

**UFR SCIENCES ET TECHNOLOGIES****Département de Physique****Mémoire de Master****Mention : Physique et applications****Spécialité : Science de l'atmosphère et de l'océan****Réduction statistique d'échelle et génération de futurs scénarios de précipitations sur la région de Ziguinchor**

Présenté par :

Mamadou lamine henrich FAYE

Sous la direction de

Dr. Samo DIATTA

Et la supervision de

Dr. Moctar CAMARASoutenu publiquement le **27 Mars 2017** devant le jury composé de :

| NOM ET PRENOM | GRADE | QUALITE | ETABLISSEMENT |
|-----------------------------|-----------------------|-------------------|----------------------|
| SOW Bamol Ali | Maitre de Conférences | Président du jury | UASZ |
| CAMARA Moctar | Maitre de Conférences | Rapporteur | UASZ |
| TINE Modou | Assistant | Examineur | UASZ |
| MBAYE Mamadou Lamine | Assistant | Examineur | UASZ |
| DIATTA Samo | Maitre-Assistant | Encadreur | UASZ |

Dédicace

Je dédie ce travail à :

□ *Ma Mère, Aïssatou Goudiaby, Maman votre rigueur dans mon éducation et votre amour du travail m'ont permis d'être constant sur le droit chemin de la réussite. Vous n'avez ménagé aucun effort pour me mettre dans des conditions optimales de réussite. Infatigable mère de famille, vos actes posés ont toujours été salutaires. C'est pourquoi, je ne finira jamais de citer vos gestes et qualités exceptionnels de mère de famille.*

En ce qui me concerne, je reconnais avec force que votre présence perpétuelle dans ma carrière m'a permis de faire face aux réalités souvent difficiles de la vie estudiantine et aux dures épreuves de la vie courante. Maman, je saisis cette occasion pour vous remercier à titre personnel et au nom de tous vos fils, que Dieu vous garde toujours près de nous.

□ *Mention spéciale à mon oncle feu Adama Goudiaby, que la terre de Belfort vous soit légère (amine).*

□ *A mes tentes Aida Sambou et Ndeye Marie Sagnan, elles qui ont toujours su soulager mes peines. Je ne peux que vous souhaitez une longue vie et une meilleure santé*

□ *A mon beau frère Aliou Diedhiou qui m'a beaucoup soutenu durant mes travaux de recherches*

□ *A mes sœurs et cousines Coumba, Maman Goudiaby, Adjil Yaramé Goudiaby, Alimatou Astou Goudiaby, Aminata Goudiaby.*

□ *A mes frères Moussa Diop, Fallou Gallace Dieye, Sadibou Sambou*

Remerciements

Après avoir rendu grâce à Allah le tout puissant et miséricordieux à son prophète Mohamed (PSL) et sa sainte famille.

Un grand merci :

A Mon directeur de mémoire Samo Diatta, qui a non seulement participé à ma formation durant mon cursus mais qui a bien voulu m'encadrer dans le cadre de mon travail de recherche, et à qui j'exprime ma profonde gratitude. Votre rigueur, votre disponibilité et votre vision prospective dans l'œuvre scientifique ont été une source de motivation pour moi à aller vers l'essentiel. Je remercie également les membres du jury avec à sa tête le président, pour m'avoir fait le grand honneur d'accepter d'évaluer ce travail.

Mes remerciements s'adressent aussi aux étudiants du Laboratoire d'Océanographie, des sciences de l'Environnement et du Climat (LOSEC) : Mr Ibrahima Diba, Mr Alioune Badara Sarr, M. Moustapha Sow Mr Diouldé Ba, pour toutes les discussions enrichissantes que nous avons eues ensemble.

Je ne saurai continuer sans remercier aussi les enseignants chercheurs du département de Physique :

Pr Bamol Ali Sow, Pr Moctar Camara, Dr Lamine Mbaye, Dr Joseph Diatta, Dr Moustapha Thiame, Dr Ababacar Ndiaye, Pr Diouma Kobor, Dr Lat Grand Ndiaye, Dr Ibrahima Sakho.

Enfin je remercie toute ma promotion

RESUME

L'agriculture pluviale dans nos régions reste largement tributaire des aléas climatiques liés à la variabilité et aux extrêmes climatiques. L'objectif de cette étude est d'améliorer la capacité d'adaptation des populations locales de la zone d'étude face à la variabilité et au changement climatique par la réduction statistique d'échelle. Pour ce fait nous avons utilisé d'une part les sorties des Modèle hadCM3 et CGCM3 qui par ailleurs jouent le rôle de prédicteur, et d'autre part les données d'observations de Ziguinchor de 1961 à 2005 qui représentent notre prédictant.

Nous avons dans un premier temps sélectionné les prédicteurs ayant une forte relation avec le prédictand.

Ensuite en suivant la logique de la méthode on a produit des statistiques sur lesquelles on a choisi d'analyser la moyenne Mensuel, les maxima, les séquences de jours pluvieux et sec des précipitations durant la période d'observation et les périodes de retour dans la zone étudiée. Ce qui nous a permis de noter que la pluie débutait dans notre zone d'étude au mois de mai et s'achevait en octobre, et l'étendue de la saison pluvieuse est en moyenne de 5 mois, et que le mois le plus pluvieux est aout. Par ces analyses nous avons aussi testé les deux modèles, le Modèle CCGM3 et le Modèle hadCM3, ce qui nous a permis de retenir le modèle hadCM3.

Enfin nous avons réalisé des projections via les scénarios H3A2 et H3B2 du modèle hadCM3. Selon ces deux scénarios les précipitations seront en baisse dans notre zone d'étude les décennies à venir.

Mot clés : Réduction statistique d'échelle à Ziguinchor.

Abstract

Rain fed agriculture in our regions remains heavily dependent on the climatic conditions associated with climate variability and extremes. The objective of this study is to improve the adaptive capacity of the local populations of the study area in the face of variability and climate change through the statistical reduction of scale. For this reason we used the outputs of Model hadCM3 and CGCM3 which also play the role of predictor, and on the other hand the data of observation of Ziguinchor of 1961 in 2005 which represents our prédicand.

We first selected the predictors with a strong relation to the predicate.

Then, following the logic of the method, statistics were produced on which the monthly average, maxima, rainy and dry rainfall sequences during the observation period and periods of return Area studied. This allowed us to note that the rain started in our study area in May and ended in October, and the rainy season is an average of 5 months and the rainiest month is August. By these analyzes we also tested the two models, the Model CCGM3 and the Model hadCM3, which allowed us to retain the hadCM3 model.

Finally, we carried out projections via scenarios H3A2 and H3B2 of the hadCM3 model.

According to these two scenarios the precipitation will be declining in our study area the decades to come.

Key words: Statistical reduction of scale

Liste des abréviations

ACC : Analyse de Corrélation Canonique

CCNUCC : Convention Cadre des Nations Unis sur le Changement Climatique

CST : Classification Synoptique du Temps

GES : Gaz à effet de Serre

GIEC : Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

IPCC : Panel Intergouvernemental sur le Changement Climatique

LOCI : Local Intensity Scaling factor

MAS : Mise à l'échelle Statistique

MCCG : Modèle Climatique Global Canadien de Circulation Générale

MCCG3 : Modèle de Circulation Générale de troisième génération

MCGA : Modèle de Circulation Générale Atmosphère

MCGOA : Modèle de Circulation Générale Atmosphère-Océan

NCAR: National Center for Atmospheric Research

NCEP : National Center for Environmental Prediction

OMM : Organisation Mondiale de Météorologie

PMA : Pays les Moins Avancés

PIB : Produit Intérieur Brut

RCSCC : Réseau Canadien de Scénarios du Changement Climatique

RNA : Réseau de Neurone Artificiel

SDSM : Statistical Downscaling Modèle

TSM : Température de Surface de la Mer

UNEP : Programme d'Environnement des Nations Unies

Sommaire

| | |
|--|-----|
| <i>Dédicace</i> | II |
| Remerciements | III |
| RESUME | IV |
| Abstract | V |
| Sommaire | VII |
| INTRODUCTION GENERALE | 1 |
| Chapitre I | 2 |
| Généralités sur le changement climatique et la réduction d'échelle | 2 |
| I.1) Notion du Changement climatique. | 2 |
| I.1-2 Aperçu sur la situation climatique de l'Afrique de l'Ouest | 2 |
| I.1-3 Impacts des changements climatiques en Afrique de L'ouest | 3 |
| a)Impact des changements climatiques sur la pluviométrie | 4 |
| b)Impact sur le secteur agricole | 4 |
| C) Impact sur la santé des populations | 5 |
| d) Impact sur la perte de la biodiversité | 5 |
| I.2 Mesure d'adaptation aux changements climatiques | 6 |
| I.2-1 Des stratégies d'adaptations complémentaires | 6 |
| I.2-3 l'assistance météorologique au monde rural au Mali | 7 |
| I.2-4 Les Séminaires itinérants pour les paysans sur le temps, le climat et l'agriculture en Afrique de l'ouest | 7 |
| I.3 Différentes méthodes de la réduction statistique d'échelle | 8 |
| I.3-1 Les méthodes de régression linéaire | 8 |
| I. 3-2 Les méthodes de classification synoptique du temps | 10 |
| I.3-3Les générateurs stochastiques de conditions météorologiques | 11 |
| I.3-4 La méthode des deltas | 13 |
| Conclusion | 13 |
| Chapitre II | 14 |
| METHODOLOGIE ET DONNEES | 14 |
| II.1 Présentation de la zone d'étude | 14 |
| II.2. Présentation des Données et Modèle | 15 |
| II.2-1. Données NCEP | 15 |
| II.2-2. Modèle MCGG3 | 15 |
| II.2-3. Modèle HadCM3 | 16 |
| II.2-4. Données d'observation (Précipitation) | 16 |
| II.3 Présentation de la Méthodologie | 17 |

| | |
|--|----|
| II.3-1 Présentation du logiciel SDSM (model de réduction d'échelle statistique)..... | 17 |
| II.3-2. Les différentes étapes du downscaling | 18 |
| II.3-3 Présentation de la Méthode utilisée | 20 |
| Chapitre3 | 24 |
| RESULTATS ET DISCUSSION | 24 |
| III.1 Sélection des prédicteurs | 24 |
| III.2 Comparaison de paramètres statistiques simples et liés à la précipitation | 26 |
| III.2.2. Moyenne précipitation maximale mensuelle entre observation et Modèles | 29 |
| III.2.3. Nombre de jours consécutifs pluvieux entre observation et modèles..... | 30 |
| III.2.4 Séquences de jour sec (Observation et Modèle) | 31 |
| III.3. Période de retour des précipitations | 33 |
| III.4 Futures scénarios de précipitations..... | 35 |
| Conclusion et perspectives | 37 |

Liste des figures

| | |
|---|-----------|
| I.1 : indice de pluie entre 1950 et 2000 | 4 |
| I.2 : photo de culture de Maïs au Sénégal..... | 5 |
| II.1 : photo de la carte de Ziguinchor..... | 5 |
| II.2 : écran d'accueil de SDSM..... | 17 |
| II.3 : grille de Modèle hadCM3..... | 20 |
| II.4 : grille de Modèle MCG3..... | 20 |
| III. 1:Validation de la précipitation moyenne (mm/jour)..... | 27 |
| III.2 Validation de la précipitation maximale moyenne mensuelle (mm/jour)..... | 29 |
| III. 3 Séquences de jours pluvieux obtenu avec les observations et les modèles..... | 30 |
| III. 4 Séquences de jours secs obtenu avec les observations et les modèles..... | 32 |
| III.5 : Période de retour entre observations et modèles..... | 34 |
| III.6 : Comparaison des précipitations moyennes entre le temps présent et futur..... | 35 |

Liste des tableaux

II.1.a : liste des prédictors tirés du Modèle hadCM3.....21
II.1b : liste des prédictors tirés du Modèle MCG322
III.1 : Matrice de corrélation.....23
III.2 : Prédictors Sélectionnés24
III.3 : Statistiques des observations.....25
III.4 : Périodes de retour des Maxima entre l'observation et le modèle HadCM3..33
III.5 : Périodes de retour des Maxima entre l'observation et le modèle MCG3.....34

INTRODUCTION GENERALE

L'Agriculture demeure un élément central de l'économie ouest africaine en générale et sahélienne en particulier). A Ziguinchor c'est l'élément central de l'économie ou il conserve encore une place de choix pour les revenus et les moyens d'existence. Cependant, ce secteur vital source de toute l'alimentation des êtres humains et les animaux domestiques est aujourd'hui menacé à plus d'un titre par le climat, qui se caractérise par une tendance stable sur une longue période de caractéristiques météorologiques propres à un milieu géographique donné. Mais cette stabilité est très souvent rompue pour des causes diverses (naturelles et anthropiques surtout), entraînant une modification durable communément appelé Changement Climatique Les conséquences sont lourdes pour les agriculteurs qui doivent s'adapter à des pluies moins importantes en moyenne annuelle ou saisonnière, mais surtout de plus en plus imprévisibles (ils savent de moins en moins quand les pluies vont arriver) et moins fiables (les pluies peuvent manquer au milieu de la saison). Ayant perdu toutes références empiriques, avec une faible capacité de résilience, les agriculteurs luttent aujourd'hui sans répit pour leur survie (Coulibaly, 2012). Ainsi il est d'une extrême urgence de contribuer à l'amélioration de la capacité d'adaptation de ces braves hommes, femmes et enfants face aux changements climatiques, tel est alors le principal objectif de cette étude à travers le thème : <<Réduction d'échelle et générations de futur scénarios de précipitation sur la région de Ziguinchor>>.

Ce travail est organisé en 3 Chapitre dans lesquels nous avons présentés les aspects les plus importants que nous avons traités.

-Le premier chapitre porte sur le concept de Changement climatique et la réduction d'échelle, ainsi dans cette partie nous avons parlé du changement climatique, impact et adaptation en Afrique de l'Ouest, puis nous avons rappelé certaines méthodes de la réduction statistique d'échelle.

-Le deuxième chapitre porte sur la Méthodologie par la présentation de la Méthode adoptée et le logiciel utilisé. Aussi le chapitre porte sur la présentation des données et modèles utilisées.

-Le troisième chapitre porte sur les résultats obtenus, ainsi que leurs analyses et interprétations. Et enfin nous avons présenté une conclusion suivie des perspectives.

Chapitre I

Généralités sur le changement climatique et la réduction d'échelle

I.1) Notion du Changement climatique.

Pendant les dernières années, le changement climatique est devenu un sujet d'actualité continu. Les controverses créées n'ont pas été peu nombreuses.

Le Panel Intergouvernemental sur le Changement Climatique (IPCC) est l'organisation principale chargée de l'évaluation du changement climatique, établi selon le Programme d'Environnement des Nations Unies (UNEP) et l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM) pour offrir au monde une vue scientifique et claire sur l'état du changement climatique et de ses potentielles conséquences environnementales et socio-économiques.

Selon l'IPCC les changements climatiques désignent l'ensemble des variations des caractéristiques climatiques en un endroit donné, au cours du temps : réchauffement ou refroidissement. Certaines formes de pollution de l'air, résultant d'activités humaines, menacent de modifier sensiblement le climat, dans le sens d'un réchauffement global. Ce phénomène peut entraîner des dommages importants : élévation du niveau des mers, accentuation des événements climatiques extrêmes (sécheresses, inondations, cyclones, ...), déstabilisation des forêts, menaces sur les ressources d'eau douce, difficultés agricoles, désertification, réduction de la biodiversité, extension des maladies, etc.

Selon le GIEC (2007), ce changement climatique s'accompagnerait :

- d'une perturbation du cycle de l'eau
- d'une augmentation de la fréquence et de l'intensité des catastrophes naturelles d'origine climatique (sécheresses, inondations, tempêtes, cyclones),
- d'une menace de disparition de certains espaces côtiers, en particulier les deltas, les mangroves, les récifs coralliens, les plages d'Aquitaine, etc.,
- de la recrudescence du paludisme, et l'extension de maladies infectieuses comme la Salmonellose ou le choléra,
- d'une baisse de la biodiversité : disparition d'espèces animales ou végétales (Chelhaoui,2013)

I.1-2 Aperçu sur la situation climatique de l'Afrique de l'Ouest

Le climat est tropical sec. On distingue quatre types :

- Un climat désertique au Nord (pluviométrie annuelle < 200 mm);

- Sahélien au centre (pluviométrie annuelle comprise entre 200 mm et 600 mm);
- Soudanien (pluviométrie annuelle comprise entre 600 mm et 1200 mm);
- Guinéen (pluviométrie annuelle > 1200mm)

cette partie du continent est plus vulnérables à la variabilité et aux changements du climat, une situation aggravée avec l'interaction de stress multiples se produisant à divers niveaux avec une faible capacité adaptative des populations. Les secteurs économiques importants de l'Afrique dont l'agriculture sont vulnérables à la sensibilité courante du climat, avec des impacts économiques énormes. Cette vulnérabilité est aggravée par des défis de développement existants comme la pauvreté endémique; la dégradation d'écosystèmes et les désastres et conflits complexes.

L'agriculture dans les zones tropicales et semi-arides d'Afrique subit les effets de la variabilité et du changement du climat avec la réduction de la durée de la période de végétation. Ce qui contribue à affaiblir davantage la capacité adaptative de l'Afrique, augmentant ainsi la vulnérabilité du continent aux changements climatiques projetés. Les fermiers africains ont développé plusieurs options d'adaptation à faire face à cette variabilité du climat, mais qui sont insuffisantes pour de futurs changements de climat. Des actions pertinentes comme l'assistance météorologique au monde rural menées par les Groupes de Travail Pluridisciplinaires sont conduites dans certains pays de l'Afrique de l'Ouest pour aider les producteurs ruraux à mieux à s'adapter (Diarra,2012).

I.1-3 Impacts des changements climatiques en Afrique de L'ouest

Bien que l'Afrique contribue pour moins de 4% aux Emissions Mondiales de gaz à effet de serre, elle sera la plus impactée par le changement climatique

La sécheresse de la région du Sahel depuis les années 70, par exemple, a été liée à une tendance positive de la température équatoriale de surface de la mer dans l'Océan Indien (SST), tandis qu'ENSO a une influence significative sur les précipitations interannuelles; Au Mali, on note de nos jours en moyenne une baisse de 20% entre la période 1951 – 1970 (période humide) et la dernière période de référence 1971 – 2000 entraînant un déplacement des isohyètes vers le Sud. Les températures maximales varient peu pendant l'année à un endroit donné, le coefficient de variation étant inférieur à 10% dans presque tous les cas. Le maximum absolu est de 50° ou 51°, et les moyennes maximales oscillent entre 35 et 45° tandis que le coefficient de variation des températures minimales se situe entre 10 et 23 % durant l'année(Diarra, 2012).

a) Impact des changements climatiques sur la pluviométrie

La variabilité des précipitations en Afrique est très importante puisqu'elle atteint parfois 40-80%. Les taux de précipitations annuelles diminuent.

Ainsi l'aridification du climat qui conduit aux grandes sécheresses des années 1970 et 1980 a été la conséquence de la réduction importante des précipitations au sahel. Le régime pluviométrique en Afrique de l'ouest est lié au mouvement saisonnier de la zone de convergence intertropicale qui se traduit en Afrique de l'ouest par une irrégularité du climat. Il a été observé dans le sahel une forte réduction des précipitations sur les dernières années. C'est l'Afrique de l'ouest qui a connu les taux de déclin les plus rapides car elle a subi une diminution de sa pluviosité annuelle de 20 à 40% entre 1931/1960 et 1968/1990(www.consulting.com)

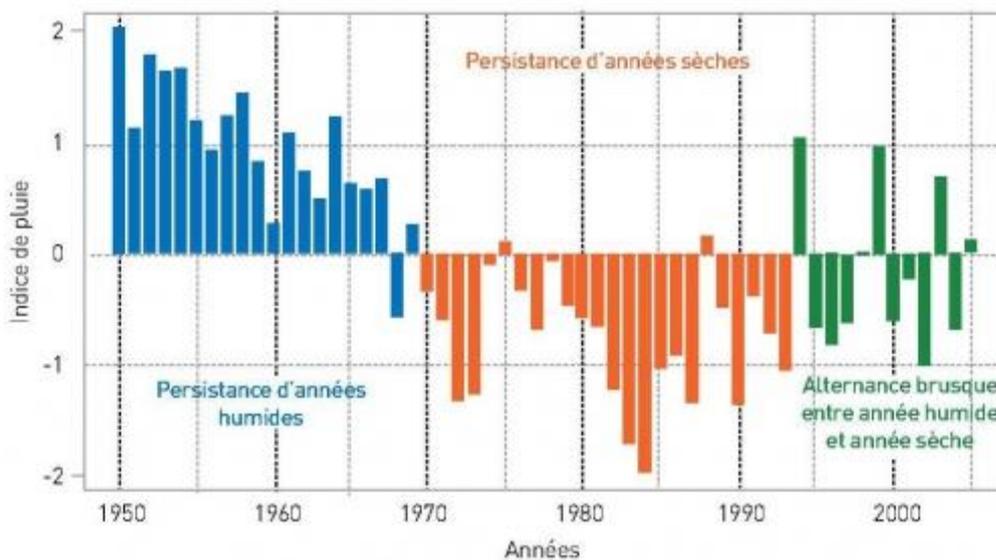


Figure I.1 : indice de pluie entre 1950 et 2000 (www.agroclipo.fr)

b) Impact sur le secteur agricole

L'impact des changements climatiques sur les réserves alimentaires mondiales est l'un des effets les plus préoccupants du phénomène. Le pire des scénarios imaginés prévoit la baisse drastique de la production des céréales dans la région sahélienne de l'Afrique. L'Afrique a été décrite en tant que grand retardataire du monde dans le progrès Technologique dans le secteur de l'agriculture.

D'ici à 2020, selon M. Ehrhart, les changements climatiques auront contribué au stress hydrique, à la détérioration de terres, à la diminution du rendement des cultures et à l'accroissement du risque d'incendies de forêt, ce qui provoquera une diminution de 50% de

la productivité agricole. Cela se traduira, par des pénuries graves de vivres et d'eau et les populations touchées subiront de fortes pressions qui les inciteront à migrer (Coulibaly,2012).



FigureI.2 : photo de culture de maïs au Sénégal (www.sudonlin.sn)

C) Impact sur la santé des populations

Dans l'ensemble les changements climatique sont porteurs de menaces liées à la prolifération des maladies affectant les animaux et l'intensification de l'activité ravageurs des plantes. Ils devraient accroître les risques pour la santé, en particulier pour les populations à faible revenus, principalement dans les pays tropicaux /subtropicaux.

Par ailleurs les changements climatiques influent directement sur la santé notamment sur l'émergence de maladies infectieuses et à vecteur tel que le paludisme, mais aussi par l'augmentations du stress dû à la chaleur (www.consulting.com)

d) Impact sur la perte de la biodiversité

Les sécheresses fréquentes plus que tous autres facteurs ont contribuées à fragiliser d'avantage les écosystèmes, les rendant plus vulnérables à la moindre perturbation et accélèrent le rythme de dégradation des ressources biologiques.

Les déficits hydriques qui ont résulté, ont entraîné une réduction de la production primaire, une modification de la structure du couvert végétal et une réduction massive de la faune sauvage et du cheptel (Diarra, 2012)

I.2 Mesure d'adaptation aux changements climatiques

Le Groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat(GIEC) définit l'adaptation au changement climatique comme «l'ajustement des systèmes naturels ou humains en réponse à des stimuli climatiques réels ou attendus ou à leurs effets, de façon à atténuer leurs effets néfastes ou exploiter des opportunités bénéfiques. L'adaptation peut être autonome, réactive, d'anticipation ou planifiée. Beaucoup de stratégies d'adaptation se concentrent sur l'augmentation de la capacité d'un système à absorber les perturbation causées par le changement climatique et la récupération des avantages qui en découlent (la résilience renforcée), ou sur l'augmentation du degré avec lequel un système est en mesure de faire face aux changements climatiques (capacité d'adaptation améliorée, réduisant ainsi la vulnérabilité).Sur cette base le GIEC a pris des mesures d'atténuation d'écoulant de plusieurs conventions dont la convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique(CCNUCC) et le protocole de Kyoto.

Le CCNUCC s'inscrit dans la dynamique d'une politique de changement dont le socle constitue le passage accéléré à une économie mondiale à faible intensité de gaz à effet de serre.

Quant au protocole de Kyoto signé en 1997, il engage les pays industrialisés parties à l'accord à réduire leurs émissions de six(6) gaz à effet de serre, notamment le dioxyde de carbone, le méthane, l'ozone, le protoxyde d'azote et l'oxyde nitreux de 5% par rapport au niveau atteint en 1990.

Par ailleurs le rapport 2010 de la banque Mondiale sur le développement évalue le cout de l'atténuation du changement climatique dans les pays en développement à 400 milliards de dollars pour les 20 prochaines années, et estime que les investissements dans les stratégies d'adaptation pourraient atteindre environ 75 milliards de dollars par An entre 2010 et 2050(www.consulting.com)

Etant limités par manque de moyens sur ces programmes, les Etats Africaine envisagent de mettre en place leurs propres mesures d'adaptation, notamment

I.2-1 Des stratégies d'adaptations complémentaires

Les mesures d'adaptations sont les mesures d'accompagnement permettant de faire face aux facteurs corollaires à l'évolution du climat, tels que l'augmentation des précipitations, la hausse des températures, la raréfaction des ressources en eau ou la fréquence accrue des tempêtes.

Elles consistent en des mesures d'anticipations des risques et dommages consécutifs à l'évolution climatique. Ce type de mesures s'articule notamment autour de :

- L'utilisation rationnelle des ressources en eau limitées ;
- L'adaptation des normes de construction à évolution des conditions climatiques, la mise en place de barrières contre les inondations et l'augmentation de la hauteur des digues pour parer à l'élévation du niveau de la mer ;
- Le développement de culture adaptée à la sécheresse et la mise en place de pratique forestières moins vulnérables aux tempêtes et aux incendies ;
- L'aménagement efficace de l'espace pour faciliter la migration des espèces.

Conjointement, les stratégies d'atténuation et d'adaptation devraient permettre d'atteindre des objectifs de développement durable(ODD) ([www. Consulting.com](http://www.Consulting.com))

I.2-3 l'assistance météorologique au monde rural au Mali

Cette assistance des services Météorologiques se traduit par:

- Recensement des besoins de producteurs ;
- La collecte et la transmission des données météorologique, hydrologique, agronomique, phytosanitaires sur les pâturages, l'élevage, la pêche et le marchés ;
- Le traitement et l'analyse ;
- Les réunions décennales du GTPA (Groupe de Travail Pour la prévision agricole) ;
- La production et la diffusion des produits agro météorologiques
- Les visites de terrain pour la supervision
- Les paysans ont été formés pour effectuer les mesures de pluies et les observations phénologiques en s'appuyant sur un manuel édité en langue locale.
- La prise en compte des connaissances traditionnelles (Diarra, 2012)

I.2-4 Les Séminaires itinérants pour les paysans sur le temps, le climat et l'agriculture en Afrique de l'ouest

Le projet METARGRI pour l'organisation de séminaires itinérants et l'agriculture en Afrique de l'Ouest est une réponse apportée par l'organisation Météorologique Mondiale et l'Agence Etatique pour la Météorologique (AEM)

Ces séminaires ont pour objectifs :

- Renforcement du réseau de collecte des données météorologique et agronomique en vue de l'élaboration de calendrier prévisionnel de semis ;
- Préparation des formats de collecte, transmission et définition des systèmes de transmission ;

- Formation des pays observateurs et vulgarisateurs sur les Techniques élémentaire de relevés pluviométriques et d'observations sur les cultures ;
- Suivi de l'application des avis et conseils pendant la campagne ;
- Identification des organes de presse notamment radios de proximité présentes sur les territoires des pays et évaluation de leurs capacités ;
- Définir des systèmes de transmission et de diffusion de l'information pour les paysans sur le temps, le climat et l'agriculture en Afrique de l'ouest. (Diarra, 2012)

I.3 Différentes méthodes de la réduction statistique d'échelle

Dans cette partie nous présentons les différentes méthodes de la réduction statistique d'échelle.

I.3-1 Les méthodes de régression linéaire

Les méthodes de MAS (Mise à l'échelle Statistique) basées sur la technique de régression linéaire sont les suivantes:

La régression linéaire multiple, les réseaux de neurones, l'analyse de corrélation canonique et le krigeage (Bokoye, 2009).

La régression linéaire multiple

Pour un prédicteur donné, cette méthode permet de déterminer une relation empirique entre celui-ci et un ensemble de prédicteurs connus couvrant une période d'observation dite d'étalonnage. Les meilleurs coefficients de l'équation de régression linéaire multiple

Correspondent à ceux qui minimisent l'écart quadratique moyen entre prédicteur estimé et observé sur la période ci-dessus. La variance expliquée permet de mesurer la qualité de la relation prédicteur-prédicteur établie. Une des difficultés associée à la méthode est la délicatesse du choix des prédicteurs. Il existe une alternative à la sélection manuelle et judicieuse des prédicteurs; celle-ci est la régression par étape ou "stepwise régressions".

Celle-ci-consiste à opérer une sélection automatique des prédicteurs en établissant dans une première étape, une équation de régression prédicteur avec chaque élément de l'ensemble des prédicteurs. Le prédicteur affichant l'erreur minimum est ainsi choisi comme premier prédicteur. Soit N le nombre total de prédicteurs. En deuxième étape, les N-1 prédicteurs sont considérés pour établir une équation de régression avec chacun des N-1 prédicteurs avec le prédicteur de l'étape 1. Le deuxième prédicteur est choisi avec l'équation qui lui correspond à l'écart quadratique moyen minimum. Le processus est ainsi répété à chaque étape en ajoutant un prédicteur à partir de ceux qui ne sont pas utilisés. La pertinence

de l'ensemble des prédicteurs sélectionnés peut se mesurer avec une opération de validation avec les observations hors de la période d'étalonnage. Généralement on considère les périodes 1961-1990 ou 1961-1975 pour la construction du modèle de régression linéaire multiple (Fonction de transfert) et respectivement 1991-2000 ou 1976-1990 pour la validation du modèle (Bokoye, 2009).

LOCI

Cette méthode de MAS connue souvent sous le nom de LOCI (Local Intensity scaling factor) est basée sur la considération du champ de précipitation comme prédicteur principal. Cette variable est censée intégrer une bonne partie des prédicteurs de la circulation atmosphérique. Un rapport d'échelle défini par le rapport de l'intensité de précipitation observée à celle simulée par un MCG est calculé pour corriger celui-ci en termes de biais. Les Autres variables comme la température sont calculées à partir de ce rapport d'échelle qui peut être mensuel ou journalière. La méthode peut servir de référence pour les études d'inter comparaison des méthodes de MAS (Schmidli et al. 2006 ; Salathé, 2003). La méthode s'avère moins performante que la modélisation dynamique et régionale du climat dans les localités avec une topographie conséquente.

La régression canonique

La méthode MAS basée sur l'analyse de corrélation canonique (ACC) peut être perçue comme un cas général de la régression linéaire multiple. L'ACC permet d'étudier la relation entre un ensemble de variables dépendantes et un ensemble de variables indépendantes. La corrélation canonique est optimisée de façon à ce que la corrélation entre les deux ensembles de variables soit maximale. Cependant, contrairement à la régression multiple, il y a plusieurs variables dépendantes et, par conséquent, il y a plus d'une façon de relier les deux ensembles. Toutefois, chaque nouvelle représentation est non corrélée avec les précédentes. L'ACC se distingue de la régression linéaire multiple par la possibilité de considérer plusieurs prédicants simultanément.

L'ACC présente globalement les mêmes avantages, inconvénients et hypothèses associés à méthode de régression linéaire.

Le réseau de neurones artificiel

La MAS par réseau de neurones artificiel (RNA) est basé sur des modèles à l'image du fonctionnement du réseau de neurone chez l'humain. Ces modèles apparaissent comme une boîte noire permettant l'estimation d'un nombre de paramètres à partir des paramètres des prédicteurs, les deux ensembles sont reliés par des relations non-linéaires entre prédicants et

prédicteurs. Les modèles de réseau de neurones ont généralement une structure de type entrée-espace caché-sortie (input-hidden-output). Le principal avantage du RNA en MAS est que la fonction de transfert initial du système a besoin d'être choisi et par la suite tous les paramètres se déterminent à partir d'une séquence d'apprentissage sur la période d'étalonnage considéré.

A titre d'inconvénients, le RNA s'avère compliqué comme méthode et n'offre pas tous des résultats faciles à interpréter. De nombreuses applications des RNA ont été réalisées l'occurrence au Canada notamment en hydrologie et variabilité du climat: (Coulibaly et al. 2000, 2001 Te Dibaba et al. 1999, 2002).

I. 3-2 Les méthodes de classification synoptique du temps

La MAS basée sur la circulation atmosphérique à l'échelle synoptique s'appuie sur le principe de classification synoptique du temps (CST) et l'établissement de fonction de transfert prédicant-prédicteurs pour chaque type de temps. La classification synoptique du temps (CST) ou "Weather Typing" est une méthode algorithmique qui est capable de distinguer différentes configurations météorologiques typiques. La classification est l'ensemble des techniques dont le but est de discriminer des groupes d'objets avec deux catégories principales: haute homogénéité interne (au sein de chaque classe) et haute hétérogénéité externe (entre les classes). Les premiers concepts de CST ont été élaborés par Baur et al. (1944) et Lamb (1972). Aujourd'hui, la méthode connaît une revitalisation avec le débat sur les changements climatiques et le développement de prédicteurs avec la modélisation globale. Il existe principalement deux types de "Weather Typing" en termes d'approches: l'approche analogie temporelle (Zorita et al. 1995 ; Martinet al. 1997) où la classification est conduite de façon à choisir les prédicants en fonction du degré de similitude des états synoptiques passés avec l'état courant. Cette approche s'avère efficace pour la construction de séries temporelle de type multi-sites et multi variables. Cette approche a été appliquée avec un certain succès à la qualité de l'air et les événements météorologiques extrêmes du centre-sud du Canada (Cheng et al. 1993,2006).

L'approche qui classifie la distribution spatiale de l'occurrence des patrons de précipitation en utilisant une approche stochastique de chaîne de Markov où ce dernier est associé à un type de temps synoptique ou état synoptique. Le processus stochastique de chaîne de Markov peut comporter plus d'un ordre. Avec l'ordre 1 l'état au temps t dépend de l'état au temps $t-1$, pour l'ordre 2 l'état au temps t dépend de l'état au temps $t-1$ et $t-2$ ainsi de suite. Le passage de l'état de veille à l'état courant s'exprime par des probabilités conditionnelles. Il existe une

alternative à l'approche ci-dessus et elle est basée sur des chaînes de Markov non-homogènes où les probabilités sont conditionnées par des prédicteurs atmosphériques et varient ainsi dans le temps contrairement au cas précédent avec un ordre donné pour la chaîne de Markov. Des détails sur la CST et les chaînes de Markov peuvent être trouvés dans les articles suivants pour ne citer que ceux-là: Zucchini et Guttorp (1991), Hughes et Guttorp (1994), Hughes et al. (1999), Charles et al. (1999), Bellone et al. (2000), Charles et al. (2003), Charles et al. (2004), Robertson et al. (2004). Quelle que soit l'approche en CST, une relation est développée entre prédicant et prédicteurs autrement dit entre l'échelle synoptique et l'échelle locale. Cette relation repose entre autres sur l'hypothèse de l'invariance temporelle c'est-à-dire que le modèle statistique développé sur la période historique ou courante restera valable dans le futur (Bokoye, 2009)

I.3-3 Les générateurs stochastiques de conditions météorologiques

Un générateur stochastique de conditions météorologiques ou "Weather Generator"(WG) est un modèle qui reproduit les attributs statistiques (moyenne et variance) d'une variable climatique considérée à l'échelle locale (Wilby et al. 2004). La variable de sortie de ce type de modèle est une série chronologique artificielle de données météorologiques à très haute résolution temporelle à la limite des ressources informatiques.

Il existe deux types de générateurs stochastiques. Le type « Richardson » (Richardson, 1981; Richardson et Wright, 1984) ou WGEN et le type « en série » (Racsko et al. 1991; Semenov et al. 1998) Ou LARS-WG. WGEN se caractérise par la modélisation de la variable considérée à l'aide de chaîne de Markov qui décrit généralement deux états comme sec ou humide pour la précipitation. Une modélisation de type ordre 1 de chaîne de Markov prend en compte l'état courant et l'état veille de la variable considérée. Des modèles plus complexes peuvent prendre en compte jusqu'à trois états (faible, moyenne et élevé) ou plus. La méthode de Markov fournit de l'information sur les probabilités conditionnelles de passage d'un état à l'autre (par exemple dans le cas de la précipitation c'est la probabilité qu'un jour humide suive un jour sec ou sur la probabilité qu'un jour humide suive un jour humide) calculées à partir des données d'observation de la station. Les séquences d'états en l'occurrence la distribution des jours humides dans le cas de la précipitation est modélisée à partir d'une fonction préalablement définie comme la distribution gamma ou des distributions exponentielles mixtes. En général c'est l'occurrence de la précipitation qui est modélisée en première instance et les variables climatiques restantes sont alors calculées en fonction de leurs corrélations les unes avec les autres et du statut humide ou sec de chaque jour. Les

générateurs stochastiques de conditions météorologiques sont limités quant à prédire avec précision la durée des séquences sèches ou humides importante pour bien des domaines comme l'agriculture. Une alternative pour s'affranchir de cette limite est le générateur de type série (LARS-WG) qui modélise les jours secs et humides relativement à la précipitation, les autres variables comme la température sont déduites à partir des modèles de jours secs et humides. WGEN se distingue de LARS-WG par le fait que le second utilise un modèle de distribution empirique à la place de la distribution prédéfinie utilisée dans le premier cas. Ainsi la précision de la modélisation augmente (Semenov et al. 1998) de l'utilisation directe des observations pour élaborer le modèle séquentiel de distribution d'un état plutôt que l'ajustement d'une distribution prédéfinie aux observations. Dans le domaine des scénarios climatiques et de la MAS, les générateurs stochastiques de conditions météorologiques sont utilisés pour générer des chroniques météorologiques à l'échelle quotidienne pour répondre aux besoins en étude d'impact et adaptation au climat. De grandes incertitudes sont associées aux données quotidiennes des MCG avec une résolution grossière de plusieurs centaines de kilomètres. Ces incertitudes sont de moindre nature avec l'information mensuelle à partir de laquelle, il reste possible de générer de l'information quotidienne à partir d'un générateur stochastique de conditions météorologiques comme LARS-WG. Ce dernier outil a été spécialement conçu pour générer des scénarios climatiques via la MAS. On peut relever plusieurs études relatives à la génération de scénarios climatiques à l'échelle locale via les générateurs stochastiques de conditions météorologiques: Wilks et al. 1999 ; Semenov et Barrow, 1998; Mearns et al. 1996 et Katz et Par lange 1998. La MAS via un générateur stochastique de conditions météorologique stochastique de conditions météorologiques présente l'avantage d'être très efficace pour la MAS temporelle avec une capacité de générer de l'information climatique à l'échelle locale via une fonction de transfert entre paramètres de distribution statistique du prédicant considéré et les variables de la circulation atmosphérique à grande échelle. Et ceci avec une très haute résolution temporelle qui peut-être sub-quotidienne (Kils by et al. 1998 ; Fowler et al. 2000).

A l'instar des autres méthodes décrites ci-dessus, les paramètres du modèle du générateur stochastique sont déterminés sur une période d'entraînement à partir des observations. Le modèle ainsi défini est ensuite validé sur autre fenêtre temporelle des observations.

Les limites associées aux générateurs stochastiques de conditions météorologiques relativement à la MAS restent l'ajustement arbitraire des paramètres pris en compte pour le

climat futur et l'incidence des paramètres de modélisation de l'occurrence des précipitations sur les autres variables comme la température. (Bokoye, 2009)

I.3-4 La méthode des deltas

La méthode des deltas reste encore la procédure la plus populaire pour générer des scénarios climatiques à l'échelle locale ou pour une région d'intérêt. On considère d'abord une climatologie de référence pour le site ou la région d'intérêt. Selon l'application considérée, cette climatologie peut-être représentative de moyenne à long-terme (1961-1990) ou les enregistrements météorologiques à l'échelle quotidienne. Le changement moyen ou delta correspondant à un point de grille du MCG proche du site d'intérêt est ensuite calculé en considérant la différence des moyennes (généralement sur une base mensuelle) des valeurs de la variable considérée entre une projection future et la climatologie de référence. Cette différence est ensuite ajoutée aux observations quotidiennes du mois considéré à la station considérée et sur la période de référence.

La méthode des deltas intègre aussi bien des détails de la climatologie de la station considérée que le changement régional moyen spécifique à la variable considérée et le point de grille du MCG considéré. Il convient de noter que pour le champ de précipitation, le champ d'observation considéré au niveau local est multiplié par le rapport des moyennes mensuelles du climat futur et de référence. (Bokoye, 2009)

Conclusion

Les changements des événements extrêmes, tels que les sécheresses et les inondations ont des implications importantes pour de nombreux Africains et exigent d'avantage d'attention. Les sécheresses ont longtemps contribué à la migration humaine, à la séparation culturelle, à la dislocation de populations et à l'effondrement des sociétés.

Des activités sont en cours dans certains pays en vue de renforcer la capacité adaptative dans le secteur de l'agriculture et des ressources en eau (assistance météorologique au monde rural, programme des pluies provoqués, projet METAGRI, projet ANADIA de l'OMM) (Diarra, 2012)

Ainsi pour mieux évaluer les impacts induit par le changement climatique afin de pouvoir mieux s'adapter, on fait appel à des formalismes méthodologiques et des outils appropriés pour leurs mises en œuvre : ici la réduction statistique d'échelle.

Chapitre II

METHODOLOGIE ET DONNEES

Dans ce chapitre intitulé Méthodologie et Données nous allons d'abord présenter la zone d'étude, puis d'écrire les Données et la méthode utilisées.

II.1 Présentation de la zone d'étude

Issue de la réforme administrative de juillet 1984 qui avait divisé la Casamance en deux (2) entités administratives, la région de Ziguinchor couvre une superficie de 7339 km², soit 3,7 % du territoire national. Elle est limitée au Nord par la République de Gambie, au Sud par la République de Guinée Bissau, à l'Ouest par l'Océan Atlantique et à l'Est par la région sœur de Kolda avec laquelle elle constitue la Casamance naturelle (figureII.1)

Le climat tropical de type guinéen est adouci à l'ouest par les alizés provenant de l'océan, la température moyenne est de 28°C.

Grâce à la mousson provenant de l'anticyclone de Sainte-Hélène la saison des pluies, appelée l'hivernage, s'étale de juin en octobre. La Casamance est la région la plus arrosée du Sénégal, avec une précipitation moyenne de 1.400 mm par an (Keita, 2013)

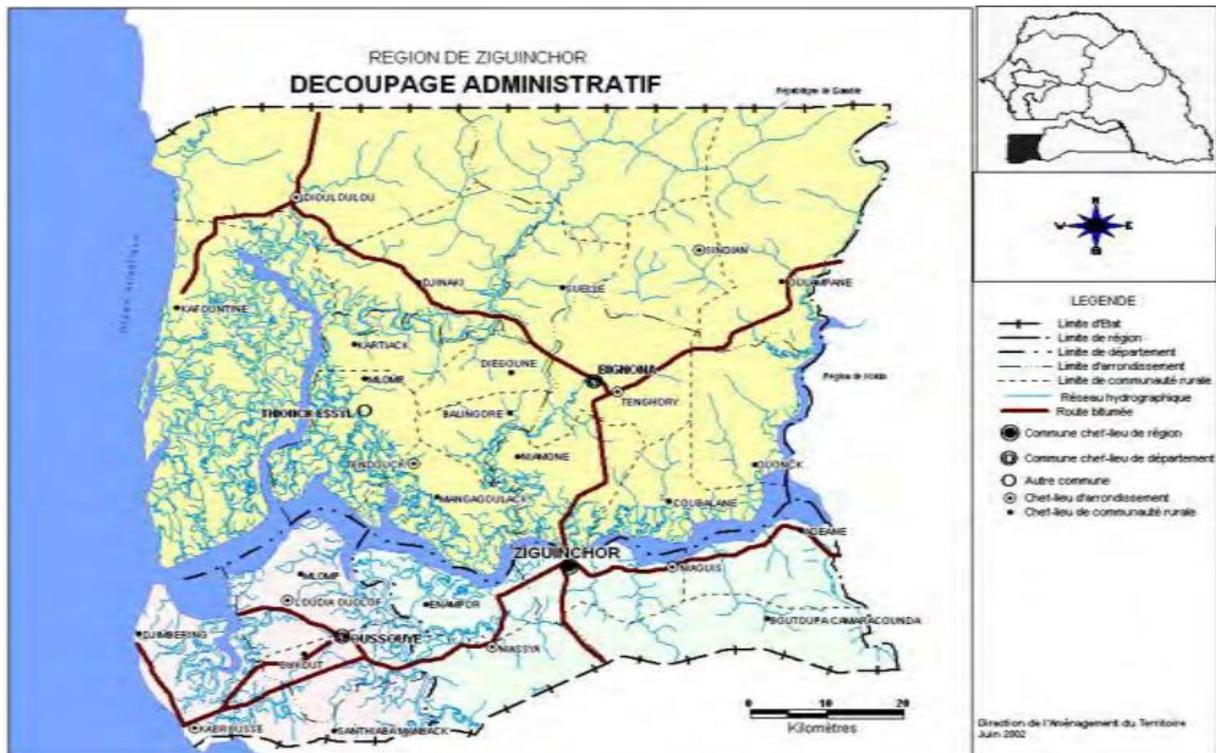


Figure II.1 : Carte de Ziguinchor (ANSD, 2003)

II.2. Présentation des Données et Modèle

II.2-1. Données NCEP

Le modèle SDSM est calibré à l'aide des prédicteurs de grande échelle issus des données réanalyses de NCEP, ces données sont le fruit d'un projet des Etats-Unis d'Amérique appelé «NCEP/NCAR». C'est un projet commun entre les NCEP (National Center for Environmental Prediction) et le NCAR (National Center for Atmospheric Research) dont le but est de fournir de nouvelles Réanalyses atmosphériques en utilisant les données historiques et les systèmes d'assimilations et produire l'analyse de l'état de l'atmosphère actuelle. Les nouvelles réanalyses issues de l'association de ces deux organismes américains couvrent une période de 50 ans de réanalyses. Elles ont été interpolées (étude fait par NCEP /NCAR) sur la grille (gaussienne) du MCGG3 pour la période du climat actuel (1961-2003). Les données de réanalyses sont disponibles sur les sites de nombreuses organisations et institutions académiques qui sont impliquées dans l'étude du changement climatique comme le site du «Réseau Canadien des Scénarios du Changement Climatique RCSCC »(www.cana.gc.ca)

II.2-2. Modèle MCGG3

Les scénarios d'évolution des champs de grande échelle utilisés pour générer les scénarios futurs à l'échelle locale sont issus du modèle climatique global canadien de

circulation générale MCGG3 (Flato et Boer, 2001). Le modèle de grande échelle MCGG3 est le modèle de circulation générale de troisième génération MCGG.

Afin d'étudier l'impact du changement climatique prévu, il est important de disposer des données de projection future des paramètres météorologiques à l'échelle du système hydrologique.

Pour ce faire, des données générées par des simulations du modèle climatique global canadien de circulation générale MCGG3 (Flato et Boer, 2001) sont nécessaires. Elles sont utilisées après réduction d'échelle dans l'évaluation de l'impact du changement climatique sur le système en question. Pour réduire la résolution du MCGG3, un outil de réduction d'échelle statistique a été appliqué. Il y a beaucoup d'outils, qui ont été développés par de nombreuses institutions impliquées dans l'étude du climat.

II.2-3. Modèle HadCM3

HadCM3 (Hadley centre for climatic prediction and Research du RU. expérience A1 et B2 (scénarios SRES).

Pour ces expériences les variables calculées au moyen de l'approximation géostrophique ne sont pas disponibles pour les trois bandes de latitudes centrées sur l'Equateur et la forme de l'algorithme qui sert à calculer les variables géostrophiques est telle qu'il est impossible de calculer les valeurs pour les points de grille adjacents à la maille centrée sur l'Equateur. Pour ces trois bandes de latitude les fichiers de variables calculées contiennent le code de la valeur manquante. (www.canada.gc.ca)

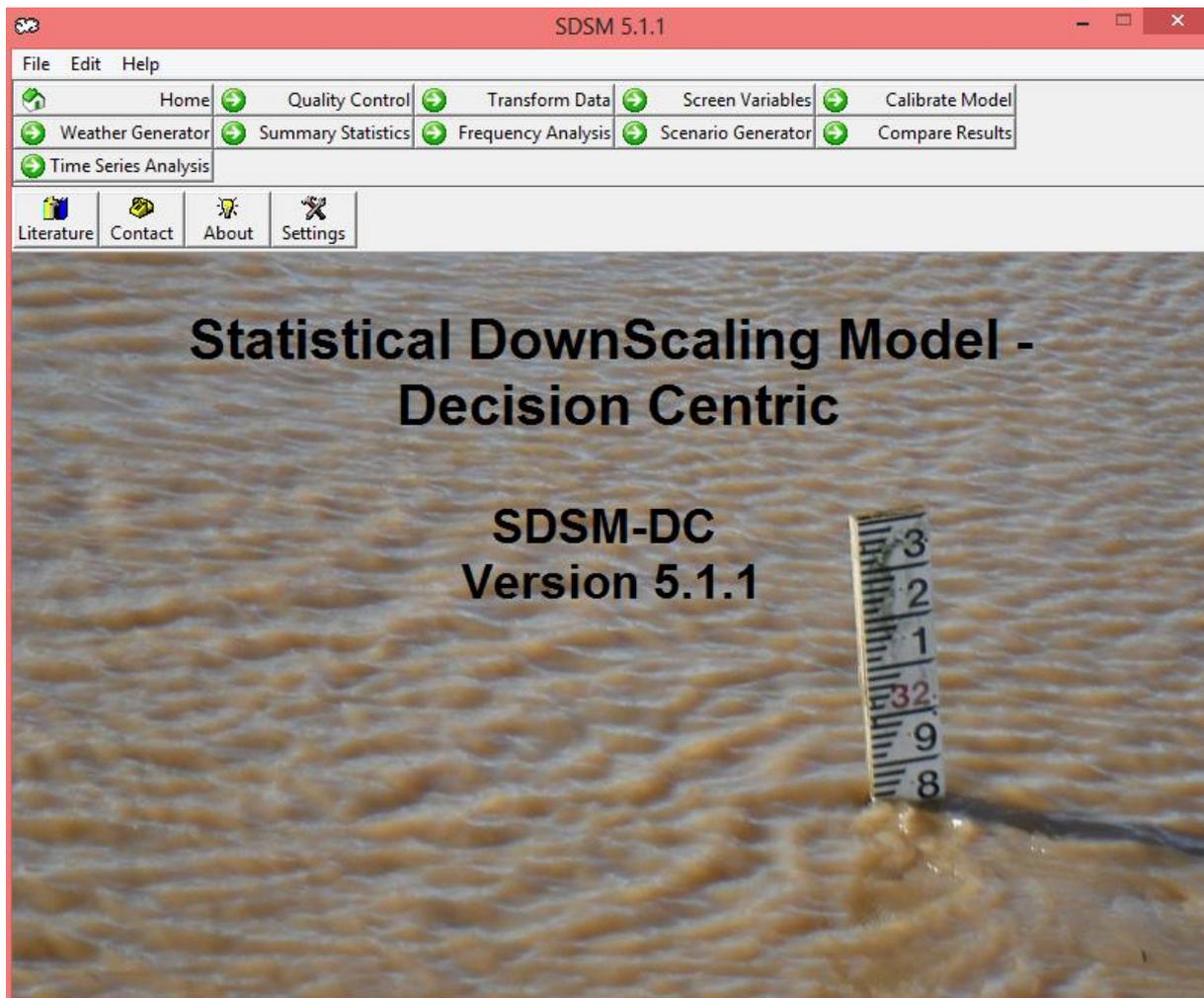
II.2-4. Données d'observation(Précipitation)

Ce sont des données journalières de précipitation de Ziguinchor de la période 1961 à 2005. Ces données doivent être converties en une seule colonne (c.-à-d. les valeurs des données seulement) pour être compatibles avec SDSM. Il faut en exclure les renseignements sur la date. Il est possible de reformater les données à l'aide d'un langage de programmation comme FORTRAN, ou d'un tableur comme Microsoft Excel. Lorsque ces données sont bien formatées, il faut s'assurer que SDSM reconnaît le format ou le code utilisé pour identifier les valeurs manquantes dans l'ensemble de données. Pour ce faire, il suffit d'entrer le code exact dans la fenêtre **d'identification des données manquantes** sur l'écran des **réglages**.

II.3 Présentation de la Méthodologie

II.3-1 Présentation du logiciel SDSM (model de réduction d'échelle statistique)

SDSM (modèle de réduction d'échelle statistique) est un outil d'aide à la décision pour étudier les effets locaux du changement climatique sous un forçage climatique futur (figure II.2). Il a été développé au Royaume-Uni par Robert Wilby et Christian Dawson (Institut canadien d'études climatologiques). Le modèle statistique de réduction d'échelle SDSM utilise à la fois le générateur stochastique et la régression linéaire multiple, afin de produire des scénarios à échelle fine pour les paramètres météorologiques suivants: précipitation journalière, températures maximales et minimales. La technique consiste à utiliser des relations empiriques entre la variable observée à l'échelle locale appelée prédicand (précipitations) et les variables de grande échelle appelées prédicteurs. Les prédicteurs ou données d'entrée pour les modèles statistiques sont les variables climatiques à grande échelle utilisées par les techniques de downscaling pour générer des variables locales ou prédicands (champs observés) (Chelhaoui, 2013).



FigII.2 : Ecran d'accueil de SDSM

II.3-2. Les différentes étapes du downscaling

Les étapes nécessaires pour produire des scénarios de changements climatiques à haute résolution par la technique SDSM se résume principalement sur cinq étapes décrites ci-dessous :

- ❖ La première étape est le contrôle de la qualité des données. Généralement, il est difficile d'obtenir des données provenant de stations météorologiques qui sont complètes et dépourvues d'incertitudes. Le module « Quality Control » permet de traiter les problèmes mentionnés ci-dessus en aidant à identifier les erreurs dans les données, détection et estimation des données manquantes et de déterminer les valeurs aberrantes. Il y a également une composante de transformation de données qui est exécuté par la fonction « Transform ». Grâce à celle-ci, les données

peuvent être modifiées par un certain nombre de fonctions telles que logarithmiques, puissance, inverse,... etc.

- ❖ La deuxième étape est la sélection des variables prédicteurs qui se fait par le module « Screen Variables ». Le module Screen Variables permet un choix statistique rigoureux des prédicteurs en se basant sur la corrélation entre prédictands et prédicteurs.
- ❖ La troisième étape est le calibrage du modèle qui se fait par le module «Model calibrate». Le calibrage du modèle consiste à calculer les paramètres de l'équation de régression multiple entre prédictand (température moyenne, température maximale, température minimale et précipitations ,évaporation ...) et prédicteurs (Réanalyses NCEP) à l'aide d'un algorithme d'optimisation. Dans cette opération la structure du modèle est choisie entre trois types : mensuel, saisonnier ou annuel. Un choix est aussi fait entre un modèle inconditionnel et un modèle conditionnel. Si le modèle est inconditionnel, un lien direct est assuré entre le prédictand et les prédicteurs. Si le modèle est conditionnel, un processus intermédiaire existe entre le prédictand et les prédicteurs (par exemple : les précipitations dépendent de l'occurrence des jours humides qui dépend à son tour de l'humidité et de la pression atmosphérique).
- ❖ La quatrième étape est la Génération des données sur le climat présent et l'analyse statistique qui se fait par le module « Weather Generator », ce module permet la génération d'un ensemble de séries stochastiques quotidiennes de l'observation locale (prédictand) sur le climat présent à l'aide des modèles calibrés et du générateur de temps intégré dans SDSM. La procédure permet la vérification des modèles calibrés en se basant sur des séries de données indépendantes et certains critères statistiques.
- ❖ La cinquième étape est la génération des scénarios de changements climatiques. Le module «Scenario Generator» permet la génération des scénarios de changements climatiques A1B et A2 à haute résolution pour produire un ensemble de séries quotidiennes pour le climat futur, à l'échelle de la station météorologique. Cette opération de génération des scénarios des changements climatiques A1B et A2 se fait séparément pour chaque scénario et pour chaque paramètre météorologique (température moyenne, température maximale, température minimale, précipitations).(Chelhaoui, 2013)

II.3-3 Présentation de la Méthode utilisée

Dans ce travail la technique de réduction d'échelle est basée sur la méthode de régression linéaire couplée à un générateur stochastique, et qui permet de générer une variable y à p variables explicatives.

Equation de la régression

Etant donné un échantillon $(Y_i, X_{i1}, \dots, X_{ip}) ; i=1, \dots, n$.

Nous cherchons à expliquer avec le plus de précision possible les valeurs prises par Y_i dite variable endogène (prédicte) à partir d'une série de variables explicatives X_{i1}, \dots, X_{ip} (prédicteurs).

Le modèle théorique formulé en termes de variables aléatoires prend la forme

$$Y_i = a_0 + a_1 X_{i1} + \dots + a_p X_{ip} + \varepsilon_i ; i=1 \dots n$$

Où ε_i est l'erreur du modèle exprimée ou résume l'information manquante dans l'explication linéaire des valeurs Y_i à partir des X_{i1}, \dots, X_{ip} (problème de spécifications variables non prise en compte, etc.),

Et a_0, a_1, \dots, a_p sont les paramètres à estimer.

Nous pouvons adopter une écriture condensée qui rend l'écriture et la manipulation de l'ensemble plus facile.

$$Y_1 = a_0 + a_1 X_{1,1} + \dots + a_p X_{1,p} + \varepsilon_1$$

$$Y_2 = a_0 + a_1 X_{2,1} + \dots + a_p X_{2,p} + \varepsilon_2$$

$$Y_n = a_0 + a_1 X_{n,1} + \dots + a_p X_{n,p} + \varepsilon_n$$

Les équations suivantes peuvent être résumées avec la notation matricielle

$$\begin{pmatrix} Y_{11} \\ \vdots \\ Y_{n1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{1,1} & \dots & X_{1,p} \\ \vdots & & \vdots \\ X_{n,1} & \dots & X_{n,p} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{pmatrix}$$

Soit de manière complètes

$$Y = Xa + \varepsilon$$

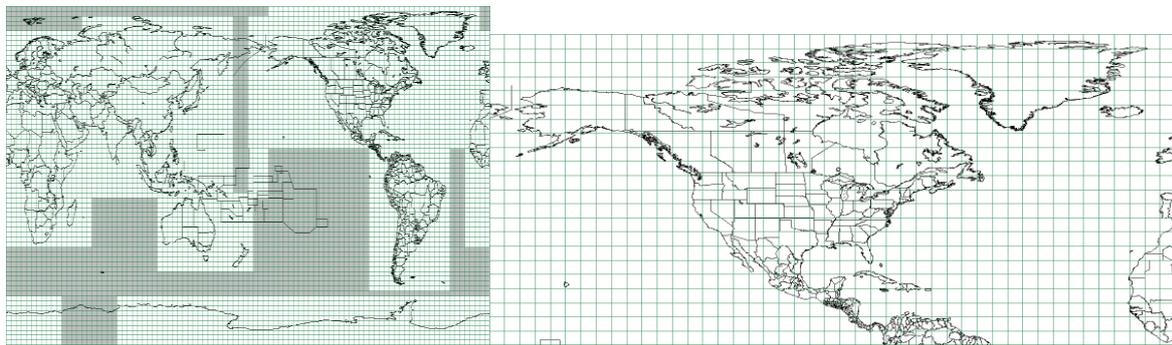
Pour exploiter l'équation citée ci-dessous il nous a fallu des variables endogènes (Prédicant) et exogènes (prédicteurs) (Rakotomala, 2015).

Pour le prédicant ce sont des données d'observation de Ziguinchor de 1961 à 2005.

Par contre pour les prédicteurs une procédure a été adoptée pour sélectionner les plus appropriés pour notre prédicant.

-Tout d'abord l'ensemble des mailles qui intéresse la zone d'étude relative aux grilles des modèles MCGG3 et HadCM3 a été pris en considération.

Les figures 1 et 2 présentent les grilles des deux modèles



a) Model HadCM3 b) Model MCGG3

Figure II.3 Représentation des grilles des modèles HadCM3 (a) et MCGG3 (b)

Ainsi deux mailles de la grille du modèle HadCM3 ont été utilisées et qui sont codifiées comme suit : maille 93X 29Y, maille 93X30Y.

Pour le modèle CGCM3 une maille a été utilisée qui est : maille 84X 21Y.

Le choix du nombre des mailles à tester a été en fonction de la résolution spatiale de la grille du modèle (Rifai, 2014)

En vue des figures on voit que la grille du modèle HadCM3 présente une meilleure résolution spatiale que celle du modèle MCGG3.

-Par la suite dans le site canadien on a extraits des prédicteurs issues de ces deux modèles.

Les tableaux suivant présentent la liste des variables prédicteurs du NCEP tirées de la grille des modèles HadCM3 et MCGM3.

Tableau II.2 Liste des variables prédicteurs du NCEP tirées de la grille du modèle HadCM3

| No | Variable | Description | No | Variable | Description |
|----|----------|------------------------------------|----|----------|--|
| 1 | mslp | Pression au niveau moyen de la mer | 14 | p8_f | Vitesse d'écoulement géostrophique à 850 hPa |

| | | | | | |
|----|------|---|----|------|--|
| 2 | p__f | Vitesse d'écoulement géostrophique à la surface | 15 | p8_u | Composante zonale de vitesse à 850 hPa |
| 3 | p__u | Composante zonale de vitesse à la surface | 16 | p8_v | Composante méridienne de vitesse à 850 hPa |
| 4 | p__v | Composante méridienne de vitesse à la surface | 17 | p8_z | Tourbillon à 850 hPa |
| 5 | p__z | Tourbillon à la surface | 18 | p8th | Direction du vent à 850 hPa |
| 6 | p_th | Direction du vent à la surface | 19 | p8zh | Divergence à 850 hPa |
| 7 | p_zh | Divergence à la surface | 20 | p500 | Hauteur géopotentielle à 500 hPa |
| 8 | p5_f | Vitesse d'écoulement géostrophique à 500 hPa | 21 | p850 | Hauteur géopotentielle à 850 hPa |
| 9 | p5_u | Composante zonale de vitesse à 500 hPa | 22 | r500 | Humidité relative à 500 hPa |
| 10 | p5_v | Composante méridienne de vitesse à 500 hPa | 23 | r850 | Humidité relative à 850 hPa |
| 11 | p5_z | Tourbillon à 500 hPa | 24 | rhum | Humidité relative près de la surface |
| 12 | p5th | Direction du vent à 500 hPa | 25 | shum | Humidité spécifique près de la surface |
| 13 | p5zh | Divergence à 500 hPa | 26 | temp | Température moyenne à 2 m |

Tableau II.2 Liste des variables prédictes du NCEP tirées de la grille du modèle MCG3.

| No | Variable | Description | No | Variable | Description |
|----|----------|---|----|----------|--|
| 1 | mslp | Pression au niveau moyen de la mer | 14 | p8_f | Vitesse d'écoulement géostrophique à 850 hPa |
| 2 | p__f | Vitesse d'écoulement géostrophique à la surface | 15 | p8_u | Composante zonale de vitesse à 850 hPa |
| 3 | p__u | Composante zonale de | 16 | p8_v | Composante méridienne de |

| | | | | | |
|----|------|---|----|------|--|
| | | vitesse à la surface | | | vitesse à 850 hPa |
| 4 | p__v | Composante méridienne de vitesse à la surface | 17 | p8_z | Tourbillon à 850 hPa |
| 5 | p__z | Tourbillon à la surface | 18 | p8th | Direction du vent à 850 hPa |
| 6 | p_th | Direction du vent à la surface | 19 | p8zh | Divergence à 850 hPa |
| 7 | p_zh | Divergence à la surface | 20 | p500 | Hauteur géopotentielle à 500 hPa |
| 8 | p5_f | Vitesse d'écoulement géostrophique à 500 hPa | 21 | p850 | Hauteur géopotentielle à 850 hPa |
| 9 | p5_u | Composante zonale de vitesse à 500 hPa | 22 | prcp | Accumulation de Précipitation |
| 10 | p5_v | Composante méridienne de vitesse à 500 hPa | 23 | s500 | Humidité spécifique à 500 hPa |
| 11 | p5_z | Tourbillon à 500 hPa | 24 | s850 | Humidité spécifique à 850 hPa |
| 12 | p5th | Direction du vent à 500 hPa | 25 | shum | Humidité spécifique près de la surface |
| 13 | p5zh | Divergence à 500 hPa | 26 | temp | Température moyenne à 2 m |

A l'aide de notre logiciel (SDSM), la méthode de la régression linéaire a été employé en utilisant l'ensemble de 26 prédicteurs de chaque maille et les paramètres statistique résultant ont été pris en compte pour sélectionner les prédicteurs dont la relation avec le prédicant de la station est la plus significative.

Chapitre3

RESULTATS ET DISCUSSION

Dans cette partie, nous présentons quelques résultats issus de l'application de logiciel SDSM qui est basé sur l'application de la méthode de la régression linéaire multiple couplée à un générateur stochastique. Le but final de l'application dumodèle statistique consiste à fournir des données à haute résolution sur le climat présent et futur en se basant sur les liens statistiques et à l'aide des variables explicatives issues desorties de modèles globaux (MCG) notamment pour la période à venir(2020-2080).

III.1 Sélection des prédicteurs

La première étape de notre approche qui est une étape cruciale pour la suite, consiste à sélectionner les prédicteurs adéquats. Ces prédicteurs sont des variables atmosphériques qui influencent directement ou indirectement la précipitation (qui est ici le prédicand). Le tableau III.1 présente un exemple de la matrice de corrélation obtenue entre le prédicand et les 12 premiers prédicteurs issus de données de réanalyses NCEP. C'est à partir de cette matrice en se basant sur le coefficient de corrélation que nous choisirons les prédicteurs adéquats. Nous pouvons également nous baser sur les valeurs de coefficients de corrélation partielles ou de leur significativité (en se basant sur les p-values). Il faut noter que le logiciel nous autorise à prendre seulement 12 prédicteurs en même temps. Évidemment la même opération est faite avec les 14 prédicteurs restants.

Tableau III.1 : Exemple de Matrice de corrélation entre prédicand et prédicteurs

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 donneésxx.txt | 1 | 0,037 | -0,076 | -0,108 | 0,038 | -0,123 | 0,073 | -0,103 | 0,260 | 0,218 | 0,101 | 0,243 | -0,292 |
| 2 nceprmslpgl.dat | 0,037 | 1 | -0,105 | -0,202 | 0,170 | 0,805 | 0,090 | -0,020 | 0,152 | 0,127 | 0,233 | 0,289 | -0,338 |
| 3 ncepp1_fgl.dat | -0,076 | -0,105 | 1 | 0,736 | 0,371 | -0,065 | 0,328 | 0,066 | -0,186 | -0,267 | -0,246 | -0,161 | 0,126 |
| 4 ncepp1_ugl.dat | -0,108 | -0,202 | 0,736 | 1 | -0,182 | -0,049 | 0,227 | 0,181 | -0,340 | -0,370 | -0,302 | -0,312 | 0,299 |
| 5 ncepp1_vgl.dat | 0,038 | 0,170 | 0,371 | -0,182 | 1 | -0,015 | 0,252 | -0,122 | 0,251 | 0,111 | 0,142 | 0,319 | -0,288 |
| 6 ncepp850gl.dat | -0,123 | 0,805 | -0,065 | -0,049 | -0,015 | 1 | -0,181 | 0,181 | -0,295 | -0,250 | 0,047 | -0,087 | 0,239 |
| 7 ncepp8thgl.dat | 0,073 | 0,090 | 0,328 | 0,227 | 0,252 | -0,181 | 1 | -0,163 | 0,259 | 0,171 | 0,024 | 0,206 | -0,378 |
| 8 ncepp8zhgl.dat | -0,103 | -0,020 | 0,066 | 0,181 | -0,122 | 0,181 | -0,163 | 1 | -0,383 | -0,268 | -0,052 | -0,192 | 0,342 |
| 9 ncepprcpgl.dat | 0,260 | 0,152 | -0,186 | -0,340 | 0,251 | -0,295 | 0,259 | -0,383 | 1 | 0,623 | 0,534 | 0,701 | -0,796 |
| 10 nceps500gl.dat | 0,218 | 0,127 | -0,267 | -0,370 | 0,111 | -0,250 | 0,171 | -0,268 | 0,623 | 1 | 0,385 | 0,445 | -0,601 |
| 11 nceps850gl.dat | 0,101 | 0,233 | -0,246 | -0,302 | 0,142 | 0,047 | 0,024 | -0,052 | 0,534 | 0,385 | 1 | 0,556 | -0,324 |
| 12 nceps8umgl.dat | 0,243 | 0,289 | -0,161 | -0,312 | 0,319 | -0,087 | 0,206 | -0,192 | 0,701 | 0,445 | 0,556 | 1 | -0,767 |
| 13 nceptempgl.dat | -0,292 | -0,338 | 0,126 | 0,299 | -0,288 | 0,239 | -0,378 | 0,342 | -0,796 | -0,601 | -0,324 | -0,767 | 1 |

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | |
|----|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | donneesxx.txt | 1 | -0,036 | -0,070 | 0,076 | -0,061 | 0,072 | 0,026 | 0,142 | -0,007 | 0,043 | 0,099 | 0,122 | -0,123 |
| 2 | ncepp1_zgl.dat | -0,036 | 1 | 0,204 | -0,644 | 0,060 | -0,057 | -0,072 | 0,060 | 0,035 | 0,101 | -0,118 | 0,609 | -0,248 |
| 3 | ncepp1thgl.dat | -0,070 | 0,204 | 1 | -0,078 | 0,097 | -0,114 | -0,297 | -0,142 | -0,013 | 0,182 | -0,100 | -0,253 | 0,017 |
| 4 | ncepp1zhgl.dat | 0,076 | -0,644 | -0,078 | 1 | -0,061 | 0,051 | 0,045 | -0,023 | 0,005 | -0,131 | 0,112 | -0,411 | 0,221 |
| 5 | ncepp5_fgl.dat | -0,061 | 0,060 | 0,097 | -0,061 | 1 | -0,972 | -0,124 | -0,136 | -0,153 | 0,034 | -0,333 | -0,113 | 0,053 |
| 6 | ncepp5_ugl.dat | 0,072 | -0,057 | -0,114 | 0,051 | -0,972 | 1 | 0,139 | 0,116 | 0,151 | 0,014 | 0,366 | 0,130 | -0,070 |
| 7 | ncepp5_vgl.dat | 0,026 | -0,072 | -0,297 | 0,045 | -0,124 | 0,139 | 1 | 0,086 | -0,151 | -0,019 | -0,065 | 0,159 | 0,059 |
| 8 | ncepp5_zgl.dat | 0,142 | 0,060 | -0,142 | -0,023 | -0,136 | 0,116 | 0,086 | 1 | -0,012 | -0,013 | 0,173 | 0,419 | -0,354 |
| 9 | ncepp5zhgl.dat | -0,007 | 0,035 | -0,013 | 0,005 | -0,153 | 0,151 | -0,151 | -0,012 | 1 | -0,018 | 0,015 | 0,050 | -0,042 |
| 10 | ncepp8_fgl.dat | 0,043 | 0,101 | 0,182 | -0,131 | 0,034 | 0,014 | -0,019 | -0,013 | -0,018 | 1 | 0,108 | 0,073 | -0,097 |
| 11 | ncepp8_ugl.dat | 0,099 | -0,118 | -0,100 | 0,112 | -0,333 | 0,366 | -0,065 | 0,173 | 0,015 | 0,108 | 1 | 0,213 | -0,247 |
| 12 | ncepp8_zgl.dat | 0,122 | 0,609 | -0,253 | -0,411 | -0,113 | 0,130 | 0,159 | 0,419 | 0,050 | 0,073 | 0,213 | 1 | -0,408 |
| 13 | ncepp850gl.dat | -0,123 | -0,248 | 0,017 | 0,221 | 0,053 | -0,070 | 0,059 | -0,354 | -0,042 | -0,097 | -0,247 | -0,408 | 1 |

En utilisant un méthode de régression, un ensemble de 26 prédicteurs issus des ré-analyses NCEP ont été testés afin de détecter les prédicteurs les adéquats à décrire la précipitation. La méthode de régression a été utilisée avec un seuil de signification de 0,10. Ce seuil est assez faible et s'explique par le fait qu'il est difficile de simuler les précipitations à l'échelle locale à partir des variables atmosphérique de grande échelle.

Le tableau III.2 résume les prédicteurs qui sont à mieux de décrire la précipitation à Ziguinchor, et qui ont été choisis sur la base des valeurs du coefficient de corrélation.

Tableau III.2 : Prédicteurs sélectionnés pour décrire la précipitation à Ziguinchor

| Coefficient de corrélation | Numéro des prédicteurs sélectionnés | Prédicteurs sélectionnées |
|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| 0.260 | 09 | Géopotential à 500hpa |
| 0.218 | 10 | Humidité à 500hpa |
| 0.243 | 12 | Humidité spécifique à la surface |
| 0.142 | 20 | Divergence a 500hpa |
| 0.122 | 24 | Divergence a 850hpa |

Après le choix des meilleurs prédicteurs, nous établissons la relation entre les prédicteurs et le prédicteand. Cette phase est la phase de calibration et est fait avec les réanalyses NCEP. Après cette partie, notre modèle est alors calé. Nous pouvons dès lors générer des pluies génériques en utilisant les même prédicteurs obtenus à partir de NCEP avec les modèles globaux que nous avons choisi c'est à dire HadCM3 et CCGM3. A partir des précipitations génériques, nous avons calculé un ensemble de paramètres statistiques et nous les avons comparés avec les observations.

III.2 Comparaison de paramètres statistiques simples et liés à la précipitation

Après la calibration de notre modèle statistique de réduction d'échelle, nous avons construit nos précipitations génériques à partir des prédictors de grande échelle issus du modèle CCGM3 et du modèle HadCM3 en se basant toujours sur des régressions linéaires multiples.

Un certain nombre de paramètres statistiques à l'échelle mensuelle notamment, la moyenne, le maximum, le minimum et la variance de précipitation sont ainsi calculée. Il en va de même de paramètres liés aux précipitations, telle que la durée (jours) des périodes de séquences humides et sèches obtenues à la fois à partir des données observées et à partir des précipitations construites avec le modèle de réduction d'échelle via les modèles globaux HadCM3 et CCGM3 pour chaque mois civile.

Le Tableau suivant (III.3) donne les valeurs des différents paramètres statistiques obtenus à partir des données d'observation de précipitations de la station de Ziguinchor.

Tableau III.3 : Statistique Observation

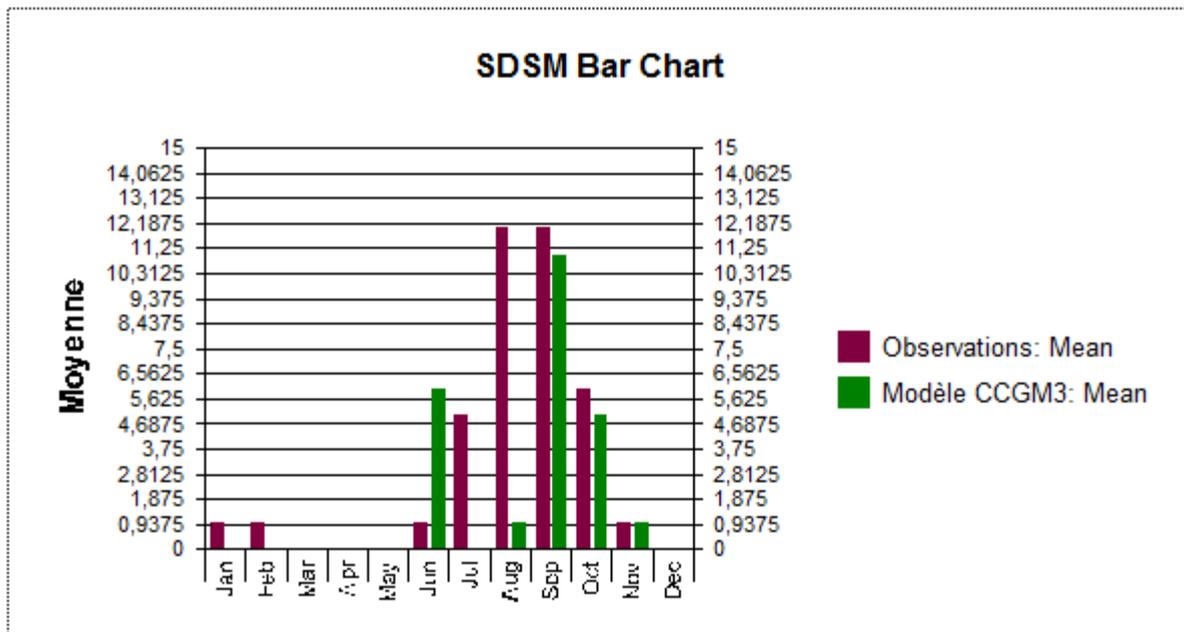
| Month | Mean | Maximum | Minimum | Variance | Sum | Dry-spell | Wet-spell |
|-----------|--------|---------|---------|----------|---------|-----------|-----------|
| January | 1,077 | 6,900 | 0,100 | 3,457 | 0,326 | 25,385 | 1,444 |
| February | 1,317 | 4,400 | 0,100 | 2,210 | 0,367 | 23,569 | 1,500 |
| March | 0,580 | 1,100 | 0,300 | 0,090 | 0,067 | 28,870 | 1,667 |
| April | 0,300 | 0,300 | 0,300 | 0,000 | 0,007 | 29,295 | 1,000 |
| May | 1,650 | 11,000 | 0,100 | 7,180 | 0,844 | 23,000 | 1,467 |
| June | 8,624 | 85,600 | 0,100 | 153,313 | 36,902 | 7,628 | 1,658 |
| July | 12,574 | 115,000 | 0,100 | 227,670 | 176,912 | 2,822 | 2,327 |
| August | 17,379 | 140,200 | 0,100 | 470,524 | 385,986 | 1,758 | 4,189 |
| September | 16,796 | 230,800 | 0,100 | 445,253 | 384,747 | 1,540 | 4,378 |
| October | 12,881 | 142,000 | 0,100 | 264,504 | 214,784 | 2,378 | 2,737 |
| November | 10,706 | 126,000 | 0,100 | 225,804 | 45,812 | 8,014 | 1,688 |
| December | 7,115 | 47,600 | 0,100 | 144,457 | 3,309 | 23,873 | 1,429 |

Ce tableau qui regroupe la précipitation moyenne mensuelle, le maximum et le minimum de précipitation mensuelle, la variance moyenne mensuelle, ainsi que le nombre jours de séquence pluvieuse et sèche obtenus à partir des observations de la station de Ziguinchor, nous servira de référence pour valider les mêmes paramètres obtenus à partir des précipitations génériques (générées) obtenues avec les prédictors des modèles. L'objectif est de voir lequel des deux modèles sera à même de se rapprocher des observations.

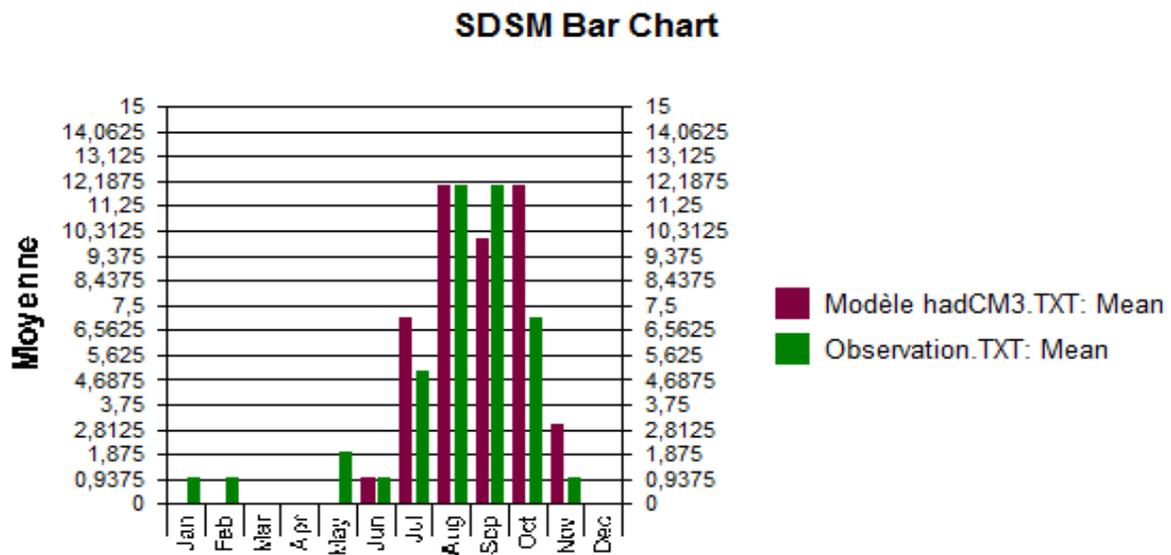
III.2.1. Précipitation moyenne mensuelle entre observation et Modèles

La figure III.1 représente la moyenne mensuelle des précipitations sur notre zone d'étude de 1961 à 2005 obtenue avec la précipitation mesurée à la station de Ziguinchor comparée à celle générée par l'intermédiaire des modèles CCGM3 (fig. III.1.a) et hadCM3 (fig. III.1.b). L'analyse de figure montre que le modèle CCGM3 surestime la précipitation moyenne au mois de juin (Fig. III.1a). Par contre, il sous-estime la précipitation moyenne observée au mois d'août, septembre et octobre avec des intensités différentes. En effet, le modèle CCGM3, sous-estime fortement la précipitation au mois d'août (12 mm/jours pour l'observation et 0,9375 mm/jour pour le modèle CCGM3) alors que pour le mois de septembre et octobre l'écart n'est pas très important. Cependant, il faut remarquer que le modèle ne parvient pas à représenter la précipitation au mois de juillet. Il en est de même que les précipitations observées au mois de janvier et février qui correspondent généralement à des pluies hors saison ou pluies des mangues.

Les mêmes analyses que précédemment ont été effectuées entre les observations de la station de Ziguinchor et la précipitation générique obtenue avec le modèle HadCM3 (figure III.1.b). Nous remarquons que le modèle hadCM3 donne des tendances mitigées à l'intérieur de la saison. En effet, le modèle représente bien les précipitations du mois de juin et août ; par contre il surestime les précipitations des mois de juillet, octobre et novembre et sous-estime la précipitation au mois de septembre. Evidemment le modèle ne représente pas les précipitations hors saison. En comparant les pluies générées avec les modèles CCGM3 et HadCM3, nous constatons que le modèle HadCM3 donne une meilleure représentation de la précipitation à Ziguinchor pendant la saison des pluies. Ce résultat s'explique probablement par la différence de résolution spatiale entre les deux modèles. En effet, les processus atmosphériques qui interviennent dans la formation de la précipitation à Ziguinchor, semblent être mieux représentés dans le modèle HadCM3 que dans le modèle CCGM3. Le non reproduction des précipitations hors saisons par les modèles, peut s'expliquer par le fait que ce type de précipitation n'est pas dû aux conditions locales. En effet, une intrusion de vents froids venant du nord rencontrent des vents chauds dans nos latitudes et forment un front qui donne ces précipitations hors saisons. Donc les précipitations générées à partir de paramètres locaux ne pourront pas représenter ces types de précipitations.



(a) comparaison modèle CCGM3 et observation

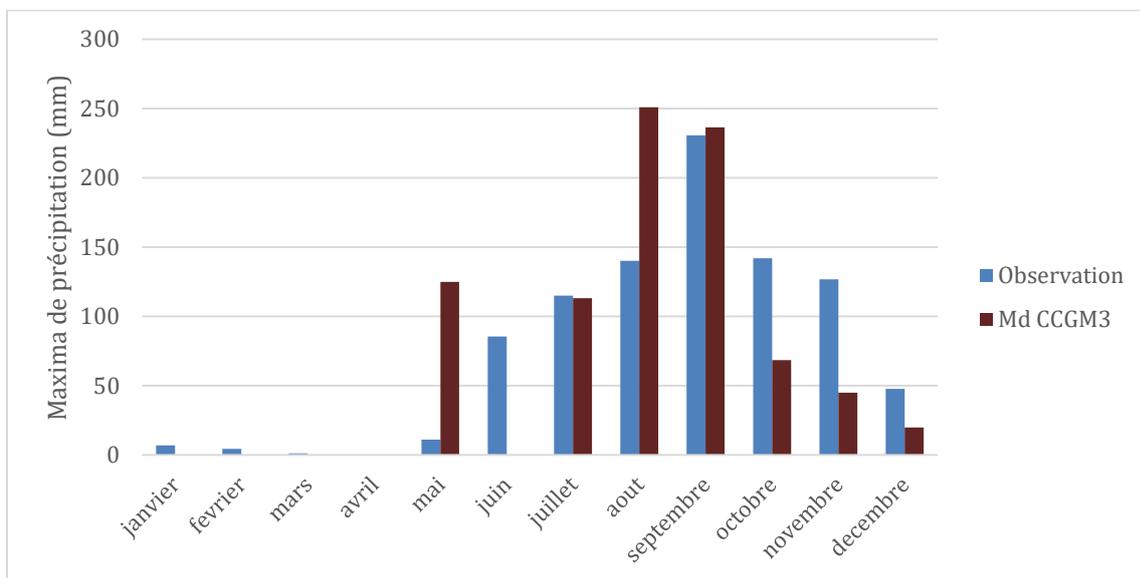


(b) Comparaison Modèle hadCM3 et Observation

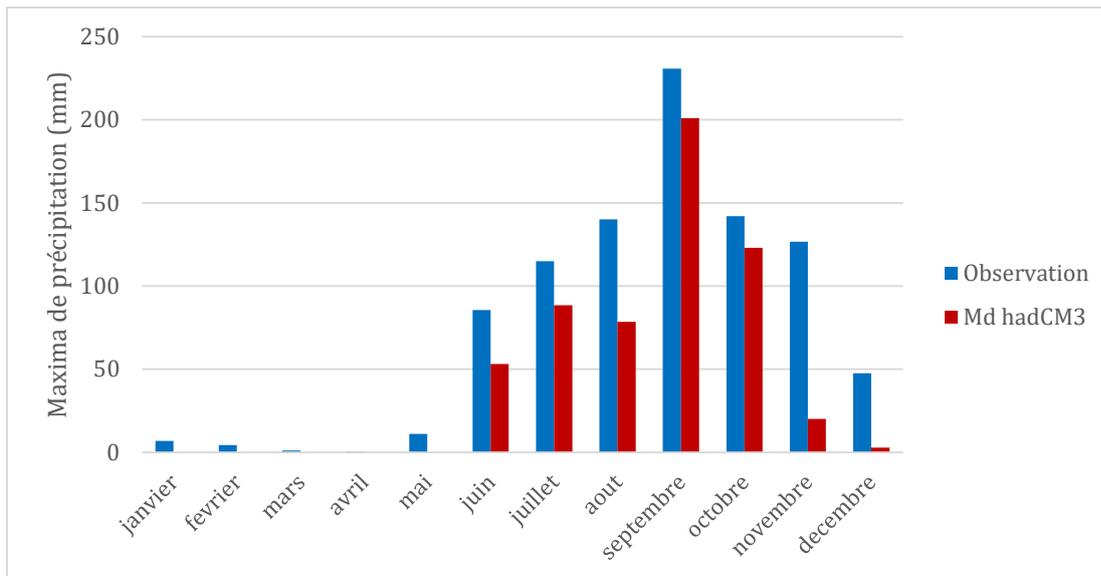
Figure III.1. Validation de la précipitation moyenne (mm/jours) obtenue à partir des précipitations génériques de CCGM3 (a) et HadCM3 (b) (référence : précipitation de la station de Ziguinchor)

III.2.2.Moyenne précipitation maximale mensuelle entre observation et Modèles

Nous avons comparé les précipitations moyennes maximales obtenues à la station de Ziguinchor avec celles générées à partir des deux modèles. La figure III.2représentent les maxima moyens de précipitation sur la station de Ziguinchor de 1961 à 2005 ainsi ceux générés à partir de prédicteurs des modèles CCGM3 et HadCM3. L'analyse des figures montre bien que les modèles reproduisent bien qualitative la période où nous observons les maximas c'est à dire de juin à octobre et plus spécifiquement au mois de aout et septembre. L'analyse quantitative montre bien des différences entre le produit des deux modèles. En effet, les précipitations maximales obtenues avec le modèle CCGM3 (Fig. III.2.a) sont surestimées pendant les mois de mai et aout, et sous-estimées pendant les mois d'octobre, novembre et décembre. Le modèle CCGM3 ne montre aucune précipitation maximale au mois de juin. Une situation quasi-inverse est observée avec le modèle hadCM3 (Fig. III.2.b). En effet, les maxima de précipitation obtenus à partir du modèle HadCM3 sont sous-estimés pendant toute la saison de juin à octobre avec pratiquement les mêmes proportions. Ce résultat montre que le modèle hadCM3 donne un résultat (quantité sous-estimée) assez constant sur l'ensemble de la saison alors que le modèle CCGM3 donne des caractéristiques quantitatives souvent le mois de la saison.



(a) Maxima des précipitation entre l'observation et le modèle CCGM3



(b) Maxima des précipitation entre l'observation et le modèle hadCM3

Figure III.2. Validation de la précipitation maximale moyenne mensuelle (mm/jours) obtenue à partir des précipitations génériques de CCGM3 (a) et HadCM3 (b) (référence : précipitation de la station de Ziguinchor)

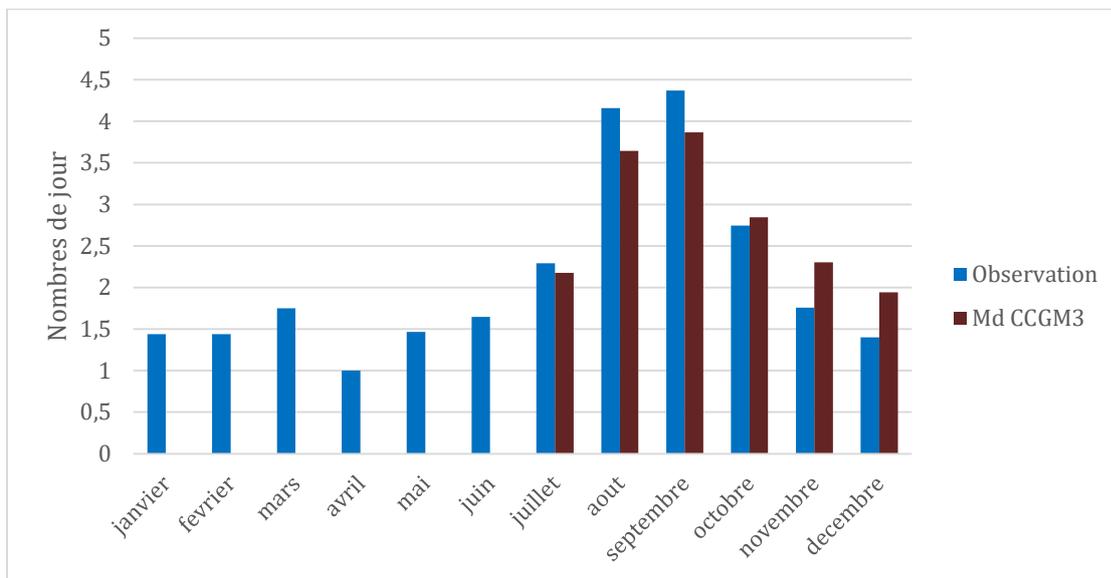
III.2.3. Nombre de jours consécutifs pluvieux entre observation et modèles

Une des informations importantes pour l'agriculture et sur le choix des variétés agricoles est le nombre de jours consécutifs de précipitation. Dans cette partie, nous analysons le nombre de jours consécutifs de précipitation obtenu à partir de la précipitation observée à la station de ziguinchor et ceux obtenus à partir des modèles CCGM3 et hadCM3. La figure III.6 représente les séquences de jours pluvieux entre l'observation et les modèles.

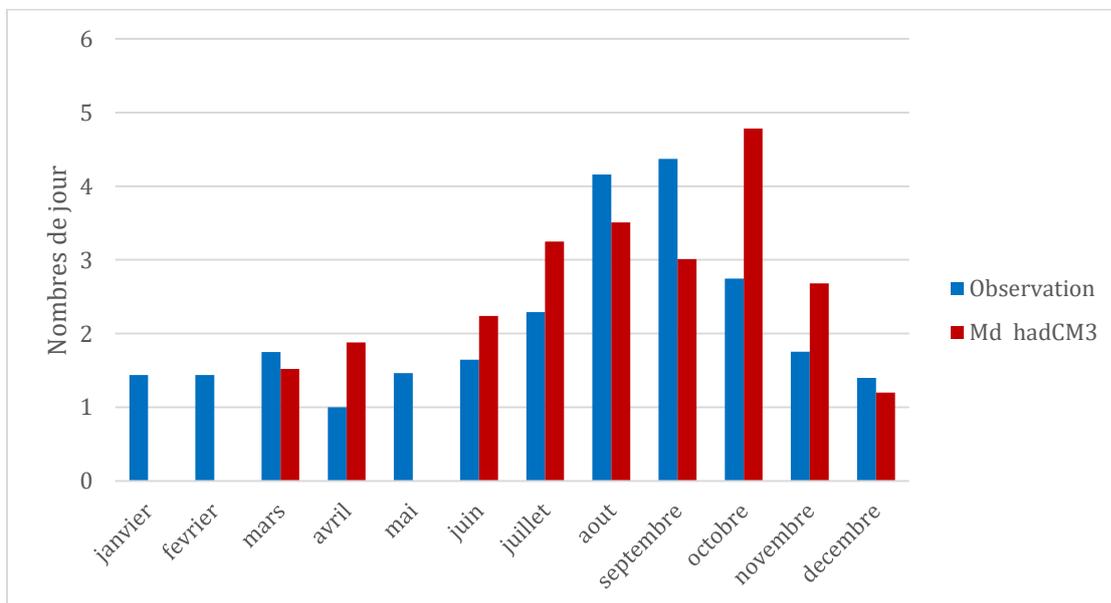
Nous constatons globalement que les nombres importants de séquence se situent entre juillet-octobre et varient de 2 à 4 jours. Nous constatons qu'ici tous les autres mois enrégistrent des valeurs surtout avec l'observation. En effet, entre janvier et mai qui constitue la saison sèche, nous observons des séquences pluvieux d'un jour à un jour et demi. Cette situation s'explique par deux raisons d'abord par le fait qu'on fait une moyenne sur l'ensemble des années et ensuite les précipitations hors saison et les précipitations sous forme de trace sont objectivement pris en compte par les paramètres du logiciel SDSM..

L'analyse comparative entre observation et modèle montre que le modèle CCGM3 sous estime les séquences pluvieux pendant les mois de juillet, août et septembre (Fig.III.3.a). Il donne cependant des séquences pluvieuses supérieurs à ceux obtenus à partir de l'observation notamment pour les mois de octobre à décembre. Il faut signaler que les séquences

pluvieuses au mois de juin ne sont pas observés par le modèle. Le modèle hadCM3 quant à lui, surestime les séquences pluvieuses au début (juin, juillet) et à la fin (octobre, novembre) de la saison des pluies, alors qu'il les sous-estime au cœur de la saison (Fig.III.3.b). il faut noter également que le modèle hadCM3 présente des séquences en dehors de la saison. Nous remarquons que les modèles donnent des caractéristiques similaires au cœur de la saison où tous les deux sous-estiment les séquences de jours pluvieux.



(a) Séquences de jour pluvieux observés avec l'Observation et le modèle CCGM3



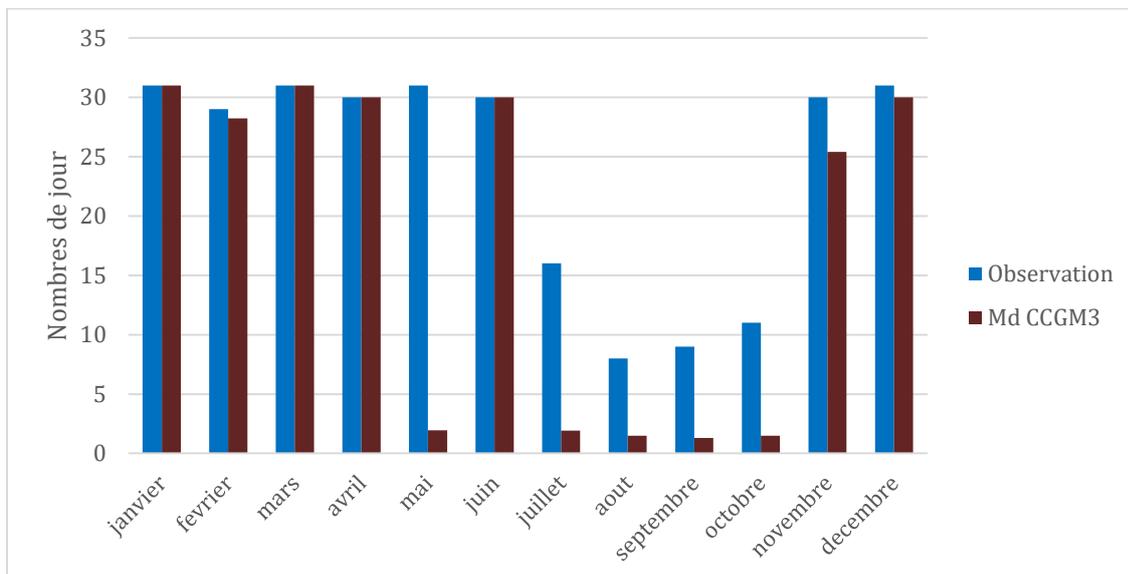
(b) Séquences de jour pluvieux observés avec l'observation et le modèle hadCM3

Fig III.3 : Séquence de jours pluvieux obtenus avec Observation et Modèles

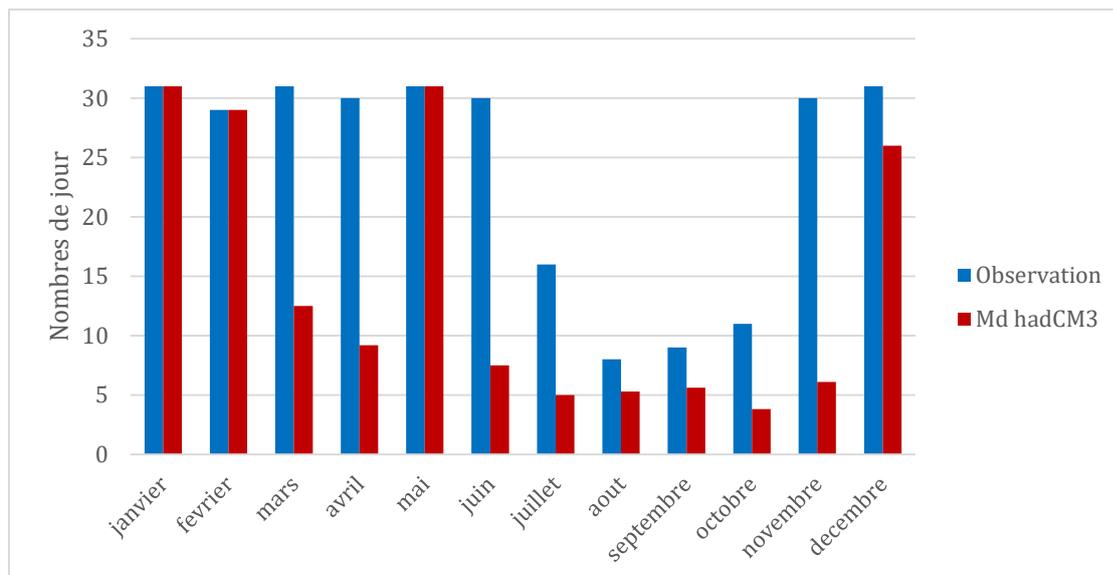
III.2.4 Séquences de jour sec (Observation et Modèle)

Nous avons évalué également les séquences de jours secs car elles constituent un paramètre aussi important que les séquences humides. La figure III.4 représente les séquences de jours secs obtenus avec l'observation de la station de Ziguinchor et les modèles. Ces séquences caractérisent le nombre de jours consécutif sans pluie.

L'observation montre ici que les deux saisons sont assez visibles. Une saison des pluies variant de juillet en octobre avec des séquences plutôt faibles pouvant varier de 7 à 15 jours ; et une saison sèche typique avec des séquences de jours secs qui varient de 29 à 31 jours. Ces caractéristiques sont relativement prévisibles même si on observe souvent des pluies hors saison, la moyenne qu'on ait deux jours successifs de précipitation sur la longueur de nos données, reste relativement faible. Les mêmes caractéristiques sont reproduites par les modèles. Le modèle CCGM3 sous-estime totalement les séquences sèches données par l'observation pendant la saison des pluies de juillet à octobre (Fig.III.4a.) ; cependant il suit assez bien les séquences sèches des autres mois même si un « beugue » du modèle est observé au mois de mai. La même tendance est obtenue avec le modèle hadCM3, mais à la différence du modèle CCGM3, il sous-estime beaucoup moins les séquences sèches pendant la saison pluvieuse mais avec des valeurs aberrantes pour les mois de mars et avril.



a) Séquences de jours secs obtenus avec l'observation et le modèle CCGM3



b) Séquences de jours secs obtenus avec l'observation et le modèle hadCM3

Figure III.4: Séquences de jours secs obtenus avec l'observation et les modèles

III.3. Période de retour des précipitations

Pour caractériser les tendances générales et une classification des événements pluvieux, nous avons analysé les périodes de retour de précipitation suivant différentes intensités en se basant sur notre période d'étude de 1961-2005.

La période de retour ou temps de retour caractérise le temps statistique entre deux occurrences d'un événement naturel d'une intensité donnée. Ce temps de retour T est défini alors comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'événement.

Les tableaux III.4 et III.5 donnent directement les périodes de retour pour différentes intensités de précipitation obtenues à partir de l'observation et des Modèles. Ces périodes de retour sont représentées sur la figure III.5

L'analyse des résultats montre plus l'intensité des précipitations est élevée plus grande est la période de retour de l'événement. A titre d'exemple, sur le tableau III.4, pour avoir un événement pluvieux avec une intensité de 178,650 mm/h, il faudra attendre 100 ans au minimum. Par contre pour une pluie d'intensité 88 mm/h, on a la probabilité de les avoir en moyenne tous les 2 ans. Cette observation confirme des principes liés à la pluviosité et qui stipule : (i) pour une même fréquence d'apparition, donc un même temps de retour, l'intensité d'une pluie est d'autant plus forte que sa durée est courte ; (ii) ou encore en corollaire, à durée de pluie égale, une précipitation sera d'autant plus intense que sa fréquence d'apparition sera petite (donc son temps de retour sera grand).

Par ailleurs, nous constatons que les deux modèles surestiment largement l'intensité des événements pluvieux caractérisés par différentes périodes de retour obtenus à partir des précipitations observées sur la station de Ziguinchor. Néanmoins le modèle hadCM3 semble beaucoup plus proche des observations par rapport au modèle CCGM3. Ceci pourrait s'expliquer d'une part par la résolution du modèle mais également par la complexité des processus qui entre en jeu dans la formation des précipitations extrêmes.

La détermination de ces périodes de retour des événements extrêmes caractérise l'aléa climatique des pluies intense dans notre zone d'étude (Ziguinchor), où l'activité de la population se base largement sur l'agriculture. Donc une bonne information sur la fréquence de ces événements aide à fournir des éléments pour la prise de décision dans le secteur agricole et, en particulier dans la riziculture des vallées dans la zone.

Tableau III.4 : Période de Retour des Maxima de précipitation entre observation et modèle hadCM3

| PERIODE DE REOUR | OBSERVATION | MODEL |
|-------------------------|--------------------|-----------------|
| 100 | 178,650 | 442,285 |
| 50 | 166,523 | 412,667 |
| 30 | 156,920 | 389,640 |
| 20 | 148,840 | 370,499 |
| 15 | 142,828 | 356, 375 |
| 10 | 133,898 | 335, 375 |
| 05 | 117,027 | 296,589 |
| 04 | 110,996 | 282,753 |
| 03 | 102,581 | 263,499 |
| 02 | 88,788 | 232,031 |

Tableau III.5 : Période de Retour des Maxima de précipitation entre observation et modèle CCGM3

| PERIODE DE REOUR | OBSERVATION | MODEL |
|-------------------------|--------------------|----------------|
| 100 | 178,650 | 605,592 |
| 50 | 166,523 | 566,569 |
| 30 | 156,920 | 536,189 |
| 20 | 148,840 | 510,932 |
| 15 | 142,828 | 492,300 |
| 10 | 133,898 | 464,850 |
| 05 | 117,027 | 413,598 |
| 04 | 110,996 | 395,443 |

| | | |
|-----------|----------------|----------------|
| 03 | 102,581 | 370,228 |
| 02 | 88,788 | 329,157 |

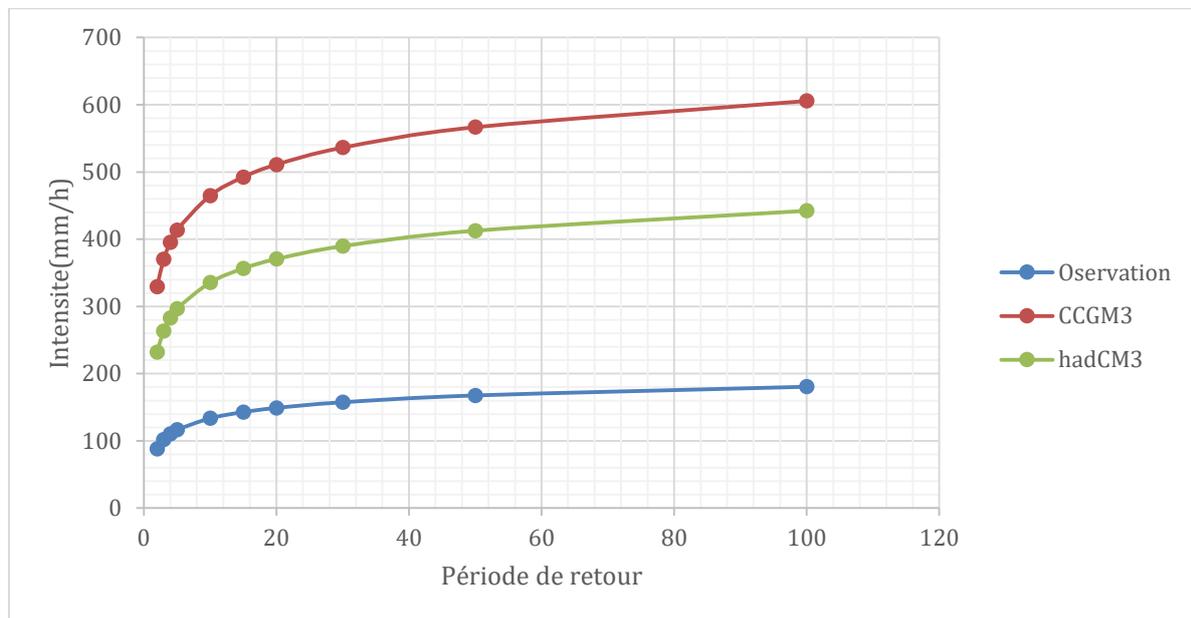
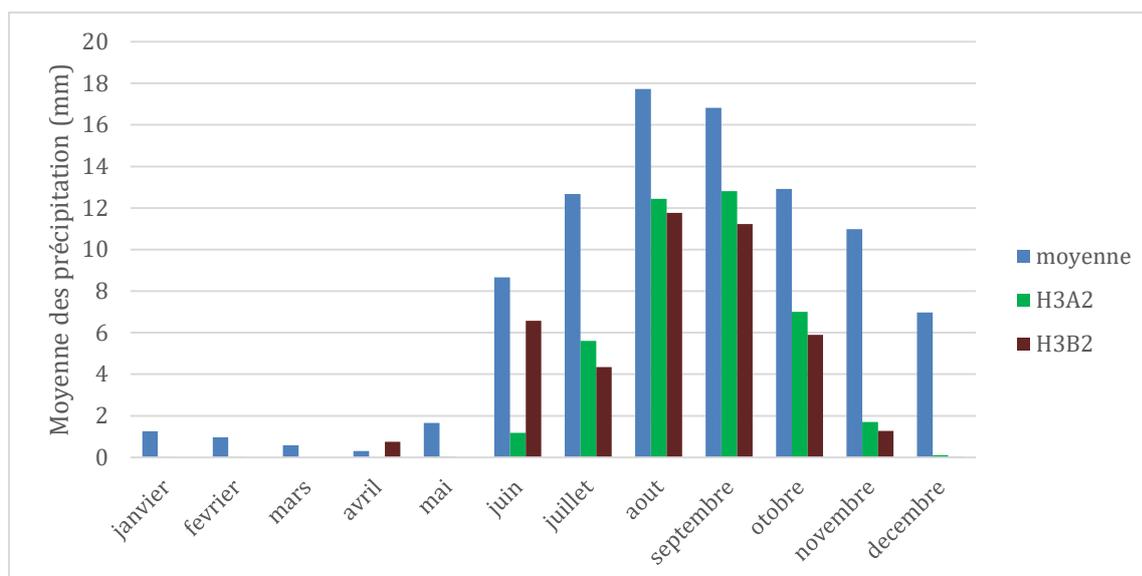


Fig III.5 : Période de retour entre observation et modèles(CCGM3 et hadCM3)

III.4 Futures scénarios de précipitations

Afin d'évaluer les évolutions probables de la précipitation dans le cadre d'un changement climatique, les précipitations de la période 1961-2005 considérées comme temps présent seront comparées aux précipitations probables de la période 2006-2099 considérée comme précipitation future prédit à l'aide du modèle hadCM3, avec deux types de scénarios: H3A2 et H3B2. La figure III.6 montre les précipitations moyennes obtenues à partir du modèle hadCM3 avec les deux scénarios.



FigIII.6 : Comparaison des précipitations moyenne entre le temps présent et futur

L'analyse comparative montre qu'il y'aura une diminution des précipitations durant la période à venir suivant qu'on considère les scénarios H3A2 ou le scénario H3B2. Cependant une légère différence est observée entre ces deux scénarios. En effet, on remarque que le scénario H3B2 prévoit la diminution plus importante que le scénario H3A2. Cette différence s'explique probablement par les hypothèses qui sous-tendent ces scénarios. En effet, le scénario A2 décrit un monde très hétérogène caractérisé par une forte croissance démographique, un faible développement économique et de lent progrès technologique ; alors que le scénario B2 décrit un monde caractérisé par des niveaux intermédiaires de croissances démographique et économique, privilégiant l'action locale pour assurer une durabilité économique sociale et environnementale. Donc, on constate bien que l'action locale intervient dans la modification des paramètres locaux qui interviennent dans les processus météorologiques comme la précipitation.

Il faut également noter que ses résultats sur la diminution des précipitations dans la zone d'étude sont en concordance avec les prévisions du GIEC pour l'Afrique de l'Ouest. Cependant, force est de constater que la validation des résultats relatifs à l'amplitude de cette diminution n'est pas confirmée. Il demeure encore difficile de trouver un consensus fiable entre les modèles pour établir une relation statistique fiable entre les variables à grandes échelles et les données historiques des précipitations de notre station.

Conclusion et perspectives

La réduction d'échelle de la précipitation que nous avons effectué avec le modèle SDSM s'est basée sur le choix de prédicteurs adéquats qui entrent en jeu dans le processus de formation de la précipitation, et nous a permis de réduire un ensemble de paramètres statistiques liés aux précipitations. Nous avons observé les maxima de précipitation de juin en octobre caractérisant la saison des pluies à Ziguinchor, ces maxima sont bien représentés par les modèles utilisés avec des caractéristiques différentes. C'est le cas également pour la variation des nombres de jours successifs pluvieux et secs. Pour les jours pluvieux, on voit que l'intervalle Juillet- Octobre enregistre le nombre le plus important de jours variant de 3 à 5 jours, que les valeurs importantes de jours sec sont observées en dehors de la saison des pluies variant entre 29,30 et 31. Ces variations sont également capturées par les modèles avec des scores différents.

L'application de cette méthode de réduction d'échelle nous a permis aussi de générer des périodes de retour c'est-à-dire le temps statistique entre deux occurrences d'un évènement naturel donné. Cette représentation a pour but de classer les évènements pluvieux au niveau de notre zone d'étude afin d'orienter les agriculteurs sur la prise de décision dans le secteur agricole.

Afin d'évaluer les évolutions probable de la précipitation dans le temps futur, la qualité de deux modèles hadCM3 et CCGM3 ont été analysées en utilisant les données d'observation. Ce qui nous permis part ailleurs de constater que le modèle hadCM3. Par la suite avec les scénarios A2 et B2 du modèle hadCM3 nous avons comparé les précipitations de 1961-2005 aux précipitations probable que pourraient observer notre zone d'étude au temps 2006 à 2099. Cette projection nous a permis de constater qu'une diminution des précipitations sera observée dans notre zone d'étude selon ces deux scénarios et cela est en accord avec les conclusions du GIEC pour l'Afrique de l'Ouest.

En perspectives il serait souhaitable de poursuivre ce travail pour vérifier d'une part la validité de notre modèle déjà calibré en augmentant le nombre de stations, c'est-à-dire en prenant 3 ou plus au niveau de la base Casamance et 2 autres un peu plus loin par exemple Dakar et Saint Louis mais également en utilisant d'autres modèles notamment ceux utilisés dans le cadre du programme CIMP5. Il sera également judicieux de comparer nos résultats en utilisant d'autres techniques de réduction notamment celles utilisant les réseaux de neurones ou bien utilisant les techniques de non homogénéité de Markov.

Et enfin, contenu de l'intérêt des résultats pour les études d'impacts, cette technique de réduction d'échelle pourrait tester sur l'ensemble des stations du Sénégal mais également de l'Afrique de l'Ouest.

Références Bibliographique :

- Bellone, E., Hughes, J.P. and Guttorp, P. 2000.** A hidden Markov model for relating synoptic scale patterns to precipitation amounts. *Climate Research*, 15, 1-12.
- **Bokoye, 2007 :** Approches méthodologiques et outils de l'évolution des Changements climatiques
- Coulibaly, P., Anctil, F., Ramussen, P. et Bobée, B. 2000.** A recurrent neural networks approach using indices of low-frequency climatic variability to forecast regional annual runoff. *Hydrological Processes*, 14(15), 2755-2777.
- Charles, S., Bates, B., and Hughes, P. 1999.** A spatio-temporal model for downscaling precipitation occurrence and amounts. *J. Geoph. Res.*, 104, 31657-31669.
- Charles, S., Bates, B. and Vilney, N. 2003.** Linking atmospheric circulation to daily rainfall patterns across the Murrumbidgee River Basin. *Water Science and Technology*, 48, 223-240.
- Chelhaoui, 2013 :** Evolution des changements climatiques locaux via le Modèle SDSM pour une zone de montagne et une zone de plaine.
- Cheng, S and Kalkstein LS, 1993.** An evaluation of climate change in Phoenix using an automatic synoptic climatological approach. *World Resource Review*, 5, 180–189.
- **Diarra, 2010 :** Impact des changements climatique en Afrique de l'ouest
- Eastaugh, ch, 2010 :** Adaptation des forets Africaines aux changements climatique.
- Fowler, H. J., C. G. Kilsby, et al. 2000.** A stochastic rainfall model for the assessment of regional water resource systems under changed climatic conditions. *Hydrology and Earth System Sciences* 4(2): 263-282.
- Hammami, 2012 :** Sélection des prédicteurs pour la mise en l'échelle des données MCG par la Méthode LASSO.
- Hughes, J.P. and Guttorp, P. 1994.** A class of stochastic models for relating synoptic atmospheric patterns to regional hydrologic phenomena. *Water Resour. Res.* 30, 1535-1546.
- Katz, R. W. and M. B. Parlange. 1998.** Overdispersion phenomenon in stochastic modeling of precipitation. *J. Climate*, 11, 591–601.
- Kilsby, C. G., Cowpertwait, P.S.P., O'Connell, P.E. and Jones, P.D., 1998.** Predicting rainfall statistics in England and Wales using atmospheric circulation variables. *Int. J. Climatol.*, 18, 523–39.

- Mearns, L.O., C. Rosenzweig, and R. Goldberg. 1996.** The effect of changes in daily and interannual climatic variability on CERES-Wheat: A sensitivity study. *Clim. Change* 32:257–292.
- Racsco, P., Szeidl, L. et Semenov, M.A.1991.** A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modelling* 57, 27-41
- **Rakotomalala, 2015 :** Pratique de la régression Linéaire Multiple (Diagnostic et sélection de Variable
- Richardson, C.W. 1981.** Stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation. *Water Resources Research*, 17, 182-190
- Richardson, C.W. et Wright, D.A. 1984.** WGEN: a model for generating daily weather variables. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-8, 83pp.
- Rifai, N, 2004.** Impact du changement climatique sur les températures journalières minimale et maximale et les précipitations de la région de Tanger quantifié à partir d'une méthode de descente d'échelle statistique.
- Robertson, A.W., Kirshner, S. and Smyth, P. 2004.** Downscaling of daily rainfall occurrence over Northeast Brazil using a Hidden Markov Model, *J. Climate*, 17, 4407-4424.
- Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M. et Richardson, C.W. 1998.** Comparison of the WGEN et LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research*, 10, 95-107
- Schmidli J, Frei C, Vidale PL 2006.** Downscaling from GCM precipitation: a benchmark for dynamical and statistical downscaling. *Int J. Climatol.* 26:679–689.
- Wilks, D.S., and R.L. Wilby, 1999.** The weather generation game: a review of stochastic weather models. *Progress in Physical Geography*, 23, 329-357.
- Zorita E, Hughes JP, Lettemaier DP, von Storch H. 1995.** Stochastic characterization of regional circulation patterns for climate model diagnosis and estimation of local precipitation. *J. Clim.*, 8:1023–1042.
- Zucchini, W. and Guttorp, P. 1991.** A hidden Markov model for space-time precipitation. *Water Resour. Res.*, 27, 1917-1923.
- Keita, 2013 :** La Mutation des terres agricole autour de Ziguinchor

Webographie

www.canada.gc.ca

www.performancesconsulting.com

