous pluies pratiquées 2 à 3 mois que dure l'hivernage. Ces cultures sont développées sur les sols du Dièri et sont plus importantes dans le Podor. Selon Faye M. M. (2005), « l'essentiel des cultures sèches dans la zone nord est pratiqué dans le département de Podor. Dans le département de Dagana, c'est seul l'arrondissement de Rao qui assure la presque totalité de la production traditionnelle avec l'arachide et le mil Souna ; ces cultures représentent 40 à 50% des surfaces emblavées de la région ».

a. A Dagana

Les données de production des cultures sèches complètes dans le département de Dagana sont le mil, l'arachide huilerie et le niébé. C'est la raison pour laquelle elles seules font l'objet d'une analyse comparative avec la pluviométrie. Les données de la DAPSA trop fragmentaires sur les autres spéculations ne permettent pas d'en faire une analyse adéquate. Les superficies cultivées de ces céréales sont trop fluctuantes d'une campagne à l'autre, celles du mil restent tout de même plus importantes que les légumineuses à graines que sont l'arachide et le niébé (figure 21). Passant d'une vaste aire de culture (18514 hectares à la campagne 1996/1997 pour le mil, 15854 hectares en 1992/1993 pour l'arachide huilerie et 9400 hectares pour le niébé en 1997/1998), les superficies décroissent en dent de scie. C'est le cas pour le mil durant la campagne 2006/2007 avec 265 hectares, 484 hectares pour l'arachide et 287 hectares de niébé pour 2009/2010. Après cette campagne, les superficies de ces cultures ont sensiblement augmenté.

La culture du mil dans le département est bien suivie sur toute cette période. Depuis 1990, les superficies connaissent une évolution en dents de scie croissante jusqu'à la campagne 1996/1997 où le pic est observé. Nous avons retenu les années pour lesquelles les données sont complètes. La culture de l'arachide huilerie n'est pas en reste dans le département de Dagana, vu l'importance des revenus monétaires qu'elle peut générer. Comme les deux précédentes cultures, les superficies emblavées pour cet oléagineux sur toute la série sont très étendues (sur des milliers d'hectares), à la différence de quelques campagnes que sont :

1998/1999 ; 2005/2006 et 2006/2007 dont les superficies des parcelles n'atteignent pas 900 hectares. Autre légumineuse à graines, le niébé cultivé pendant l'hivernage et apprécié des populations pour son grand apport aux besoins alimentaires de ces dernières, est comme les autres cultures sèches pratiquées dans la région, soumis à la faible pluviométrie de la zone.

Les superficies attribuées à cette culture ne sont pas égales d'une campagne à l'autre, et celle 1997/1998 est marquée par l'étendue des parcelles avec 9400 hectares puis les surfaces cultivées se rétrécissent, pour enfin croître un peu à partir de 2002.

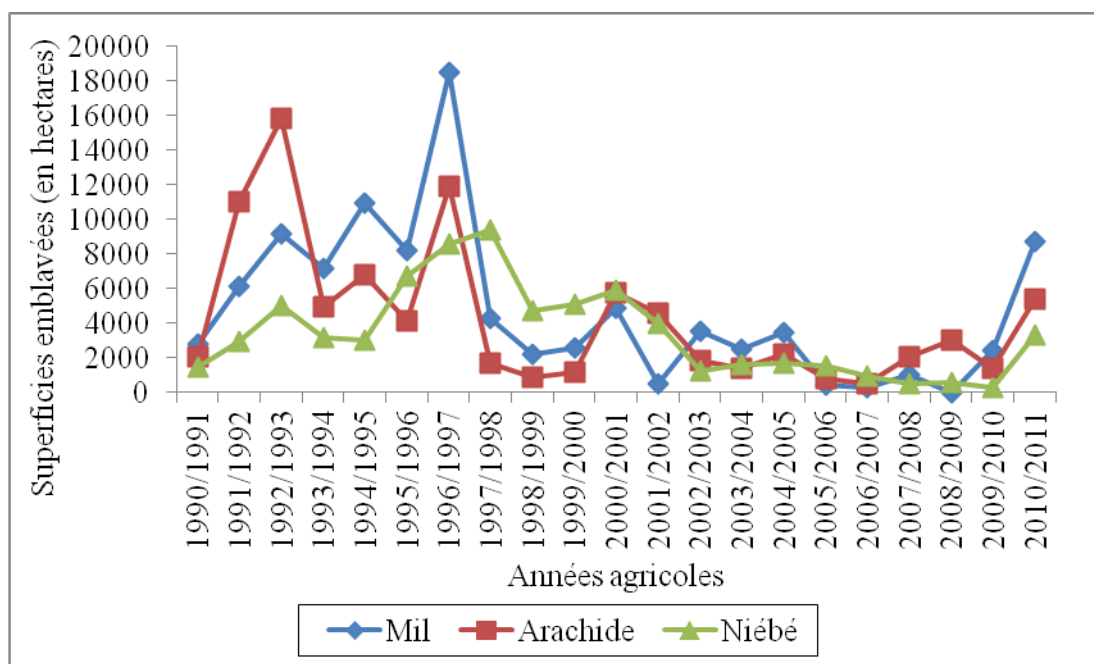


Figure 21 : Variation des superficies emblavées (en hectares) en mil, arachide et niébé dans le département de Dagana de 1990 à 2010

b. A Podor

Comme les données agricoles sur Dagana, celles relatives aux superficies cultivées et à la production durant la saison des pluies à Podor sont trop lacunaires. Ces données partielles ne facilitent pas le traitement, ce qui nous pousse à ne retenir que les cultures dont la campagne est presque complète et, peut se représenter sur une figure sans trop fausser l'allure des courbes. Comme dans le département de Dagana, l'information provenant de la culture du niébé est satisfaisante mais, avec une lacune pour la campagne 2004/2005 où seulement les valeurs des superficies sont relevées. Les données de production de mil sont entrecoupées d'une année où la production n'est pas relevée et quatre années totalement dépourvues de données. Les données sur le béréf et l'arachide ne sont pas représentées car entachées d'énormes lacunes et ne permettant pas une bonne analyse.

Les superficies cultivées du mil sont importantes dans ce département ; les parcelles de cultures, fluctuant d'une année à l'autre sont plus grandes durant les campagnes où le département de Matam faisait partie de la région de Saint-Louis. Les campagnes agricoles de mil les plus marquées par l'étendue des superficies durant cette période sont celles de 1994/1995 et 1998/1999 pour des surfaces respectives de 20989 hectares et 18120 hectares (figure 22). A partir de la campagne 2001/2002, les superficies sont restreintes dues peut être à la réduction de l'espace qu'occupait la région de Saint-Louis. Le niébé connaît des superficies emblavées moins étendues que celles du mil sur toutes les campagnes : seule l'année agricole 1994/1995 se distingue par l'étendue des parcelles de niébé avec 8223 hectares contre des aires de cultures inférieures à la moitié de cette superficie.

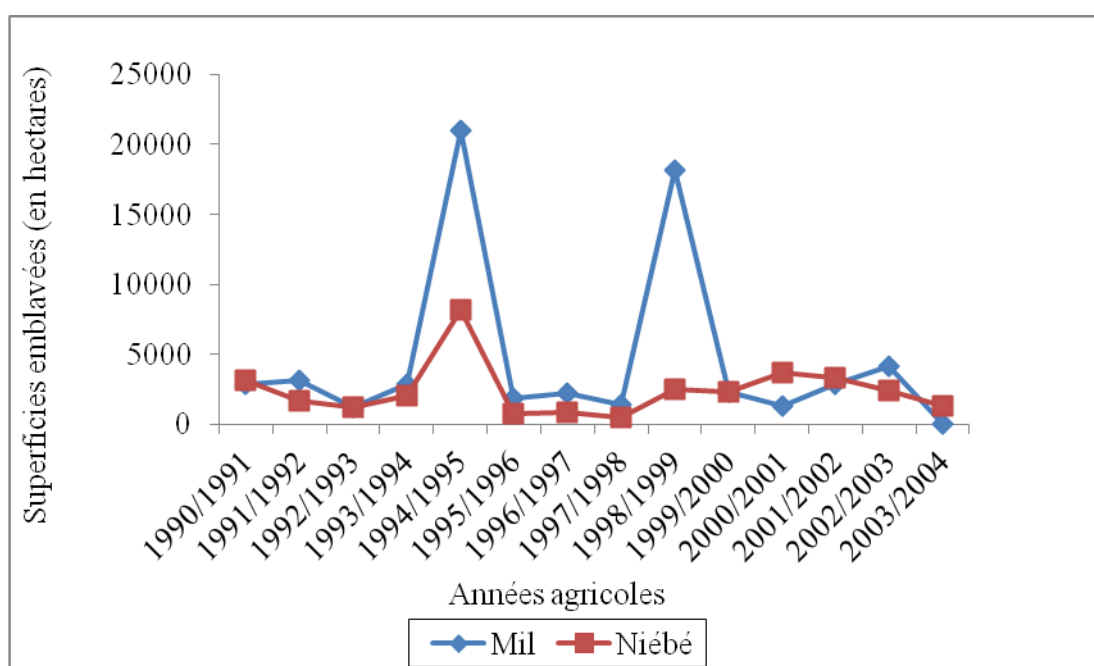


Figure 22 : Variation des superficies emblavées (en hectares) en mil et en niébé dans le département de Podor de 1990 à 2003

2. Les variations des rendements

Le calcul de rendement des cultures permet d'obtenir une nette appréciation sur les récoltes tirées des semis à la fin de l'hivernage. Comme pour l'analyse des superficies, celle des rendements concerne l'arachide, le mil, et le niébé pour le département de Dagana qui s'étendent sur deux décennies ; et pour Podor les rendements des deux dernières cultures sont représentés sur treize années.

a. A Dagana

Les rendements des cultures dans le département sont trop fluctuants d'une année à l'autre. Ils varient en dents de scie avec toutefois une part plus consistante pour l'arachide sur l'ensemble

des campagnes agricoles. La série est entrecoupée de quelques campagnes où les données sont nulles pour le mil et l'arachide en 1992/1993, en 2004/2005 pour les trois cultures et 2008/2009 pour le mil (figure 23). Depuis le début des campagnes jusqu'en 1997/1998 les rendements évoluent en hausse et en baisse, puis enregistrent une croissance jusqu'en 2001/2002. Depuis cette campagne, ils restent fluctuants mais caractérisés par une hausse généralisée de toutes les cultures particulièrement pour 2005/2006.

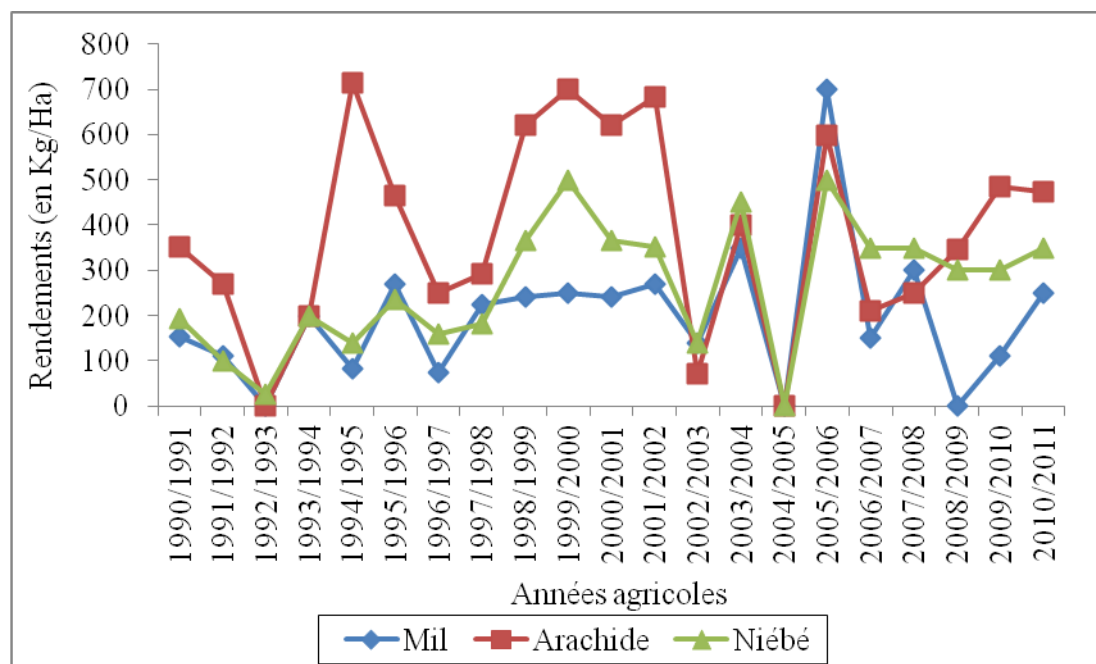


Figure 23 : Variation des rendements (en Kg/Ha) du mil, de l'arachide et du niébé dans le département de Dagana de 1990 à 2010

b. A Podor

Représentés par les cultures du mil et du niébé, les rendements agricoles dans le département de Podor sont moins importants que ceux du département de Dagana (400 kg/ha en moyenne à Podor contre le double dans ce dernier). Les rendements se caractérisent ici par une tendance en hausse du niébé par rapport au mil (figure 24). Du début de la série à la campagne 1995/1996, à la différence du niébé où les rendements croissent, ceux du mil n'ont connu que deux pics. A partir de la campagne 1998/1999, les rendements prennent la courbe ascendante entrecoupés d'une chute lors de la campagne agricole 1999/2000.

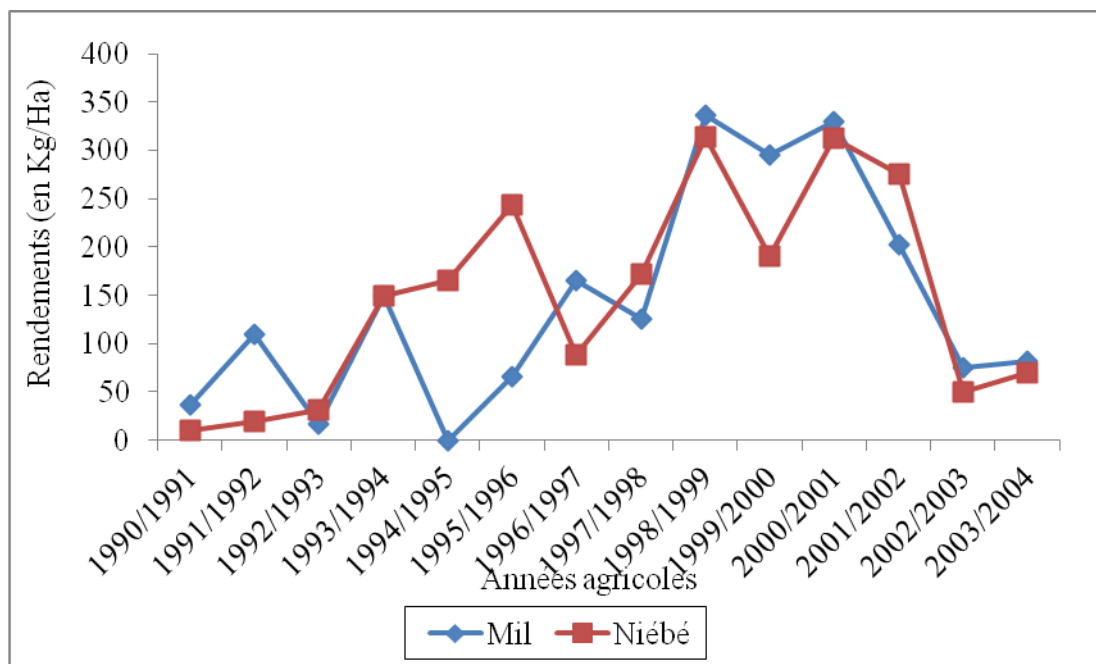


Figure 24 : Variation des rendements (en Kg/Ha) du mil et du niébé dans le département de Podor de 1990 à 2003

II. L'incidence de la variabilité pluviométrique sur la production

Dans cette partie il s'agit de mettre en corrélation la pluviométrie dans la région sur quelques années, c'est-à-dire en fonction de la complémentarité des données des cultures sous pluies, et son incidence sur la production agricole. A cet effet, ce sont les moyennes pluviométriques annuelles des deux départements de la région qui vont servir de base d'analyse en corrélation avec les données de la production agricole. Donc pour faute de lacunes et comme précédemment, cette analyse porte seulement sur l'arachide, le mil et le niébé à Dagana ; et pour le département de Podor le mil et le niébé sont concernés. Ces deux localités ont une série pluviométrique longue de 93 ans (1918-2010) avec une moyenne interannuelle respective de 275,0mm et 270,7mm. Ainsi sur deux figures distinctes pour chaque département, nous analyserons la variation des superficies et production d'une part, et d'autre part la comparaison des productions et des pluies moyennes annuelles.

La variation des rendements par rapport à la pluviométrie ne sera pas analysée, mais peut-être estimée après la corrélation production et pluies moyennes annuelles. Car le rendement ne dépend pas directement d'une bonne ou non année pluvieuse : plusieurs facteurs peuvent intervenir de la production au rendement ; à savoir les pertes notées lors du décorticage et/ou du pesage des récoltes.

1. La production des cultures pluviales

a. A Dagana

L'analyse des superficies cultivées en mil, arachide et niébé dans le département ainsi que leur production montre globalement l'importance des superficies emblavées en mil avec une production inférieure à celle de l'arachide et du niébé (figures 25, 26 et 27). Hormis les années où les données sur la production ne sont pas disponibles (1992/1993, 2004/2005), l'ensemble superficie-production est dans la quasi-totalité des campagnes sur la même tendance pour le mil et l'arachide. Par contre, pour quelques années la courbe de la production est au-dessus de celle des surfaces emblavées (1993, 1995, puis de 1998 à 2004 pour le mil ; et pour l'arachide en 1994 et de 1990 à 2002). La culture du niébé elle, se singularise par l'importance des superficies cultivées par rapport à la production de 1990 à 1998. Ainsi d'après le résultat de la production tirée des superficies dans le département de Dagana, l'arachide offre des rendements plus consistants (333Kg/Ha) par rapport au niébé (300Kg/Ha) et au mil (125Kg/Ha).

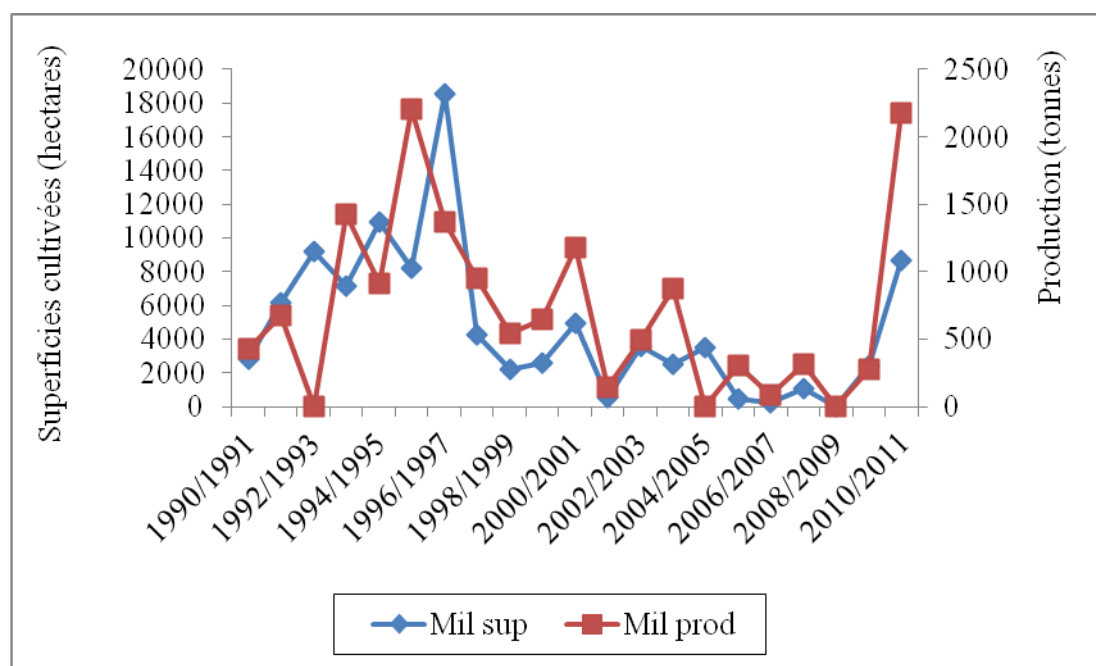


Figure 25 : Variation des superficies emblavées (hectares) et de la production (tonnes) du mil à Dagana de 1990 à 2010

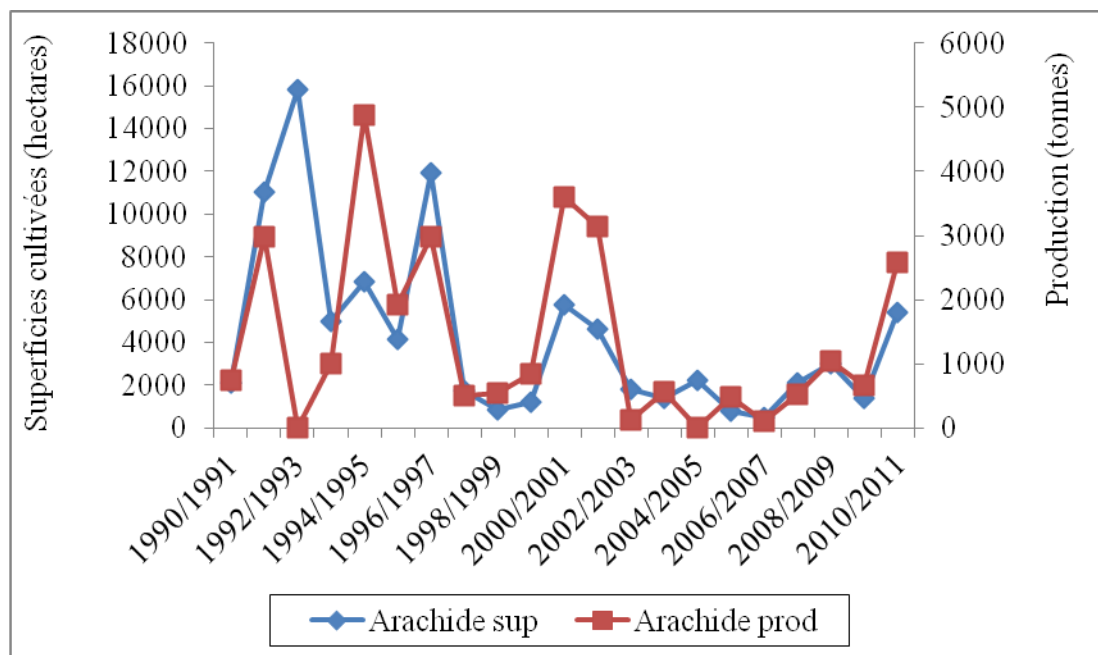


Figure 26 : Variation des superficies emblavées (hectares) et de la production (tonnes) de l'arachide à Dagana de 1990 à 2010

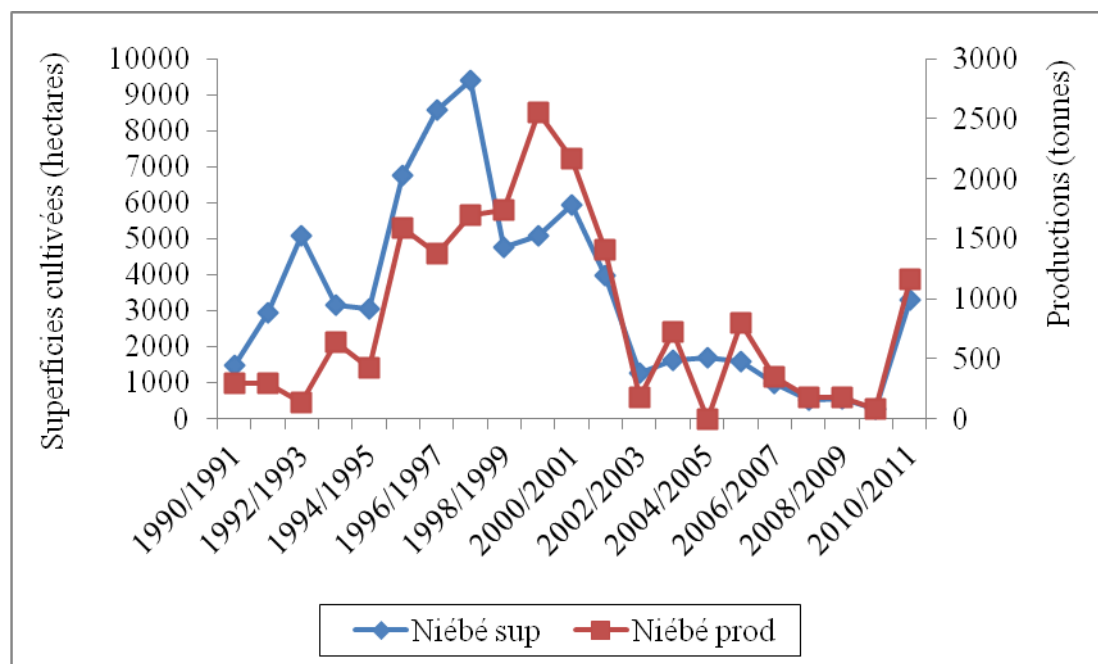


Figure 27 : Variation des superficies emblavées (hectares) et de la production (tonnes) de niébé à Dagana de 1990 à 2010

b. A Podor

Comme dans le département de Dagana, le mil se positionne en première place par l'étendue des superficies emblavées ; elles atteignent en moyenne 25000 hectares à Podor contre 20000 hectares dans la précédente localité. Inversement, la production n'atteint même pas 500

tonnes de 1990 à 1997 et, à partir de cette date jusqu'à la fin des campagnes, la courbe suit la même allure que celle des superficies emblavées.

Ayant des superficies cultivées moins étendues que le mil, la culture du niébé dans le département de Podor n'a produit que 1600 tonnes en moyenne sur toutes les campagnes. Le pic de production de cette légumineuse obtenu en 1994/1995 est suivi par quelques années moins productives (1998/1999 et 2000/2001). Ainsi à Podor, le rendement moyen du mil sur les quatorze années est de loin supérieur à celui du niébé : il est de 280 kg/ha contre 177,7kg/ha pour le niébé.

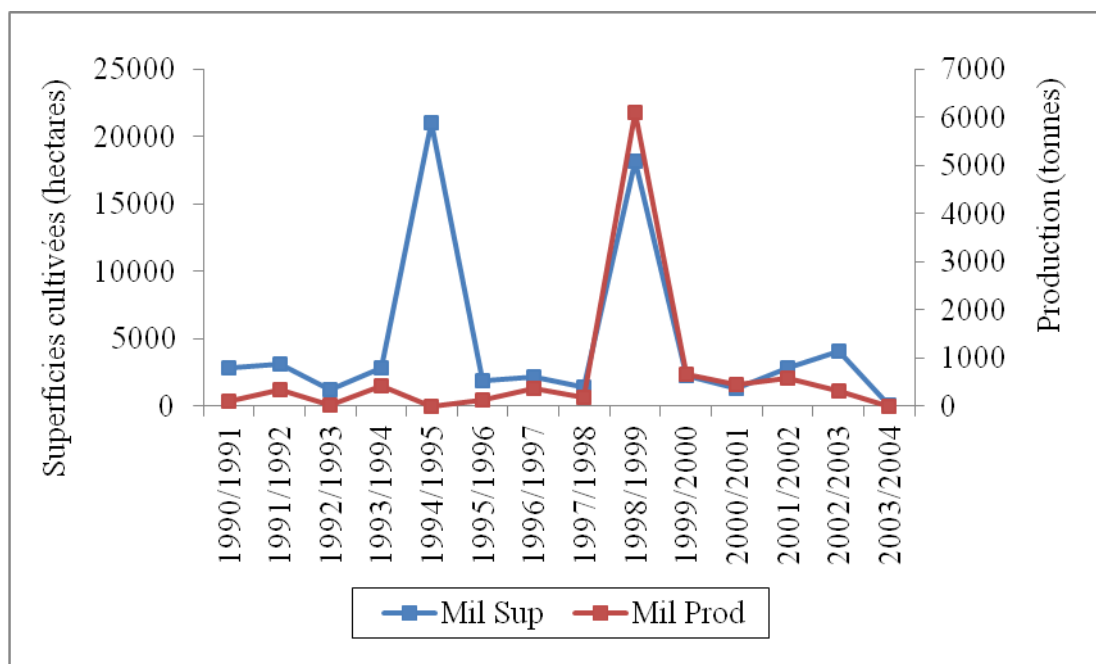


Figure 28 : Variation des superficies emblavées (hectares) et de la production (tonnes) de mil à Podor de 1990 à 2003

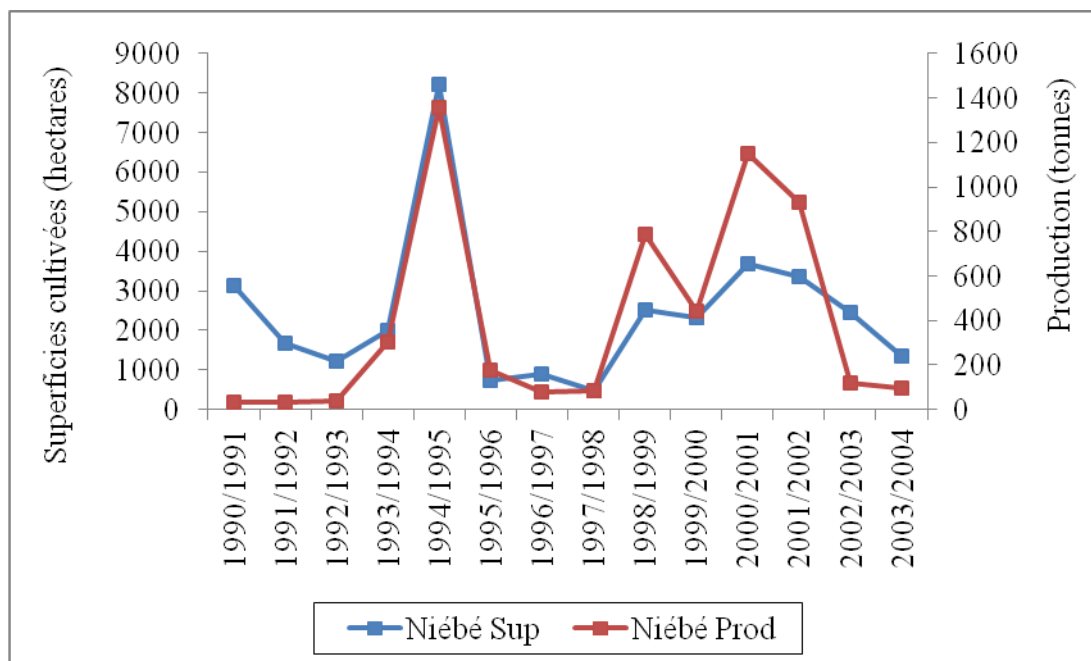


Figure 29 : Variation des superficies emblavées (hectares) et de la production (tonnes) de niébé à Podor de 1990 à 2003

2. L'impact des pluies annuelles sur la production

a. A Dagana

Alors que la pluviométrie à Dagana de 1990 à 2010 varie fortement d'une année à l'autre, la production des céréales est tantôt en hausse tantôt en baisse, suivant ou non la tendance des pluies annuelles (figure 30). En effet, outre les années où la production n'est pas estimée - valeur nulle-, elle reste trop variable. Pour le mil, les récoltes maximales sont notées en 1995 avec 2203 tonnes, à la suite d'un déficit pluviométrique de 114,1 mm ; une quantité quasi égale y est produite en 2010 (2176 tonnes) après un excédent de pluies de 120,7mm. Par ailleurs, une moindre production de 539 tonnes est obtenue en 1998, année la plus pluvieuse de la série (plus de 407mm pour un excédent de 134,7mm).

La production interannuelle de l'arachide est plus soutenue que celle du mil et du niébé ; de 1990 à 2001 les quantités d'arachide produites sont les plus importantes mais entrecoupées par des années où la production est faible. En effet la pluviométrie, très variable sur cet intervalle de temps avec des années pluvieuses comme 1996 et 1998, n'est pas synonyme d'une production aussi élevée (540 tonnes d'arachide pour cette dernière année). L'année pluvieuse 1996 avec 68,5 mm d'excédent, a une production quasi égale de celle de 1991 très déficitaire (déficit de 168,5mm) : respectivement 2981 et 2982 tonnes. La production la plus importante de toutes les campagnes (4875 tonnes en 1994) est récoltée après un déficit pluviométrique de 16,7 mm. A partir de 2002, la production de l'arachide huilerie varie

toujours en dents de scie mais avec une tendance à la baisse. Durant ce temps, la pluviométrie est légèrement en hausse en 2003 et 2005 ; puis à partir de 2008, suite à quelques années moins pluvieuses, la production enregistre une hausse.

Toujours avec une pluviométrie interannuelle très variable, la production de niébé évolue timidement en hausse avec une allure en dents de scie de 1990 à 1999 (production maximale) laquelle année, a enregistré un déficit pluviométrique de 19 mm. En outre, la production de niébé très faible en 2002(177 tonnes) est récoltée après un déficit supérieur à 100 mm, puis les quantités produites décroissent avec une légère hausse en 2010.

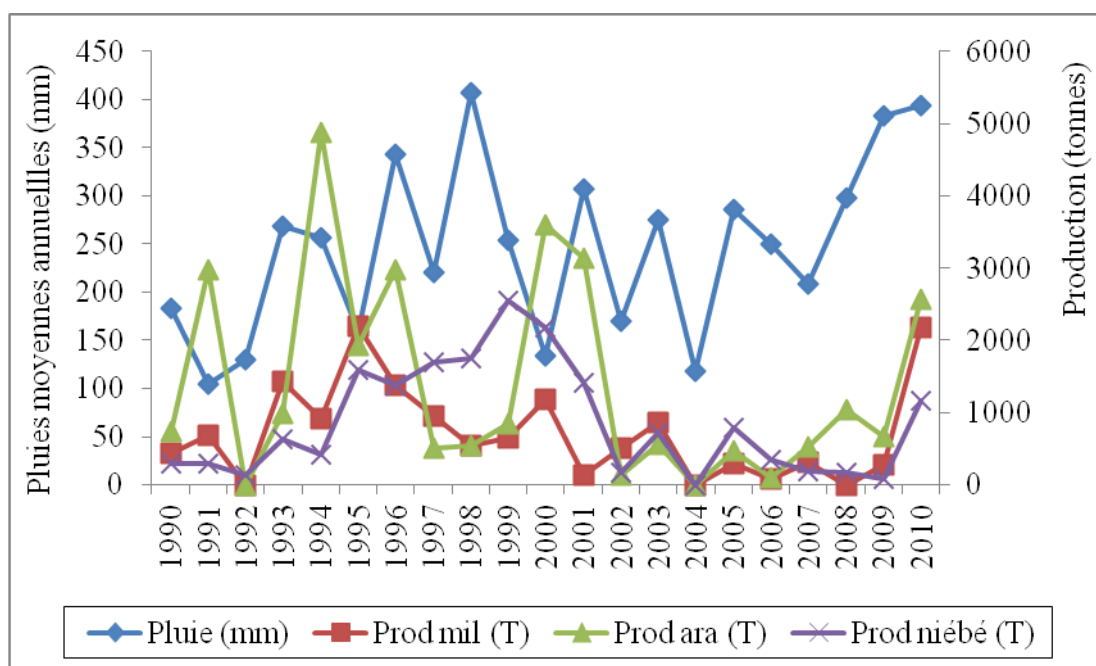


Figure 30 : Variation des pluies moyennes annuelles (mm) de 1990 à 2010 et de la production du mil, de l'arachide et du niébé à Dagana

b. A Podor

Sur cette courte série de quatorze années, la pluviométrie à Podor varie énormément autour de la moyenne. De 1990 à 2000, la pluviométrie n'a jamais atteint 300mm. Ce n'est que les années 2001 et 2003 que les excédents pluviométriques dépassent partout 120mm, entrecoupés de l'année 2002 ayant un déficit de 146,7mm. L'année 1991 est caractérisée par un hivernage de déficit sévère de près de 200mm et une faible production de niébé de 33 tonnes. Celle-ci en 1995, bien que la pluviométrie enregistre un déficit de 3,1mm (figure 31), pèse 177 tonnes. Durant toutes les campagnes agricoles, le millier de tonnes de niébé n'est récolté qu'en 1994 et 2000 suite à des déficits de pluies respectifs de 124,2mm et 49,8mm. A partir de cette année, la production se limite à des centaines de tonnes obtenue après trois années pluvieuses entrecoupées de l'année 2002, très déficitaire.

Pour la culture du mil, la production est faiblement fluctuante et tourne autour de centaines de tonnes, pour une pluviométrie excédentaire que sur trois années. Par contre l'année 1998, avec un léger déficit pluviométrique de 14,8mm est singularisée à Podor par une abondante production de plus de 6000 tonnes.

Sur plus d'une décennie (1990 à 2003), la pluviométrie à Podor varie fortement avec trois années excédentaires : 1993, 2001 et 2003. La production des cultures fluctuent tantôt dans le même sens, tantôt dans le sens inverse de la pluviométrie : c'est le cas en 1994 où la production record de niébé est atteinte à la suite d'un déficit pluviométrique ; et la céréale mil a donné, quatre ans après, une importante récolte suite à un faible déficit pluviométrique. Ce qui implique que la production annuelle peut être très consistante et dépasser de loin les attentes après une pluviométrie déficitaire.

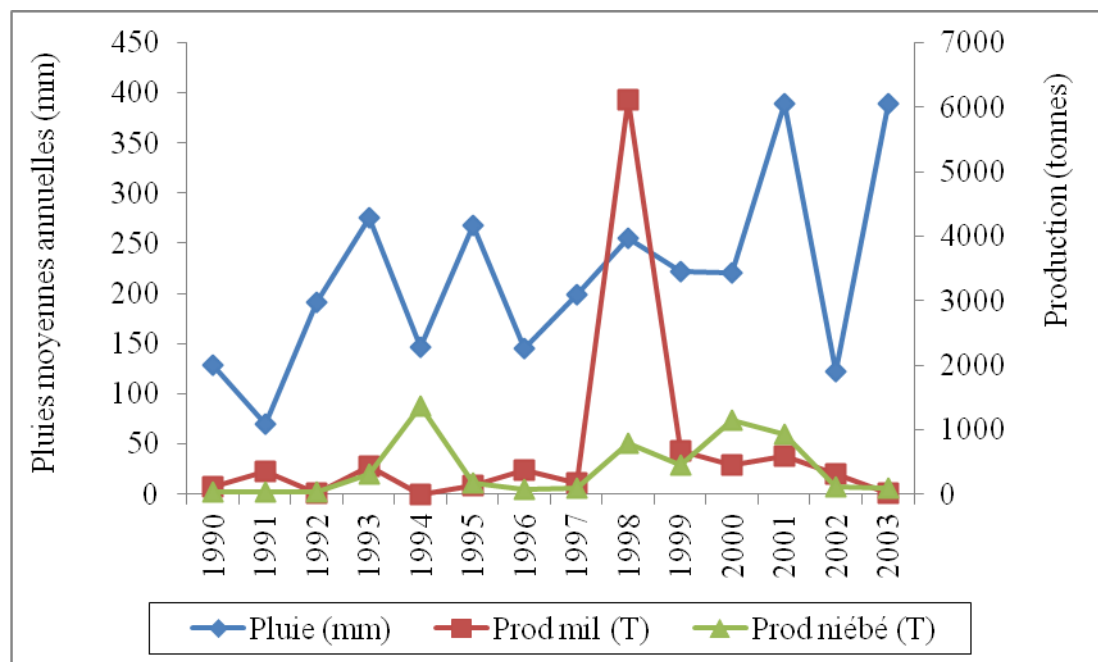


Figure 31 : Variation des pluies moyennes annuelles (mm) de 1990 à 2003 et de la production du mil et du niébé à Podor

Conclusion partielle

A la lumière de l'analyse des données glanées sur les cultures pluviales dans la région de Saint-Louis, ces dernières restent très fluctuantes aussi bien pour les superficies emblavées que pour la production obtenue. Cette variation est en outre importante au niveau de chaque département. La pluviométrie, un des facteurs les plus déterminants dans la phase végétative des cultures, caractérise énormément la production agricole par son excédent ou son déficit.

Conclusion générale

L'étude de cette thématique nous a permis d'apercevoir la grande fluctuation de la pluviométrie dans la zone nord du Sénégal. Son déroulement lié au passage des lignes de grains, montre l'insécurité de l'utilisation des ressources en eau pluviales dans la région. A travers une analyse statistique à différentes échelles de temps de ce paramètre à la suite de l'homogénéisation des données, il ressort que la pluviométrie dans la région de Saint-Louis est très variable d'une localité à l'autre. Cette variabilité est surtout une réponse à la distribution des précipitations à caractère aléatoire, discontinu et de courte durée. Elle se comprend à travers son aspect spatio-temporel :

Dans l'espace, la pluviométrie varie avec une migration continue des isohyètes vers la sud. L'analyse met en évidence d'une part l'est moins pluvieux que l'ouest située sur la façade océanique et, d'autre part la décroissance de la pluviométrie du sud vers le nord. Cela grâce à la prise en compte des stations situées autour de la région de Saint-Louis pour représenter les isohyètes, malgré l'absence de postes pluviométriques dans sa partie sud-est.

Dans le temps, sur près d'un siècle la pluviométrie dans la région de Saint-Louis est très variable avec des extrêmes annuels survenant à n'importe quelle année dans la série (figures des écarts normés). Mais, la rupture survenue à la fin des années 1960 marquée par la sécheresse et caractérisée par des déficits sévères est de nature commune par son intensité et sa durée dans la zone nord. C'est ainsi que son déroulement imprime bien sa marque sur les ressources en eau souterraines ; les réserves varient au rythme de la pluviométrie.

Dans la mesure où une bonne pluviométrie est cruciale pour la sécurité alimentaire des populations, la forte variabilité et l'évolution à la baisse affectent les activités de ces dernières. Or, la place capitale des ressources en eau pluviale dans l'économie de notre pays en générale et dans la région nord en particulier ne sera bénéfiques des populations que quand une connaissance poussée de la distribution spatiale et temporelle de la pluviométrie sera acquise. Car elles misent énormément sur une bonne saison pluvieuse pour espérer une meilleure production agricole, une recharge efficace des nappes souterraines pour leur besoin en eau. L'estimation des eaux pluviales passe inéluctablement par plus d'attention de la part des décideurs à la valeur de la ressource pour mieux équiper la région de postes de mesure pluviométrique.

Si la culture irriguée du riz est très développée dans la région au niveau de la vallée, l'espace destiné à l'agriculture pluviale est énorme et pourrait être aménagé avec l'amélioration des méthodes de culture des céréales sèches, faisant l'objet de recherches plus

poussées sur l'homologation des semences de cultures pluviales pour tirer le meilleur profit dans le cas des années pluvieuses. En effet, les cultures telles que le mil et le niébé exigent moins d'eau et s'adaptent aux sols du Diéri très sableux. Ce qui peut être garant de stocks de vivres ainsi que de la sécurité alimentaire pour une population rurale souffrant surtout de la longueur des saisons sèches dans l'année.

L'installation adéquate de postes pluviométriques et leur entretien pour le bon suivi des hivernages permettront une bonne connaissance de la répartition spatio-temporelle de la pluviométrie et de prédire ainsi le déroulement des cultures, par une maîtrise de l'eau pour le fonctionnement hydrique des parcelles à cultiver. Le développement agricole, par un adéquat aménagement de l'espace rural et une gestion des ressources naturelles doivent inciter davantage les grands organismes tel que le CILSS, à travers son institution le centre régional AGRYHMET à plus d'attention sur les phénomènes climatiques. Il est plus que nécessaire de renforcer la collaboration entre les instituts de recherche en météorologie, climatologie, hydrologie et en agriculture pour de meilleurs résultats sur les cycles de sécheresses et ses conséquences sur les populations. Ce qui permettrait après des entretiens avec ces dernières, de savoir les méthodes supplémentaires les plus appropriées à leurs apporter pour pallier les extrêmes pluviométriques impactant sur leurs activités agricoles.

Références bibliographiques

(Ouvrages généraux, thèses, mémoires et articles)

Atlas du Sénégal. Les Editions J.A. aux Editions du Jaguar (2007). Paris, France, 136 pages.

BODIAN A., (2005). Analyse de la structure des pluies à la station de Matam (1962-2001). Mémoire de maîtrise, département de Géographie, FLSH, UCAD, 96pages.

BODIAN A., DACOSTA H., DEZETTER A., (2011).Caractérisation spatio-temporelle du régime pluviométrique du haut bassin du fleuve Sénégal dans un contexte de variabilité climatique, in : *Géographie physique et environnement, physico-géo, vol. 5/2011 : varia* pp 107-124.

BRUNET-MORET Y., (1963). Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique occidentale : République du Sénégal. Paris, ORSTOM, CIEH, 45 pages.

BRUNET-MORET Y., (1969). Etude de quelques lois statistiques utilisées en hydrologie. *Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Hydrol., Vol.VI, n°III*, 3-99.

CARBONEL J. P et HUBERT P., (1992). Pluviométrie en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne Remise en cause de la stationnarité des séries. *L'aridité une contrainte au développement. Didactiques, Editions ORSTOM*, pp 37-50.

CIEH, ORSTOM, (1976). Précipitations journalières de l'origine des stations à 1965 : République du Sénégal. Service hydrologique, ORSTOM, 876 pages.

CIEH, ORSTOM, ASECNA, (1990). Précipitations journalières de 1966 à 1980 : République du Sénégal. 681 pages.

CSE, novembre 2005. Rapport d'exploitation préliminaire des données sur la zone d'étude (département de Dagana). 51 pages.

DACOSTA H., (1989). Précipitations et écoulements sur le bassin de la Casamance. Thèse doctorat de 3ème cycle, département de Géographie, FLSH, UCAD, 283pages.

DACOSTA H. ; KONATE Y.K., MALOU R., (2002). La variabilité spatio-temporelle des précipitations au Sénégal depuis un siècle. *Friend 2002-Regional Hydrology: Bringing the Gap between Research and Praticice, Cap Town, South Africa, Publ IAHS 274 (2002)*, pp 499-506.

D'ALMEIDA A., (1996). Evolution de la pluviométrie dans la région de Saint-Louis et ses conséquences sur la production agricole. In *Annales de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines, n° 26*, pp 159-176.

- DIATTA I., (2007).** Impact des fluctuations pluviométriques sur la production agricole dans la région de Thionk-Essyl en Basse Casamance, FLSH, UCAD.
- DIAGANA A., (1994).** Etudes hydrogéologiques dans la vallée du fleuve Sénégal de Bakel à Podor : Relations eaux de surface et eaux souterraines. Département Géologie, FST, UCAD, 181 pages.
- DIOUF R. ND., (2001).** Etude des précipitations exceptionnelles d'un à dix jours consécutifs au Sénégal. Mémoire de maitrise, département de Géographie. FLSH, UCAD, 83 pages.
- FAYE M.P.S., (2007).** Variabilité pluviométrique dans le bassin du Ferlo en amont de Ranérou. Mémoire de D.E.A, département Géographie, FLSH, UCAD, 41 pages.
- FAYE MB., (2012).** Impact de la variabilité pluviométrique dans la production agricole : cas des terres neuves du Sénégal oriental. Mémoire Master 2, département Géographie, FLSH, UCAD, 109 pages.
- FONTAINE B., (1986).** Précipitations soudano-sahéliennes et circulation estivale sur l'Afrique occidentale et l'Atlantique Nord. *In Etudes de climatologie tropicale* par PAGNEY P. et NIEUWOLT S., Paris, Masson, pp 65-102, 206pages.
- HIEZ G., (1977).** L'homogénéité des données pluviométriques. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIV, n°2*, 129-172.
- HIEZ G.; RANCAN L.; COSTA BARROS M. & PEDROLLO O., (1985).** Le vecteur régional et les fluctuations climatiques. *Coll. Climat et Développement, ORSTOM/PARIS*, pp. 113-122
(http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_4/colloques/23595.pdf).
- HIEZ G., (1986).** Bases théoriques du vecteur régional. Les premières applications et leur mise en œuvre informatique. 'Propos recueillis par B. Pouyaud'. *Communication présentée à Deuxièmes journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier : 1-35.*
- HUFTY A., (2005).** Introduction à la climatologie : le rayonnement et la température, l'atmosphère, l'eau, le climat et l'activité humaine. Paris, Edition de Boeck, 542pages.
- JANICOT S. (2008).** Le réchauffement dérègle les moussons. *In L'Atlas de l'environnement : Le Monde diplomatique.* Paris Armand Colin, pp 42-43.
- KONATE Y.K., (2000).** Variabilité climatique au Sénégal : le cas de la pluviométrie. Mémoire de maîtrise, département de Géographie, FLSH, UCAD, 132pages.
- LAKE et al., (2000).** Ecographie du Sénégal subsaharien et développement, dynamique des espaces ruraux des années 1950 à 2015. Projet Ecossen, Université de Sherbrooke, UCAD, 261 pages.

- LEBORGNE J., (1988).** La pluviométrie au Sénégal et en Gambie. Laboratoire climatologie, département Géographie, FLSH, UCAD, 96 pages.
- LEROUX M., (1996).** La dynamique du temps et du climat, Paris, Masson, 367pages.
- MAHE G. ; L'HÔTE Y., (1992).** Utilisation de la Méthode du Vecteur Régional pour la description des variations pluviométriques interannuelles en Afrique de l'Ouest et Centrale. *Huitièmes journées hydrologiques- ORSTOM*, pp 175-192.
- MALOU R., (2005).** Impact du climat sur les ressources en eaux souterraines en zone soudano-sahélienne. Thèse de Doctorat es Sciences Naturelles de géologie appliquée, département de Géologie, FST, UCAD, 160 pages.
- MALOU R. ; DIOP F. NG. ; DACOSTA H. ; SAOS J.-L. ; AKPO L.E., (2002).** Influence du climat sur les ressources en eau souterraine en zone soudano-sahélienne. 13 pages.
- MANGA A. V., (2012).** Variabilité pluviométrique et estimation des écoulements dans le bassin versant du Sine Saloum (Sénégal). Mémoire Master 2, département de Géographie, FLSH, UCAD, 97 pages.
- 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 3ème cycle, département de Géographie, FLSH, UCAD, 325 pages.
- MOREL R. (1995).** La sécheresse en Afrique de l'Ouest. *In Revue de Géographie de Lyon*, vol.7034/95 pp. 193-215.
- MORET B., (1963).** Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique occidentale : République du Sénégal. ORSTOM-CIEH, 45 pages.
- MORET B., (1969).** Etude de quelques lois statistiques utilisées en hydrologie. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., Vol VI, n°3, 97 pages.
- MORET B., (1979).** Homogénéisation des précipitations. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., Vol. XVI, n°s 3 et 4*, pp 147-170.
- NDIAYE A., (2007).** Variabilité climatique et indices de développement humain dans le Sahel rural sénégalais. *Revue du CAMES-Nouvelle série B*, vol 009 n°2, 10 pages.
- NDIAYE A., (2007).** Impacts de la pluviométrie sur la commune de Podor. Mémoire de maîtrise, département Géographie, FLSH, UCAD, 108 pages.
- NDIAYE H., (2006).** Etude de la variabilité pluviométrique (1951-2005) et ses impacts sur les activités agricoles à Matam. Département de Géographie, FLSH, UCAD, 126pages.

- NDONG J. B., (1995).** L'évolution de la pluviométrie au Sénégal et les incidences de la sécheresse récente sur l'environnement. In *Revue de Géographie de Lyon. Vol. 70 n°3-4, 1995. Sahel, la grande sécheresse.* PP 193-198.
- NDONG J.B., (2003).** L'évolution climatique récente dans la région de Dakar. In Annales de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines, n°33 FLSH, UCAD, pp 93-108 ; 353 pages.
- OLIVRY J.C., (1982).** Le point en 1982 sur l'évolution de la sécheresse en Sénégal et aux îles du Cap Vert. Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). *Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, Vol.1, 23 pages.*
- PATUREL J. E., SERVAT E., DELATTRE M. O. et LUBES-NIEL H. (1998).** Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique. In *Journal des Sciences Hydrologiques*, 43 (6), 937-946.
- POUSSIN J. C., (2008).** Du diagnostic à l'action en agriculture. *Activités, espaces et modèles.* Ecole doctorale Science de l'Homme et de la Société, Université de REIMS CHAMPAGNE-ARDENNE, 144 pages.
- RAES D. et SY B., (1992).** Analyse de la pluviométrie et de l'évapotranspiration dans la zone du delta du fleuve Sénégal (Saint-Louis, Ndiaye, Richard-Toll). Projet gestion de l'eau, SAED bulletin technique n°5, 67 pages.
- SAGNA P., (2000).** Le climat. In *Atlas du Sénégal*, les Editions Jeune Afrique, 84pages.
- SAGNA P., (2005).** Dynamique du climat et son évolution récente dans la partie Ouest de l'Afrique occidentale, Tome 2. Département Géographie, FLSH, UCAD, 517 pages.
- SARR B. et FALL M., (1998).** Suivi agro climatique de la campagne agricole pour l'estimation des rendements des cultures pluviales au Sénégal (Hivernage 1998). ISRA, CNRA, 20 pages.
- SENE M., PEREZ P., ALBERGEL J., (1993).** La signification de la valorisation de l'eau en culture pluviale au Sénégal : Gestion du déficit et de l'excès. Document préparé à l'occasion de l'atelier scientifique : *Gestion Durable des Terres en Régions semi- arides et Sub- humides, Sénégal 15-19 Novembre 1993 Novotel. Dakar ISRA/ SCS 18pages.*
- SES, Edition (2013).** Service Régional de la statistique et de la démographie de Saint-Louis, ANSD, 133 pages.
- SOW A., (2010).** Variabilité pluviométrique de 1970 à 2008 et ses impacts sur les activités agricoles et pastorales dans la communauté rurale de Gamadji Saré. Département de Géographie, FLSH, UCAD, 111 pages.

SOW C. S., (1995). Etude de la variabilité spatiale de la pluviométrie en région sahélienne. *In l'hydrologie tropicale : géoscience et outils pour le développement* (Actes de la conférence de Paris, mai 1995) IAHS Publ.n°238, Niamey, Niger pp 65- 75.

SY B. A., (1995). Dynamique éolienne actuelle dans le delta du fleuve Sénégal (contribution à l'étude géomorphologique du Sénégal septentrional). Thèse de doctorat de 3ème cycle, département Géographie, FLSH, UCAD, 262 pages.

THIAM S., (2010). Analyse de l'impact de la sécheresse sur l'évolution des pluies journalières au Sénégal : cas des fractions pluviométriques journalières. Mémoire de maîtrise Département de Géographie, FLSH, UCAD, 84pages.

VAUCHEL P., (Octobre 2004). Derniers développements du logiciel Hydracces= últimos avances del software Hydraccess. In *Gondard Pierre (ED.), Villamar (M.D.) (Trad). IRD : 30 ans en Equateur : actes des séminaires et ateliers scientifiques= IRD : 30 anos en Ecuador : actas de los seminarios y talleres Científicos.* Quito : IRD, 2007, pp 247-251.

WOLTING G.; MAHE G.; L'HÔTE Y.; LEBARBE L., (1995). Analyse par les vecteurs régionaux de la variabilité spatio-temporelle des précipitations annuelles liées à la mousson africaine. *Analysis of the space-time variability of annual rainfall linked to the african monsoon using regional vectors.* Veille climatique satellitaire, ORSTOM-Météo France, pp 58-80.

Liste des carte, figure et tableau

Liste des cartes

<u>Carte 1</u> : Présentation de la région de Saint-Louis.....	6
<u>Carte 2</u> : Carte pédologique de la région de Saint-Louis.....	16
<u>Carte 3</u> : Situation des postes pluviométriques de la région de Saint-Louis.....	3016

Liste des figures

<u>Figure 1</u> : Répartition population de la région selon le département.....	26
<u>Figure 2</u> : Chronogramme des données pluviométriques journalières (J1 : capteur journalier dans Hydraccess) des stations de notre zone d'étude.....	31
<u>Figure 3</u> : Vecteur des indices pluviométriques annuels des stations de Podor, Dagana, Saint-Louis et Louga.....	34
<u>Figure 4</u> : Cartes de spatialisation de normales pluviométriques.....	38
<u>Figure 5</u> : Carte de spatialisation des normales pluviométriques.....	39
<u>Figure 6</u> : Carte des isohyètes moyennes décennales.....	43
<u>Figure 7</u> : Carte des isohyètes moyennes décennales.....	44
<u>Figure 8</u> : Carte des isohyètes moyennes décennales.....	45
<u>Figure 9</u> : Ecart normés des pluies annuelles à la station de Dagana de 1918 à 2010.....	49
<u>Figure 10</u> : Ecart normés des pluies annuelles à la station de Podor de 1918 à 2010.....	49
<u>Figure 11</u> : Ecart normés des pluies annuelles à la station de Saint-Louis de 1918 à 2010.....	50
<u>Figure 12</u> : Ecart normés des pluies annuelles à la station de Louga de 1918 à 2010.....	50
<u>Figure 13</u> : Variation pluviométrique moyenne mensuelle du maximum, du minimum et des quartiles des stations de Podor, Dagana, Saint-Louis et Louga.....	55
<u>Figure 14</u> : Variation des fractions pluviométriques journalières à la station de Dagana.....	61
<u>Figure 15</u> : Variation des fractions pluviométriques journalières à la station de Podor.....	62
<u>Figure 16</u> : Variation des fractions pluviométriques journalières à la station de Saint-Louis.....	62
<u>Figure 17</u> : Variation des fractions pluviométriques journalières à la station de Louga.....	62
<u>Figure 18</u> : Variation des fractions pluviométriques journalières à la station de Linguère.....	63
<u>Figure 19</u> : Bilan hydrologique des stations de Podor et de Saint-Louis en 2002.....	65
<u>Figure 20</u> : Bilan hydrologique des stations de Podor et de Saint-Louis en 2010.....	66
<u>Figure 21</u> : Variations des superficies emblavées (Ha) en mil, arachide et niébé à Dagana de 1990 à 2010.....	70

<u>Figure 22</u> : Variations des superficies emblavées (Ha) en mil et niébé à Podor de 1990 à 2003.....	71
<u>Figure 23</u> : Variations des rendements (Kg/Ha) du mil, arachide et niébé à Dagana de 1990 à 2010.....	72
<u>Figure 24</u> : Variations des rendements (Kg/Ha) du mil et du niébé à Podor de 1990 à 2003..	73
<u>Figure 25</u> : Variation des superficies emblavées (Ha) et de la production (T) du mil à Dagana de 1990 à 2010.....	74
<u>Figure 26</u> : Variation des superficies emblavées (Ha) et de la production (T) de l'arachide à Dagana de 1990 à 2010.....	75
<u>Figure 27</u> : Variation des superficies emblavées (Ha) et de la production (T) du niébé à Dagana de 1990 à 2010.....	75
<u>Figure 28</u> : Variations des superficies emblavées (Ha) et de la production (T) du mil à Podor de 1990 à 2003.....	76
<u>Figure 29</u> : Variations des superficies emblavées (Ha) et de la production (T) du niébé à Podor de 1990 à 2003.....	77
<u>Figure 30</u> : Variation des pluies moyennes annuelles (mm) de 1990 à 2010 et de la production du mil, de l'arachide et du niébé à Dagana.....	78
<u>Figure 31</u> : Variation des pluies moyennes annuelles (mm) de 1990 à 2003 et de la production du mil et du niébé à Podor.....	79
<u>Figure 32</u> : Ajustements des pluies annuelles à la station de Podor.....	90
<u>Figure 33</u> : Ajustements des pluies annuelles à la station de Dagana.....	90
<u>Figure 34</u> : Ajustements des pluies annuelles à la station de Saint-Louis.....	91
<u>Figure 35</u> : Ajustement des pluies annuelles à la station de Louga.....	91
<u>Figure 36</u> : Ajustements des pluies annuelles à la station de Linguère.....	92
<u>Figure 37</u> : Ajustements des pluies journalières aux stations de Dagana, Podor, Saint-Louis et Ross Béthio.....	93
<u>Figure 38</u> : Ajustements des pluies journalières aux stations de Rao, Louga, Galoya et Linguère.....	94

Liste des tableaux

<u>Tableau 1</u> : Croissance de la population de la région de Saint-Louis de 1972 à 2012.....	25
<u>Tableau 2</u> : Liste des stations utilisées.....	35
<u>Tableau 3</u> : Paramètres statistiques des normales pluviométriques de quelques stations.....	40
<u>Tableau 4</u> : Statistiques des moyennes décennales de quelques stations.....	46

<u>Tableau 5</u> : Récurrences des pluies annuelles de quelques stations.....	52
<u>Tableau 6</u> : Paramètres statistiques des pluies moyennes mensuelles de quelques stations....	58
<u>Tableau 7</u> : Nombre d'années d'observation des stations à série complète.....	59
<u>Tableau 8</u> : Pluies fréquentielles journalières de quelques stations.....	60
<u>Tableau 9</u> : Part des fractions pluviométriques (%) des stations.....	63
<u>Tableau 10</u> : Données agricoles de la région de Saint-Louis de 1990 à 2012.....	95

Annexes

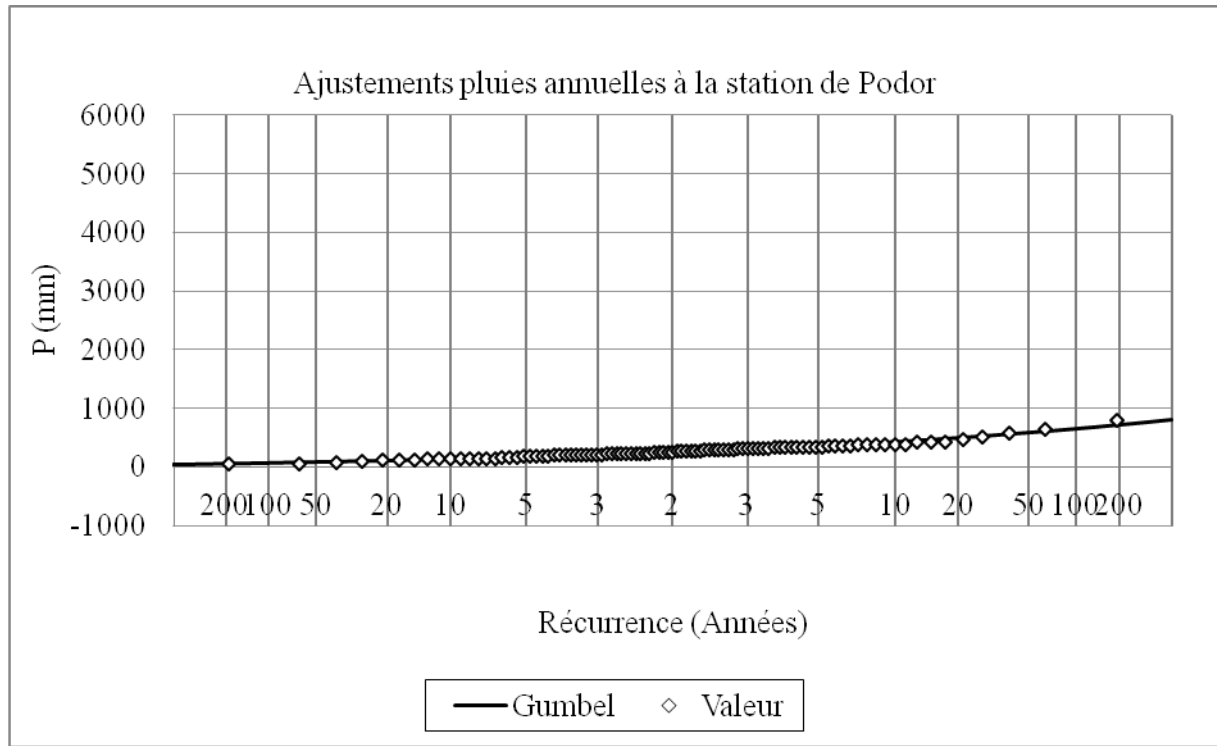


Figure 32 : Ajustements des pluies annuelles à la station de Podor

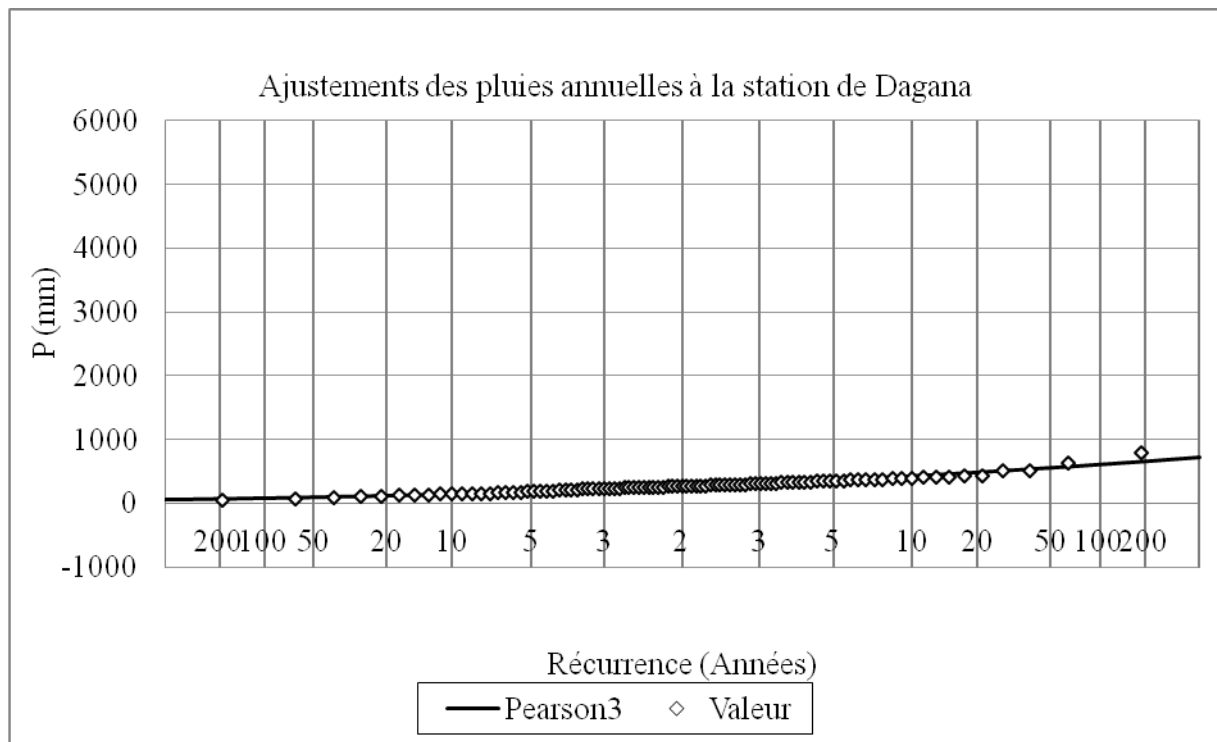


Figure 33 : Ajustements des pluies annuelles à la station de Dagana

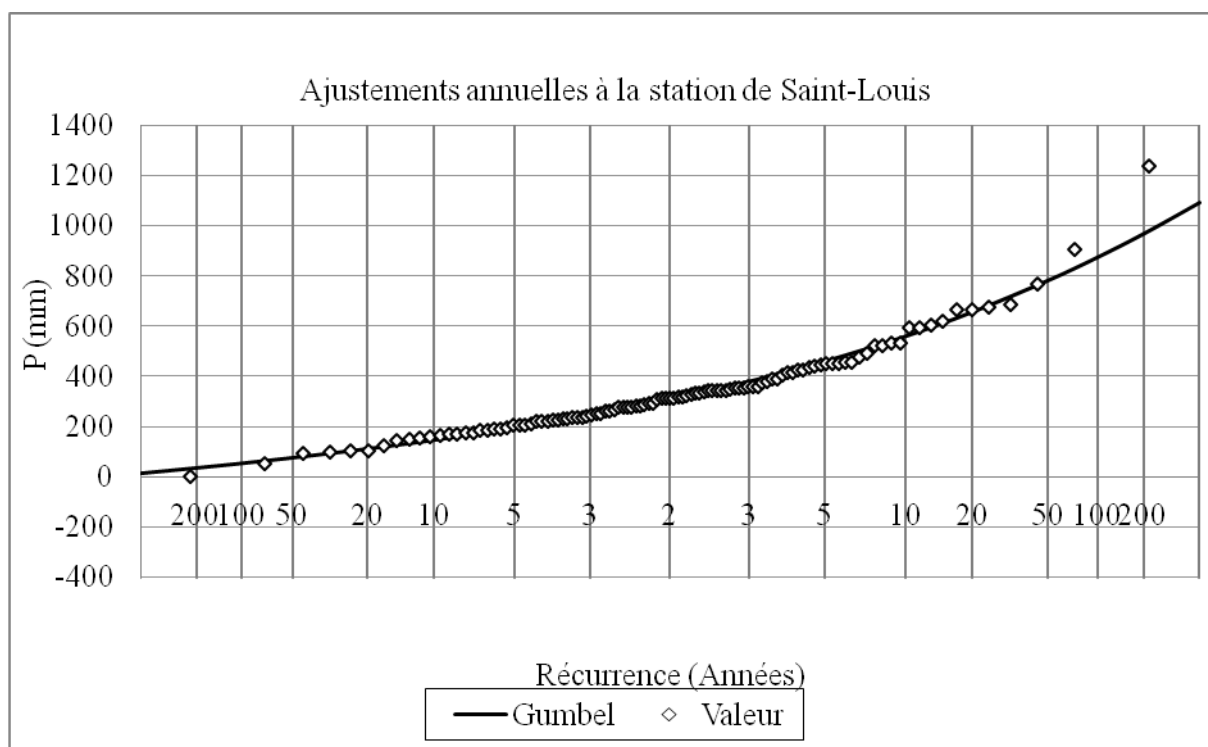


Figure 34 : Ajustements des pluies annuelles à la station de Saint-Louis

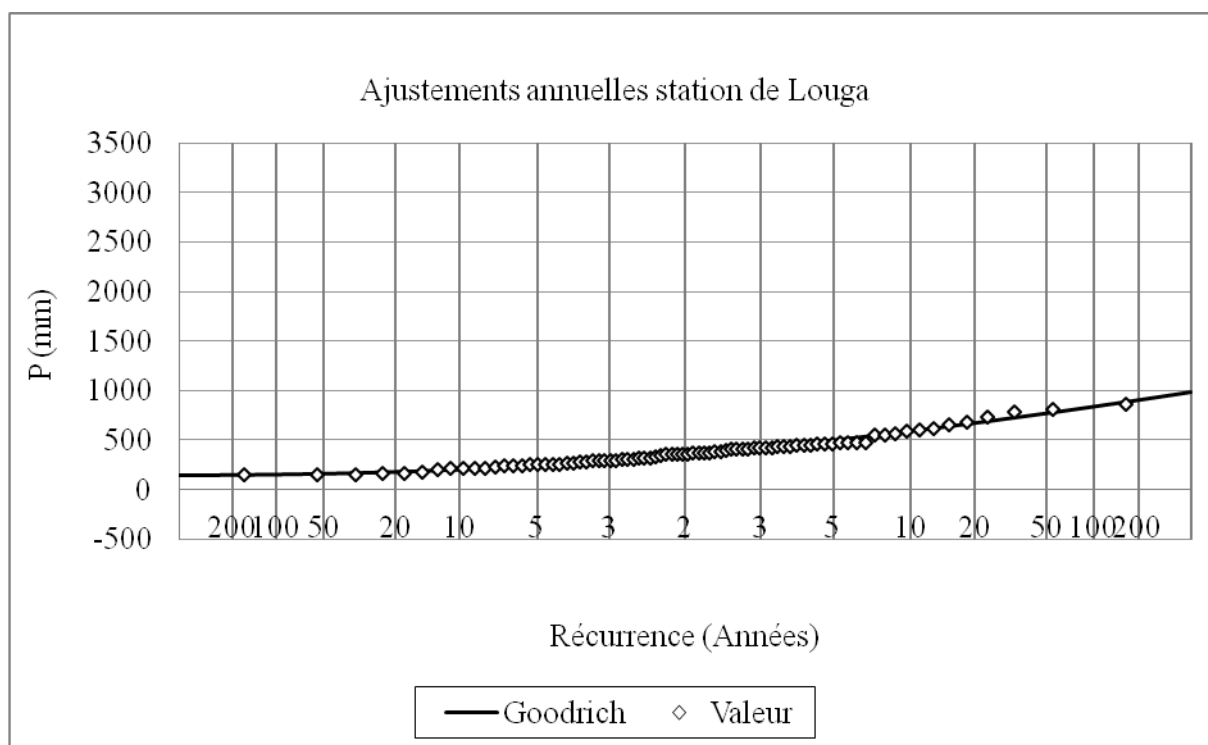


Figure 35 : Ajustements des pluies annuelles à la station de Louga

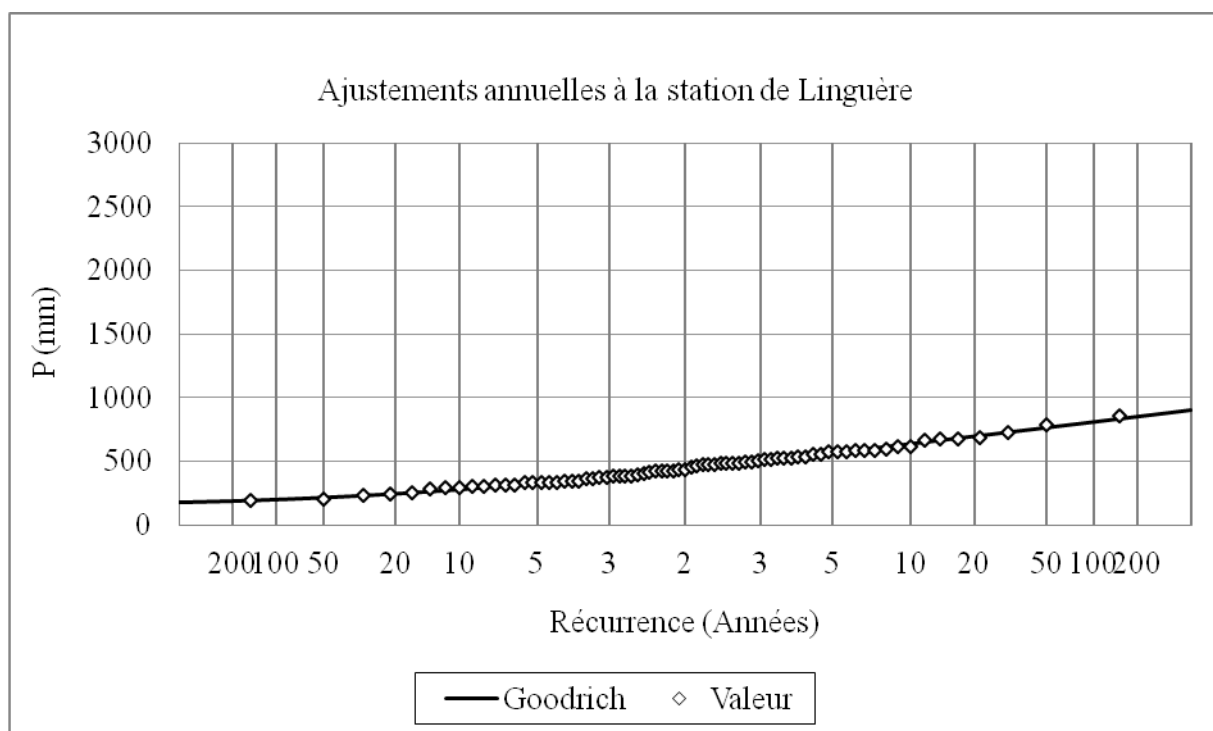
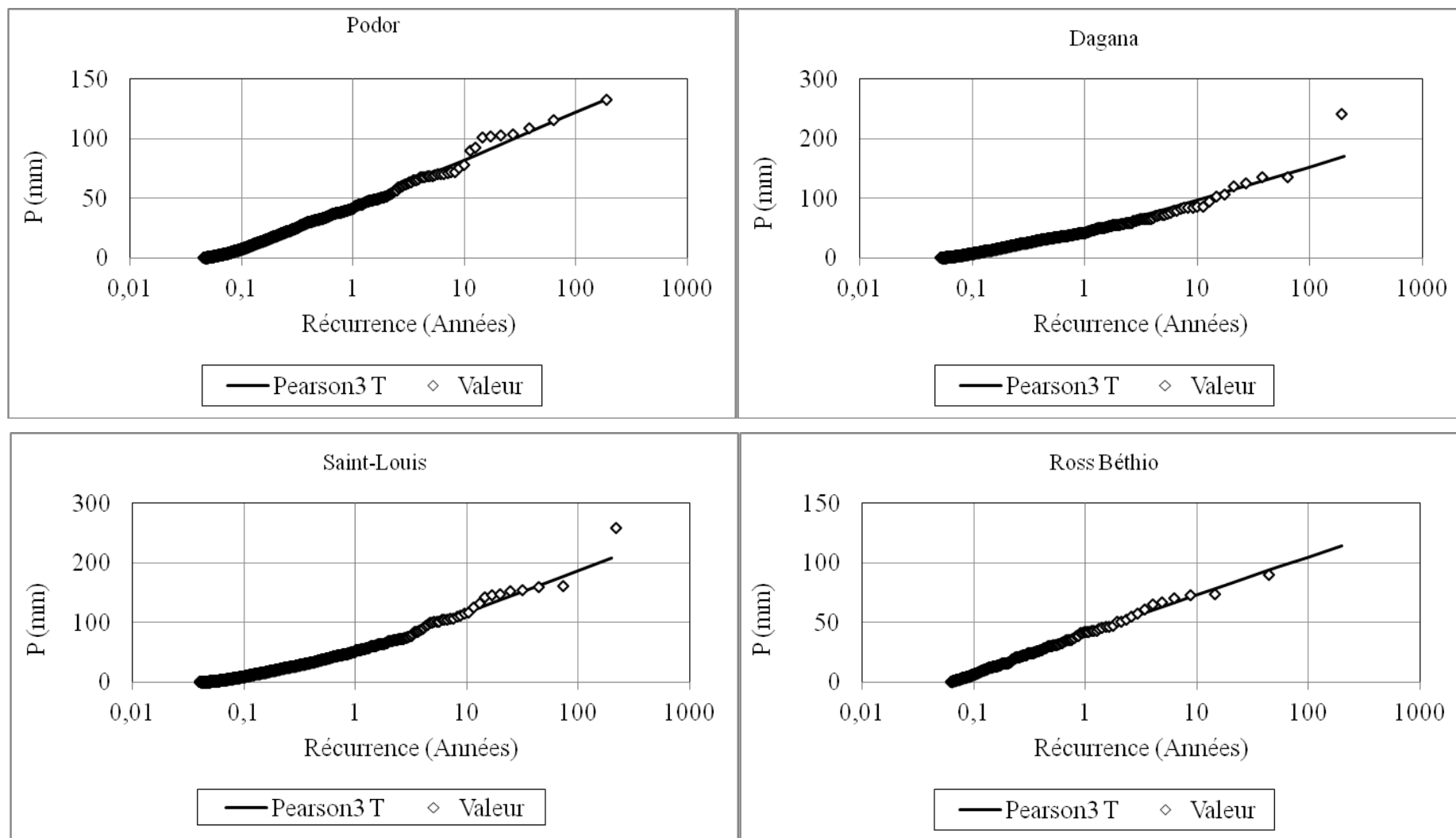
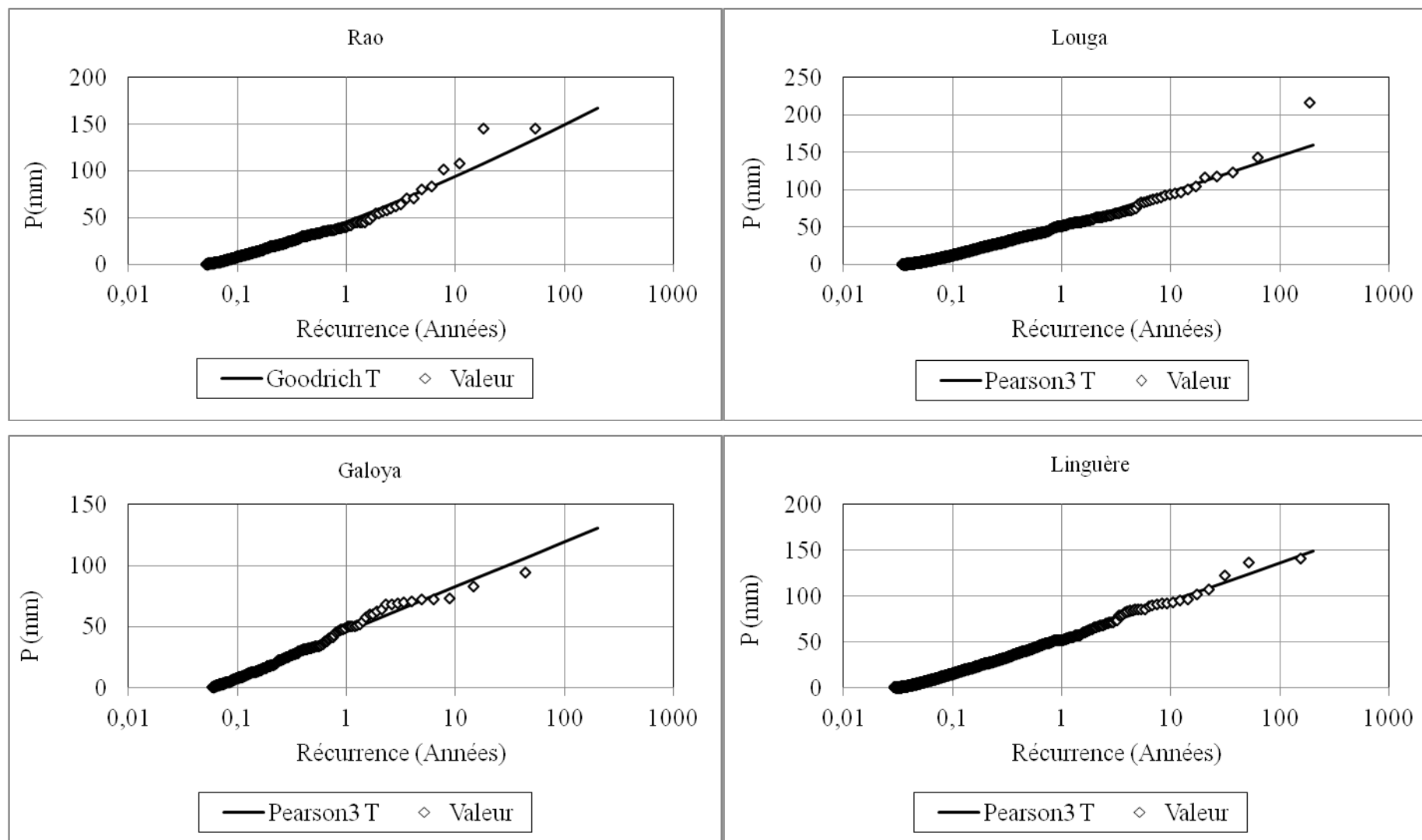


Figure 36 : Ajustements des pluies annuelles à la station de Linguère



Figures 37 : Ajustements des pluies journalières aux stations de Dagana, Podor, Saint-Louis et Ross Béthio



Figures 38 : Ajustements des pluies journalières aux stations de Rao, Louga, Galoya et Linguère

Années		Mil		Sorgho		Maïs		Riz		Ara. Huilerie		Niébé		Béref	
		Sup (Ha)	Prod (T)	Sup (Ha)	Prod	Sup (Ha)	Prod (T)	Sup (Ha)	Prod (T)	Sup (Ha)	Prod (T)	Sup (Ha)	Prod	Sup (Ha)	Prod (T)
1990/91	Dagana	2 801	432	71	16			21166	105360	2 095	738	1 496	290	17	
	Podor	2 859	104	576	1			7209	39515	16	1	3 125	32	1 478	
	Rég. St-Louis	5 660	536	647	17			28 375	144 875	2 111	739	4 621	322	1 495	0
1991/92	Dagana	6 144	676					21704	113515	11 040	2 981	2 940	294		
	Podor	3 173	349	180	5			7372	39267			1 665	33		
	Rég. St-Louis	9 317	1 025	180	5			29 076	152 782	11 040	2 981	4 605	327		
1992/93	Dagana	9 207	0					20798	78550	15 854	0	5 071	132	561	0
	Podor	1 250	21			344	688	7470	24889			1 230	39	1 450	57
	Rég. St-Louis	10 457	21			344	688	28 268	103 439	15 854	0	6 301	171	2 011	57
1993/94	Dagana	7 150	1 430					23065		4 970	994	3 170	634	384	96
	Podor	2 870	430,5	560	112			7360		20	2	2 010	301,5	1 945	389
	Rég. St-Louis	10 020	1 861	560	112			30 425	0	4 990	996	5 180	936		485
1994/95	Dagana	10 969	910					15 673	70 529	6 828	4 875	3 043	423		
	Podor	20 989			112	0	0	46 098	70 529	11 818	5 871	8 223	1 359	0	
	Rég. St-Louis	31 958	910	0	112			61 771	141 058	18 646	10 746	11 266	1 782		
1995/96	Dagana	8 189	2 203					13 446	67 230	4 162	1 931	6 775	1 592		
	Podor	1 894	125	890	187			5 035	25 175			724	177		
	Rég. St-Louis	10 083	2 328	890	187			18 481	92 405	4 162	1 931	7 499	1 769		
1996/97	Dagana	18 514	1 370	458	64			12 787	57 542	11 928	2 982	8587	1 374	391	78
	Podor	2 197	365	356	712	219	548	4 914	22 113			886	78	1 941	136
	Rég. St-Louis	20 711	1 735	814	776	219	548	17 701	79 655	11 928	2 982	9 473	1 452	2 332	214
1997/98	Dagana	4 258	950	197	59			15 000	82 500	1 736	505	9 400	1 701		
	Podor	1 430	180	1 192	1 598	263	658	4 458	22 290			481	83		
	Rég. St-Louis	5 688	1 130	1 389	1 657	263	658	19 458	104 790	1 736	505	9 881	1 784		

1998/99	Dagana	2 246	539	741	451			11 313	50 907	868	540	4 765	1 744	1 148	230
	Podor	18 120	6 106	21 322	8 316	141	87	1 104	4 967	168	59	2 513	787	4 178	836
	Rég. St-Louis	20 366	6 645	22 063	8 767	141	87	12 417	55 874	1 036	599	7 278	2 531	5 326	1 066
1999/00	Dagana	2 580	645	815	530			18 190	90 950	1 200	840	5 100	2 550	1 250	375
	Podor	2 287	675	1 147	224	10	7	7 638	38 190			2 328	442	4 178	45
	Rég. St-Louis	4 867	1 320	1 962	754	10	7	25 828	129 140	1 200	840	7 428	2 992	5 428	420
2000/01	Dagana	4 911	1 179	203	124			15 815	82 301	5 781	3 596	5 927	2 169	51	10
	Podor	1 357	448	812	317			6 106	27 477			3 672	1 149	2 526	505
	Rég. St-Louis	6 268	1 627	1 015	441			21 921	109 778	5 781	3 596	9 599	3 318	2 577	515
2001/02	Dagana	523	141	332	249			14 414	77 836	4 603	3 144	3 995	1 410		
	Podor	2 882	585	464	186	274	500	5 062	24 045	301	135	3 375	932	1 454	678
	Rég. St-Louis	3 405	726	796	435	274	500	19 476	101 881	4 904	3 279	7 370	2 342	1 454	678
2002/03	St-Louis	74	11							5 549	383	3 591	57	2	0
	Dagana	3 561	499					11 597	63 784	1 815	127	1 265	177	353	62
	Podor	4 118	309					4 796	25 419	583	58	2 442	122	1 174	158
	Rég. St-Louis	7 753	819					16 393	89 203	7 947	568	7 298	356	1 529	220
2003/04	Saint-Louis					20	90			3 129	1 611	5 639	998	131	39
	Dagana	2 487	870	19	48	937	5 154	14 183	76 588	1 416	566	1 608	724	642	193
	Podor	73	6	649	974	1 179	5 423	5 088	27 984	0		1 346	94	1 236	371
	Rég. St-Louis	2 560	876	668	1 022	2 136	10 667	19 271	104 572	4 545	2 177	8 593	1 816	2 009	603
2004/05	Saint-Louis	234	0	124	0	25	0	0	0	7 737	15	8 999	42	466	70
	Dagana	3 475	0					11 974	59 870	2 231	0	1 709	0		
	Podor			2 988	0	824	0	9 600	48 000			1 200	0	2 406	361
	Rég. St-Louis	3 709	0	3 112	0	849	0	21 574	107 870	9 968	15	11 908	42	2 872	431
2005/06	Saint-Louis	1 660	996					602	2 408	5 965	2 207	8 639	3 024	502	5 020
	Dagana	429	300			263	921	16 893	96 290	792	475	1 588	794	217	2 170

	Podor	0	0	5 565	3 896	699	2 447	5 790	33 003	0	0	4 991	2 246	7 293	123 981
	Rég. St-Louis	2 089	1 296	5 565	3 896	962	3 368	23 285	131 701	6 757	2 682	15 218	6 064	8 012	131 171
2006/07	Saint-Louis	1 198	240							5 146	1 029	6 192	929		
	Dagana	265	85	82	33	25	93	14 000	49 000	484	102	994	348	4 000	2 000
	Podor	2 500	750	4 148	2 074	209	732	7 000	39 900			1 753	877	182	36
	Rég. St-Louis	3 963	1 075	4 230	2 107	234	825	21 000	88 900	5 630	1 131	8 939	2 154	4 182	2 036
2007/08	Saint-Louis	262	²	124	50					4 413	905	6 612	403	156	41
	Dagana	1 061	318					15 947	82 924	2 096	524	521	182		
	Podor							6 683	40 098			1 392	209	4 446	889
	SAED			39	98	459	1 607								
	Rég. St-Louis	1 323	318	163	148	459	1 607	22 630	123 022	6 509	1 429	8 525	794	4 602	930
2008/09	Saint-Louis	1 875	563	89	29	21	11			3 526	1 005	4 042	829		
	Dagana					162	404	25 132	150 792	3 004	1 042	572	173		
	Podor			563	1 408	411	1 028	7 586	45 516			2 503	626	3 870	774
	SAED			1 615	4 199	3 490	14222								
	Enq. Compl.							520	3 120						
	Rég. Saint-Louis	1 875	563	2 267	5 636	4 084	15 665	33 238	199 428	6 530	2 047	7 117	1 628	3 870	774
2009/10	Saint-Louis	32	3									4 793	842		
	Dagana	2 438	274					23 003	132 267	1 376	666	287	86		
	Podor	1 523	157	4 283	385	424	1 063	7 431	44 586	5 546	1 760	1 252	313		
	SAED			52	135	60	245			476	571				
	SAED (CS Dagana)							18 089	122 282						
	SAED (CS Podor)							3 800	24 929						
	Rég. Saint-Louis														
2010/11	Saint-Louis	225	28	8	3					4 985	1 834	2 502	505		
	Dagana	8 705	2 176							5 419	2 574	3 313	1 160	4 197	18 887

	Podor	976	81	2 079	143							4 742	569	4 870	21 915
	SAED					3 093	2733	32 167	217 449						
	Enq. Compl.					2 230	55	6 669	43 682						
	Rég. Saint-Louis														
2011/12	Saint-Louis	442	55							4 937	1 395	2 603	762		
	Dagana	9 944	2 486					19 626	122 663	4 922	697	2 542	890	188	28
	Podor	535	279	421	29			7 829	46 974			1 988	199	3 343	444
	SAED					3 093	7733	19 033	130 376						
	Enq. Compl.					2 239	5 598	2 261	14 222						
						5 332	13 330	48 749	314 234						
	Rég. Saint-Louis														
2012/13	Saint-Louis	121	24							4 137	1 949	4 021	804		
	Dagana	3 596	910	135	94			58 000	377 000	ro	1 829	3 180	1 081		
	Podor	800	160	420	315			15 000	93 850			800	320	900	108
	SAED					4 990	20145								

Tableau 10 : Données agricoles de la région de Saint-Louis

Source : DAPSA, 2013

Table des matières

Dédicaces.....	1
Avant-propos.....	2
Sommaire.....	4
Sigles et acronymes.....	5
Introduction générale.....	6
Première partie : Présentation générale de la région de Saint-Louis.....	14
Chapitre 1 : Les caractères géologiques et hydrologiques de la région.....	15
I. Les sols.....	15
1. Les différentes unités du Walo.....	15
2. Le Diéri.....	16
II. L'hydrologie.....	16
Chapitre 2 : Le cadre aérologique de la circulation dans la région.....	18
I. Les principaux traits de la région	18
1. L'Equateur Météorologique (E.M.).....	18
2. L'hiver boréal.....	18
3. L'été boréal.....	19
II. Les éléments du climat.....	20
1. Les températures.....	20
2. L'humidité relative.....	20
3. L'insolation.....	21
4. L'évaporation.....	21
5. Les vents.....	21
III. Les types de précipitations de la région.....	22
1. Les pluies d'hivernage.....	22
2. Les pluies de Heug.....	23
Chapitre 3 : Le cadre humain.....	25
I. La croissance démographique de la région.....	25
1. L'évolution de la population.....	25
2. La répartition de la population.....	26
II. Les activités économiques de la région.....	27
1. L'élevage.....	27
2. L'agriculture.....	27
Deuxième partie : Variabilité pluviométrique et ses effets sur les cultures pluviales.....	28
Chapitre 1 : Présentation et traitement des données.....	29
I. Présentation des données.....	29
1. Présentation des données pluviométriques.....	29
2. Présentation des données agricoles.....	31
II. Traitement des données pluviométriques.....	32
Chapitre 2 : Etude de la variabilité pluviométrique.....	37

I. Variabilité interannuelle de la pluviométrie.....	37
1. Variation de la pluviométrie par normale.....	37
2. Variation de la pluviométrie à l'échelle décennale.....	41
3. Variation annuelle de la pluviométrie.....	47
a. La variation de la pluviométrie autour de la moyenne.....	47
b. Analyse statistique de la pluviométrie annuelle.....	51
II. La répartition mensuelle de la pluviométrie.....	54
1. Variabilité mensuelle de la pluviométrie.....	54
2. Analyse statistique de la pluviométrie mensuelle.....	57
III. L'analyse de la pluviométrie journalière.....	60
1. L'analyse fréquentielle de la pluviométrie journalière.....	60
2. Les fractions journalières.....	62
IV. Le bilan hydrologique.....	65
Chapitre 3 : Analyse des productions agricoles.....	70
I. L'évolution des superficies et des rendements.....	70
1. Les superficies emblavées.....	70
a. A Dagana.....	70
b. A Podor.....	71
2. Les variations des rendements.....	72
a. A Dagana.....	72
b. A Podor.....	73
II. L'incidence de la variabilité pluviométrique sur la production.....	74
1. La production des cultures pluviales.....	75
a. A Dagana.....	75
b. A Podor.....	76
2. L'impact des pluies annuelles sur la production.....	78
a. A Dagana.....	78
b. A Podor.....	79
Conclusion générale.....	81
Références bibliographiques.....	83
Liste des carte, figure et tableau.....	88
Annexes.....	91
Table des matières.....	99