



## Sommaire

|  |    |
|--|----|
| Sommaire.....  | 1  |
| Objectifs et Méthodologie.....   | 2  |
| Analyse des Observations et de la Variabilité Climatique en Guinée.....  | 4  |
| Analyse de l'existant sur les projections climatiques et leurs performances, les scénarios et leurs impacts sur l'Afrique..... | 12 |
| Revue Bibliographique sur les Projections Climatiques pour L'Afrique.....  | 18 |
| Collecte des Produits de Modèles Climatiques et Elaboration des Scénarios Climatiques.....                                     | 21 |
| Modélisation du climat actuel et futur en Guinée .....   | 23 |
| Projections climatiques futures en Guinée.....   | 33 |
| Calcul d'indices climatiques : RCLIMDEX.....   | 35 |

## INTRODUCTION

Aujourd'hui, les effets du changement climatique se font sentir dans toute l'Afrique et de par le monde car le changement climatique n'est plus une théorie ou un modèle météorologique qui n'intéresse que quelques personnes. Les travaux scientifiques effectués ont sensibilisés un plus grand nombre de personnes sur comment les activités humaines vont précipiter ces changements. Il est maintenant accepté les effets des changements climatiques menacent sérieusement la réalisation des Objectifs de Développement du Millénaire et surtout l'éradication de la pauvreté et le développement durable. D'ores et déjà, et encore plus à l'avenir, il affecte ou affectera l'agriculture et la sécurité alimentaire, les ressources en eau, l'énergie, la santé humaine, les zones côtières, l'économie et les habitats et les infrastructures. Le présent rapport a abordé la problématique des changements climatiques actuels et futurs, dans un contexte des incidences importantes sur le système socio-économique en Guinée. Il s'agit en fait d'un traitement de données de projections climatiques du GIEC et compléter les analyses historiques pour les scénarios plausibles pour la période 2020-2050 sur notre zone d'étude.

La méthodologie est basée sur l'approche Multimodeles, qui la performance à reproduire au mieux le comportement climatique en Guinée a été évalué à partir de la comparaison des données simulées et celles observées.

Selon le rapport du GIEC, depuis cinquante ans, des indices d'un changement pour différents types d'événements climatiques extrêmes ont été détectées dans plusieurs régions du monde, notamment en Afrique. Pour avoir une idée générale sur la variabilité et la tendance de certains extrêmes pendant les trente (30) dernières années en Guinée, certains indices pour la détection des changements climatiques proposées par l'OMM ont été calculés et analysés sur quatre stations d'observation du pays.

## **Objectifs et Méthodologie**

L'objectif principal de cette étude est de contribuer aux activités d'**évaluation des projections climatiques et de production de scénarios** en Guinée dans le cadre du projet **ISACIP/Africlimserv**. Il s'agira spécifiquement et en terme d'activités de :

Analyser la variabilité climatique à l'aide des données climatiques des stations de la Guinée ;

Documenter l'existant sur les projections climatiques pour l'Afrique en particulier sur la Guinée ;

Documenter les rapports existants sur les performances des projections climatiques, les scénarios et leur impact sur l'Afrique ;

Collecter des produits de modèles de projection climatique pour l'élaboration des scénarios climatiques sur la Guinée ;

Analyser les projections climatiques récentes (CMIP 5, ...) sur l'Afrique et en particulier sur la Guinée ;

Utiliser les observations, produits de modèles et outils d'analyses des tendances climatiques pour l'élaboration des scénarios ;

Proposer des scénarios climatiques sur l'Afrique et la Guinée ;

Analyser les impacts du changement climatique sur l'Afrique de l'Ouest et en particulier sur la Guinée ;

Soumettre de trois (3) rapports (initial, à mi-parcours, et final).

La méthodologie consistera à définir un chronogramme d'activités sur six (6) mois reparté en trois étapes correspondant chacune à la soumission de rapports d'avancement.

## **Contexte Justificatif :**

La sécheresse sévère et généralisée qui a sévi au Sahel, à la fin de la décennie 60 avec une percée en Afrique de l'Ouest au cours de la décennie 70 (Paturel et *al.*, 1997), représente le plus fort signal climatique observé sur Terre en général et en Afrique tropicale en particulier, depuis que des mesures météorologiques sont disponibles (OMN, 2000). L'explication de ce phénomène reste encore à fournir. Mais la tendance à l'aridité du climat, dans les pays d'Afrique subsaharienne, est de plus en plus prouvée par nombre de rapports scientifiques (GIEC, 2001 et 2007). La prévision à des échelles réduites (downscaling) demeure encore insuffisante en raison d'observations en nombre et durée insuffisants, les systèmes d'alerte précoce sont peu fiables faute de moyens techniques, d'information et de données cohérentes. Même, certains modèles climatiques sont difficilement validés sur le continent africain

(GIEC, 2007). Les modèles ne présentent pas de tendance assez cohérente sur l’Afrique tropicale (Cook et Vizzy, 2006 ; Biasutti *et al.*, 2008), ce qui rend difficile les planifications à moyen et long terme. Or, l’Afrique tropicale, à l’instar de la Guinée, constitue une des zones où les populations, les ressources et les écosystèmes naturels sont les plus vulnérables aux aléas climatiques (Brassard *et al.* 2007 ; Tsalefac *et al.* 2007 ; Boko, 2009 ; Sultan, 2011).

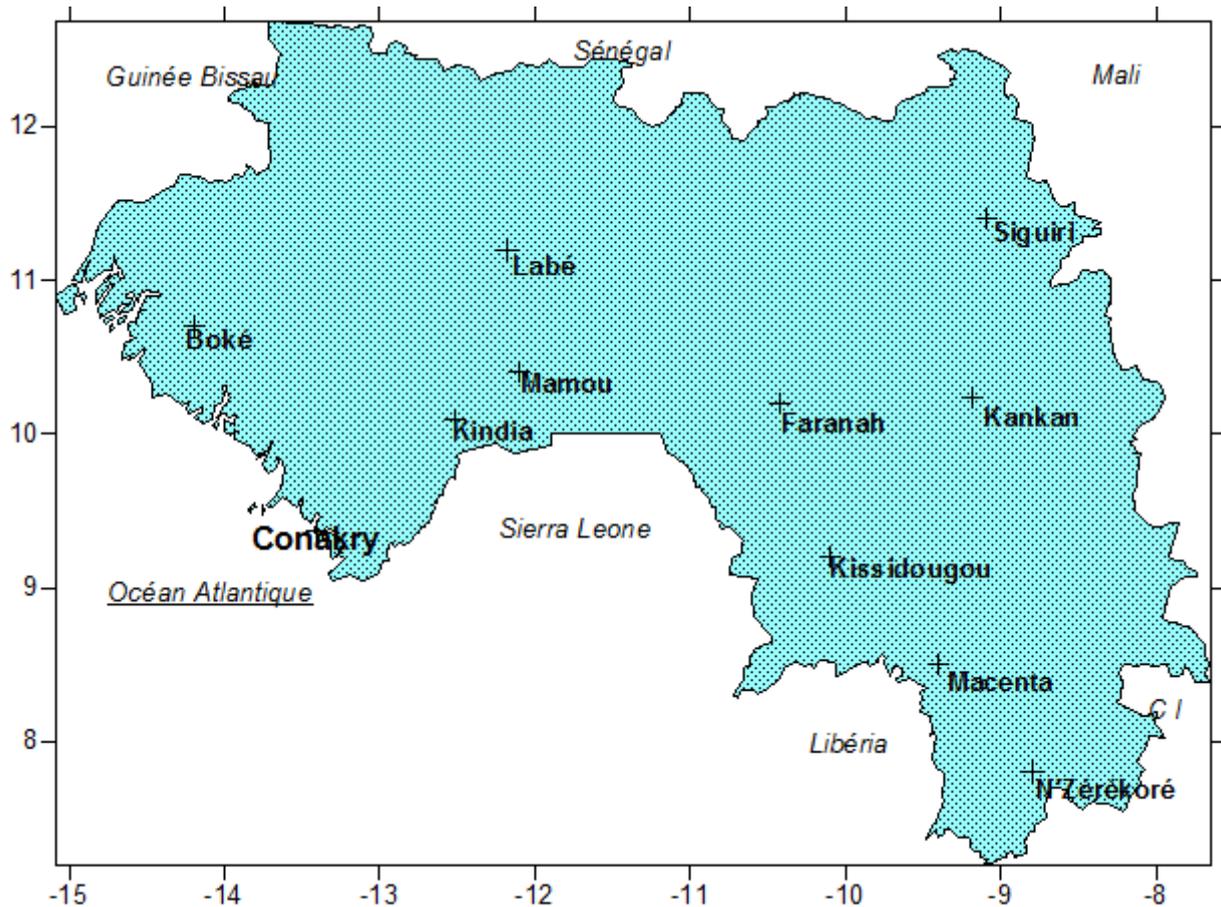
En ce qui concerne la première tâche, qui consiste à analyser la variabilité climatique à l’aide des données des stations de la Guinée, notre objectif à travers cette analyse sera de fournir à la communauté scientifique une analyse fine sur le climat Guinéen à partir des 1931 jusqu’à 2012.

### **Données d’Observation :**

Les données climatologiques observées utilisées dans cette étude sont : les précipitations, les températures de l’air (minima et maxima). De 1931 à 2012, pour les premières ; de 1960 à 2012, pour les secondes. Ces données ont été retenues au pas de temps journalier, mensuel, saisonnier et annuel. Elles sont issues de douze (12) stations météorologiques nationales (tableau 1.1, figure 1.).

|    | <b>Noms de stations</b> | <b>Type de stations</b> | <b>Latitude Nord</b> | <b>Longitude Ouest</b> | <b>Altitude en (m)</b> | <b>Période</b> |
|----|-------------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|----------------|
| 1  | Conakry                 | Synoptique              | 09.37                | 13.34                  | 26                     | 1931-2012      |
| 2  | Kindia                  | Synoptique              | 10.0                 | 12.52                  | 428                    | 1931-2012      |
| 3  | Boké                    | Synoptique              | 10.4                 | 14.3                   | 61                     | 1931-2012      |
| 4  | Mamou                   | Synoptique              | 10.4                 | 12.1                   | 782                    | 1931-2012      |
| 5  | Dalaba                  | Synoptique              | 10.69                | 12.26                  | 1202                   | 1931-2012      |
| 6  | Labé                    | Synoptique              | 11.32                | 12.03                  | 1050                   | 1931-2012      |
| 7  | Faranah                 | Synoptique              | 10.4                 | 10.07                  | 358                    | 1931-2012      |
| 8  | Kankan                  | Synoptique              | 10.4                 | 09.2                   | 377                    | 1931-2012      |
| 9  | Siguiri                 | Synoptique              | 11.4                 | 9.1                    | 362                    | 1931-2012      |
| 10 | Kissidougou             | Synoptique              | 09.2                 | 10.1                   | 524                    | 1931-2012      |
| 11 | Macenta                 | Synoptique              | 08.5                 | 9.4                    | 534                    | 1931-2012      |
| 12 | N’Zérékoré              | Synoptique              | 07.8                 | 08.8                   | 520                    | 1931-2012      |

**Tableau 1** : Stations Synoptiques de l’ensemble du pays.



**Figure 1 :** Position Géographiques des 12 stations d'observation synoptiques

### **Données de Simulation :**

Les données simulées sont des précipitations et des températures de l'air (minima et maxima), qui sont soit journalier, mensuel et annuel sur la période de 1971 à 2000. Elles proviennent des archives CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project phase 5 Multi-Model Dataset*) du WCRP (*World Climate Research Programme*), du CSAG (*Climate System Analysis Global*) et du PCMDI (*Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison*) sous l'autorité scientifique de l'OMM (2001) et du GIEC (AR4, 2007).

### **Données de Projection :**

Les données de projection viennent des archives CMIP5 disponibles soit sur le serveur du CSAG ou ESG (*Earth System Grid*). Ces données projetées sont les précipitations, les températures de l'air (minima et maxima) journalier, mensuel et annuel sur les horizons temporels futurs 2020-2050 avec un scénario SRES (nouveaux scénarios du GIEC) (RCP 45) basés sur les observations de 1971-2000.

Pour évaluer et valider les performances de l'approche multimodèle utilisée dans la zone d'étude, plusieurs données de simulation climatiques ont été analysées. Les résultats ont été comparés aux observations et aux analyses pour les principaux éléments qui contrôlent le climat de l'Afrique tropicale (Kamga et Buscarlet, 2006).

## **Analyse des Observations et de la Variabilité Climatique en Guinée**

Deux modes principaux de variabilité interannuelle des précipitations de la Mousson Ouest Africaine (MAO) ont été mis en évidence : un mode où les anomalies de pluie sont de signe opposé entre le sahel et la région guinéenne, et un mode où les anomalies sont de même signe sur toute l'Afrique sub-saharienne (Nicholson, 1980 ; Janicot : 1992 ; Nicholson et Webster : 2007).

Historiquement, deux pistes principales ont été exploré pour caractériser et comprendre la variabilité interannuelle de la MAO, faisant suite les études pionnières de Charney (1975) et de Lamb (1978a) : les interactions surface-atmosphère d'une part, et les téléconnexions avec les SST sous les tropiques d'autre part.

A l'instar des mécanismes généraux qui régulent le climat tropical, le régime pluviométrique guinéen dépend en grande partie de cette variabilité interannuelle. Et cette dernière semble aussi, de plus dépendre du forçage océanique que les interactions avec la surface (Giannini et al., 2005 ; Douville et al., 2006).

La Guinée se partage entre le climat tropical à deux saisons alternées et le climat équatorial. Le Sud-Ouest exposé à la mousson humide du Golfe de guinée est beaucoup plus arrosé que le Nord-Est abrité derrière les massifs montagneux de Fouta Djallon.

La combinaison de ces différents facteurs permet de distinguer des climats régionaux qui sont :

La Guinée Maritime ou Basse Guinée (18 % de la superficie totale)

La Moyenne Guinée ou Fouta Djallon (22 %)

La Haute Guinée ou Bassin Supérieur du fleuve Niger (40 %)

La Guinée Forestière au Sud-Ouest du pays (20 %).

L'ampleur des variations climatiques a occasionné dans l'ensemble du pays de fortes diminutions de précipitation avec de nettes ruptures dans les années 1969-1973. Ainsi, des épisodes de forts déficits de pluviométrie en 1977, 1984 et 1987.

A partir de la décennie 90, un léger retour des ces conditions normales de la pluviométrie en Afrique tropicale est perceptible (Janicot, 2002), mais caractérisé par une forte variabilité interannuelle des pluies (alternance des années humides et sèches).

Le cycle saisonnier des précipitations en Guinée est sans doute l'élément le plus important pour la population locale. Il se caractérise en effet par l'alternance d'une saison sèche et une saison humide qui apporte l'essentiel des précipitations nécessaires aux besoins en eau du pays.

Sur ce premier volet l'analyse portera d'abord sur la pluviométrie et plus tard sur les températures.

## Variabilité et Tendence pluviométrique

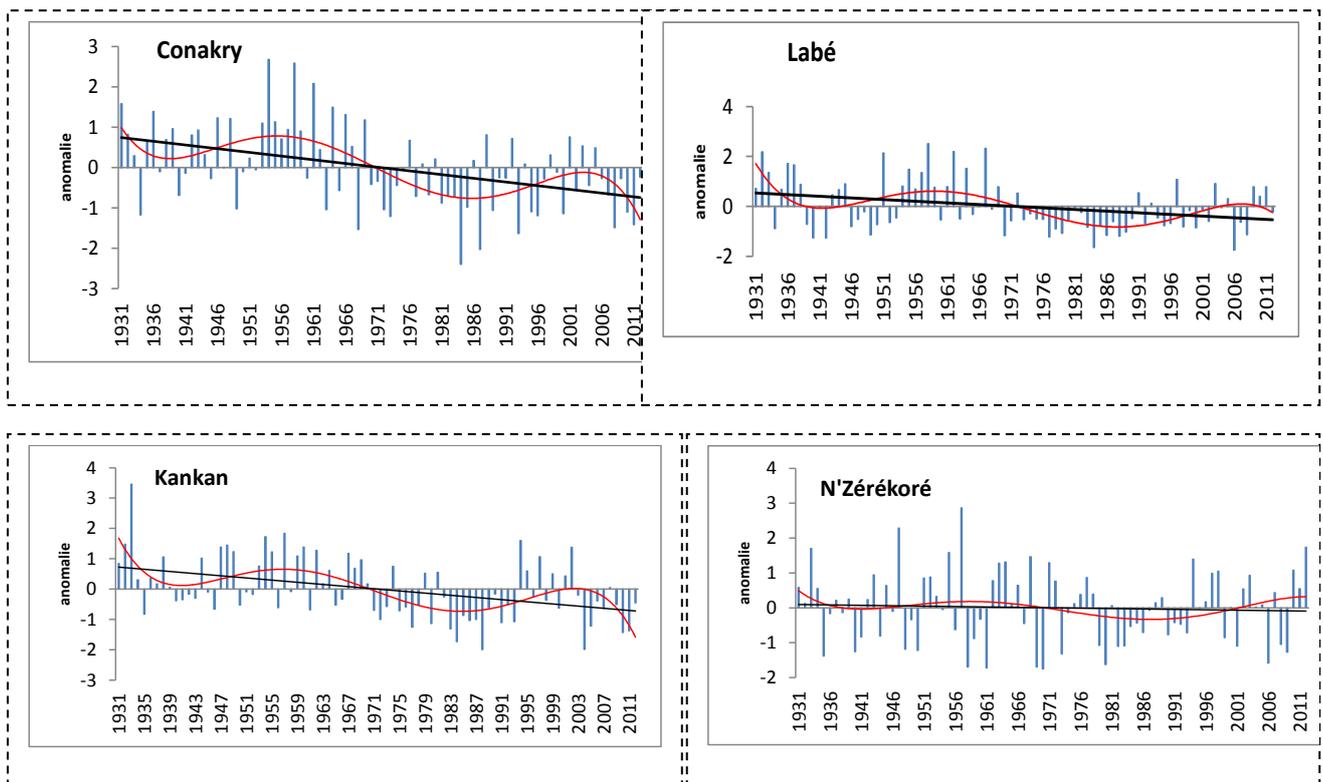
En vue d'apprécier l'évolution de la pluviométrie au cours des différentes années, la méthode de l'indice ou anomalie pluviométrique a été appliquée. Cette méthode a l'avantage de mettre en évidence les périodes excédentaires et déficitaires. Ainsi, pour chacun des postes pluviométriques ou station synoptique retenus, un indice de la pluie interannuelle a été déterminé. Il se définit comme une variable centrée réduite exprimée par l'équation 1 (Servat *et al.*, 1998) :

$$I_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$$

(avec  $X_i$  : valeur de la pluviométrie annuelle de l'année  $i$ ;  $\bar{X}$  : valeur moyenne interannuelle de la pluviométrie sur la période étudiée;  $S$  : valeur interannuelle de l'écart-type de la pluviométrie sur la période étudiée).

Ensuite, les anomalies de température ou de précipitation ont été obtenues par rapport à la période de référence de 61-90.

Les résultats obtenus montrent une répartition hétérogène des intensités pluviométriques en Guinée.



**Figure 2 :** Anomalie de précipitation annuelle de quatre (4) stations régionales de 1931 à 2012

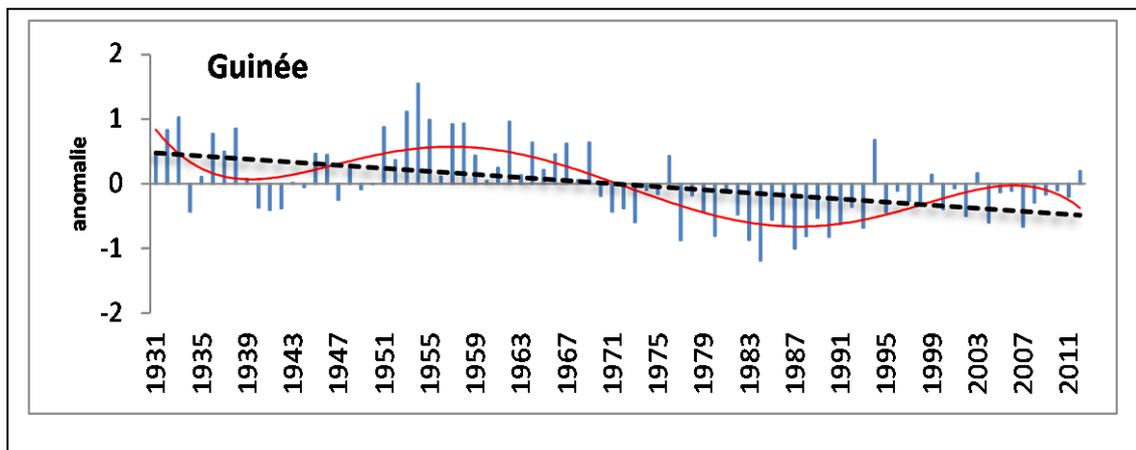
Pour ces 4 stations (figure 2), deux (2) périodes se distinguent : une, normale à excédentaire (de 1931 à 1969) et une autre déficitaire (de 1970 à 2000). Toutefois, pendant la période sec, en 1984, Conakry, a enregistré un déficit plus marqué.

Il est à noter que toutes les tendances observées sont à la baisse dans chacune des 12 stations. Le test non paramétrique de tendance Mann-Kendall a montré un seuil de significativité de 99 % vers l'aridification par une baisse des totaux pluviométriques annuels.

Pour l'ensemble du pays (figure 3) nous observons une période excédentaire (1931-1976) et une autre déficitaire (1977-2000).

Pendant la période humide, seules les années (1933, 1940-1942) enregistrent un déficit remarquable et pendant la période sèche, seules les années 1976 et 1994 enregistrent des excédents de pluie remarquables. Les années 1954 et 1984 sont remarquables par leur excédent pluviométrique de +532.5 mm et déficit de -427.8 mm.

La dernière décennie (2001-2010) semble renforcer une tendance à un retour des précipitations, avec la réduction du champ de forts déficits. Cependant, ce retour à des conditions plus humides ne semble pas être accompagné d'une amélioration significative de la longueur de la saison des pluies.



**Figure 3 :** Anomalie de précipitation annuelle pour les douze stations d'observation synoptiques du pays (de 1931 à 2012). Le Tirez noir et rouge représente respectivement la TENDANCE et MOYENNE MOBILE polynomiale de période 5.

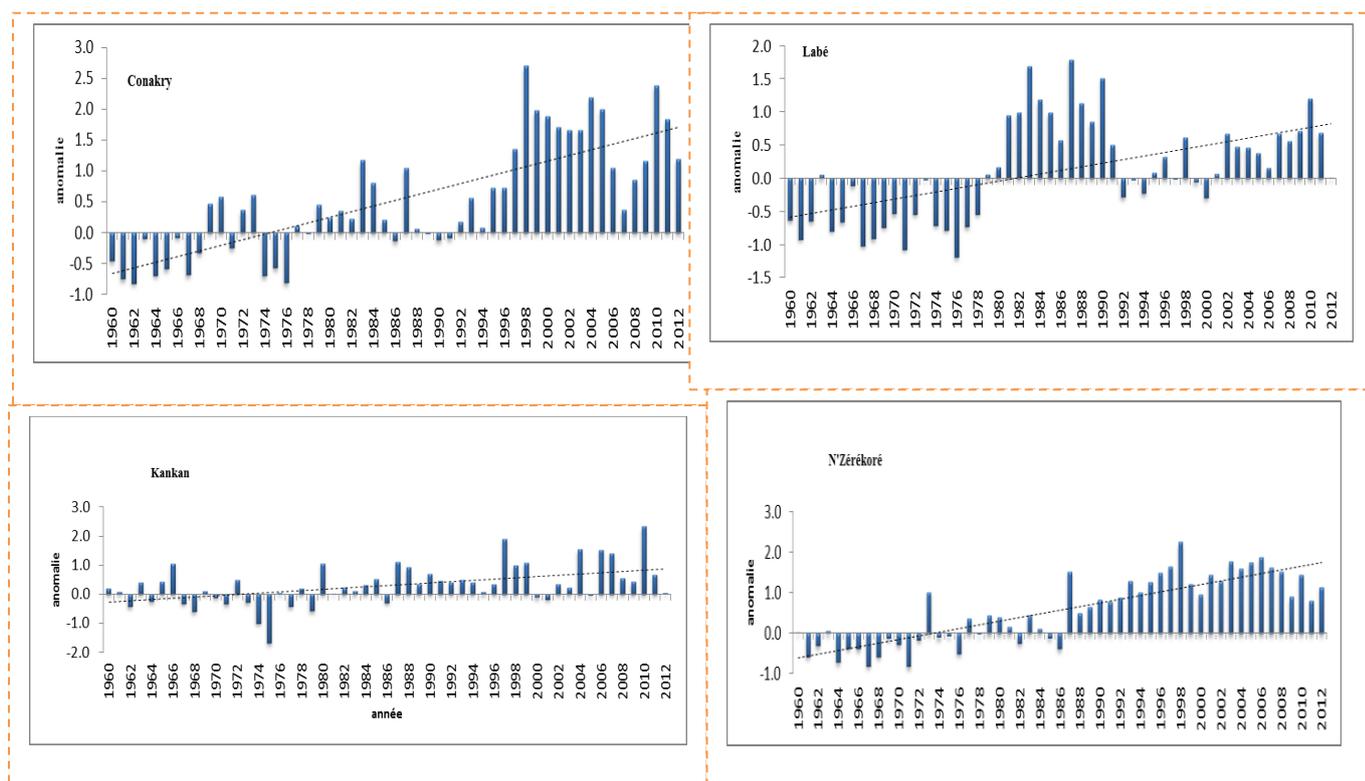
## Variabilité et Tendance thermométriques

En Guinée, en général, les températures passent de chaudes à très chaudes tout au long de l'année ; les mois les plus chauds en moyenne sont ceux qui précèdent immédiatement la saison des pluies, c'est-à-dire mars et avril, tandis que les températures ont tendance à être plus basses pendant la saison des pluies elle-même. La contrainte thermique due à la chaleur est un problème plus important que la contrainte thermique due au froid (à Conakry par exemple, les températures minimales ne tombent généralement pas en dessous de 20°C), étant donné en particulier la nature humide du climat

La plupart des valeurs supérieures à la moyenne ont été enregistrées à partir de 1980 (Figure 3). A Conakry, les températures maxi sont passées de 29.3 à 31.6 °C et celles mini de 22.1 °C à 24.3°C

De façon générale (figure 4), les températures en Guinée ont augmenté progressivement, en général, depuis la fin des années 80.

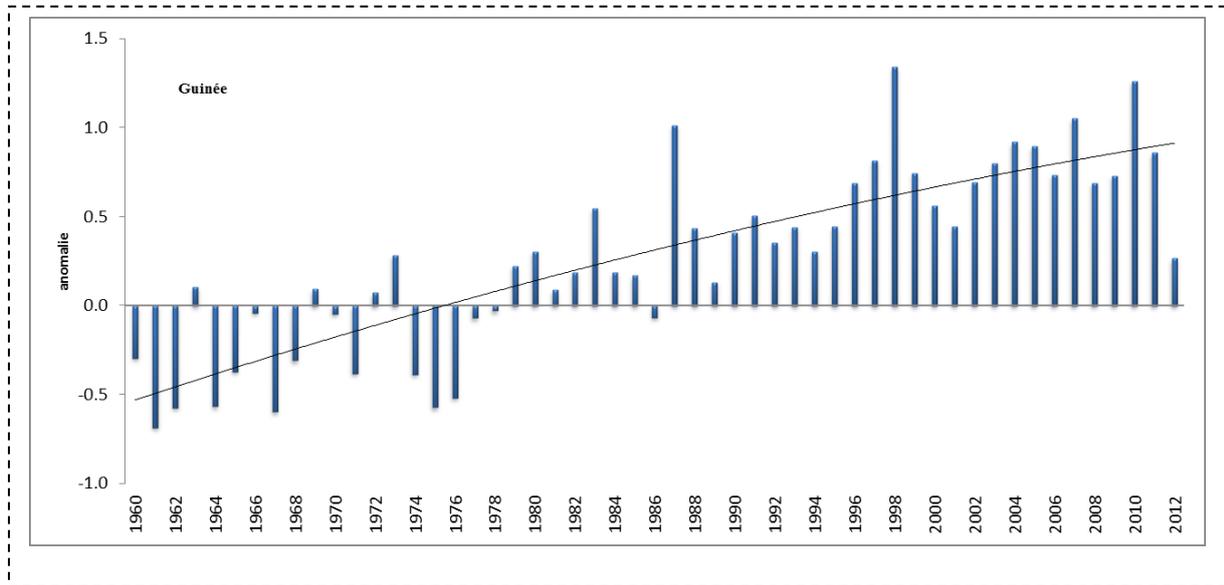
L'analyse des observations montre que les cinq dernières décennies ont été caractérisées par des fluctuations climatiques très marquées, en particulier par des épisodes de sécheresse significative et des déficits ou excédents pluviométriques prononcés.



**Figure 4 :** Anomalie de température annuelle pour les quatre stations d'obs régionales de la basse guinée. Le tiret noir représente la TENDANCE.

L'analyse des indices de températures et des cycles annuels montre que la température de l'air connaît une hausse régulière et la tendance ne semble pas inversée.

De façon générale, en Guinée, les températures ont augmenté progressivement, depuis la fin des années 80.



**Figure 5 :** Anomalie de température annuelle (1960-2012) pour les 10 stations d'observation de la Guinée dont nous avons utilisés les données. Le tiret noir représente la TENDANCE.

L'analyse des observations montre que les 4 à 5 dernières décennies ont été caractérisées par des fluctuations climatiques très marquées, en particulier par des épisodes de sécheresse significative et des déficits ou excédents pluviométriques marqués. Nous avons notés aussi des variabilités spatio-temporelles, interannuelles, décennales, ...plus ou moins marquées.

#### **Caractérisation d'un Contexte saisonnier :**

Pour finir ce volet variabilité climatique, nous nous sommes intéressés à la relation qui existerait entre deux échelles. La première, journalière, et la seconde, saisonnière. L'objectif est de savoir pendant une année qualifiée d'humide ou sèche, quel comportement adopteraient certains évènements qualifiés d'extrêmes.

Pour ce volet ci, nous avons utilisés des données de précipitations journalières de quatre (4) stations d'observation (pour des raisons de non disponibilité de données) de 1981 à 2010. Et les cumuls de saisonniers (c'est-à-dire de Juin-Juillet-Août-Septembre) par station et année, et toute la période. Les stations d'observation pour lesquelles nous avons utilisés les données sont : Conakry, Mamou, Faranah et Kissidougou.

Il s'agit pour une année donnée, avoir son cumul JJAS, le celui des trente (30) dernières années (1980-2010), et nombre évènements correspondant (occurrence de pluie extrêmes).

**1.3.1 Occurrence ou Evènement Extrême :** La vision globale des anomalies climatiques significatives au cours d'une année montre des types d'événements très variés sur toutes les régions de la Terre : sécheresses, inondations, canicules, tempêtes, vagues de froid et de chaleur, pluies fortes, chutes de neige...

Tous ces différents types d'événements climatiques peuvent représenter des écarts importants à la normale climatologique, et être qualifiés comme **extrêmes**. Cependant, il n'est pas possible de donner une définition universelle de l'événement climatique extrême.

La définition appropriée ne peut être choisie qu'en fonction du contexte dans lequel on considère tel ou tel phénomène.

Beniston and Stephenson (2004) proposent trois définitions du phénomène climatique extrême, qui reposent sur différentes notions.

La définition peut être basée sur la rareté d'un phénomène climatique; on doit donc considérer sa fréquence d'occurrence.

Elle peut également être basée sur l'intensité d'un phénomène; ceci implique la considération des dépassements d'un seuil par des variables climatiques associées à ce phénomène.

Enfin on peut introduire la notion d'impact et s'appuyer sur des dégâts socio-économiques causés par un phénomène.

Pour ce cas-ci, notre définition est relativement proche de la deuxième notion de Beniston and Stephenson qui fait allusion de dépassements de seuil.

**1.3.2. Critères de Choix des Evènements :** Nous avons fixés des seuils en fonction des régimes climatiques des quatre (4) régions naturelles du pays dont appartiennent ces 4 stations d'observation. Rappelons que, du fait du nombre réduit des stations d'observation ce que l'on présente ici serait loin d'être une représentation de tout le pays. Mais plutôt être dans logique d'une tendance. Le choix a été fait comme suit :

Station de Conakry, quantité (mm) supérieur à 120 ;

Station de Mamou, supérieur à 60 ;

Station de Faranah, supérieur à 60

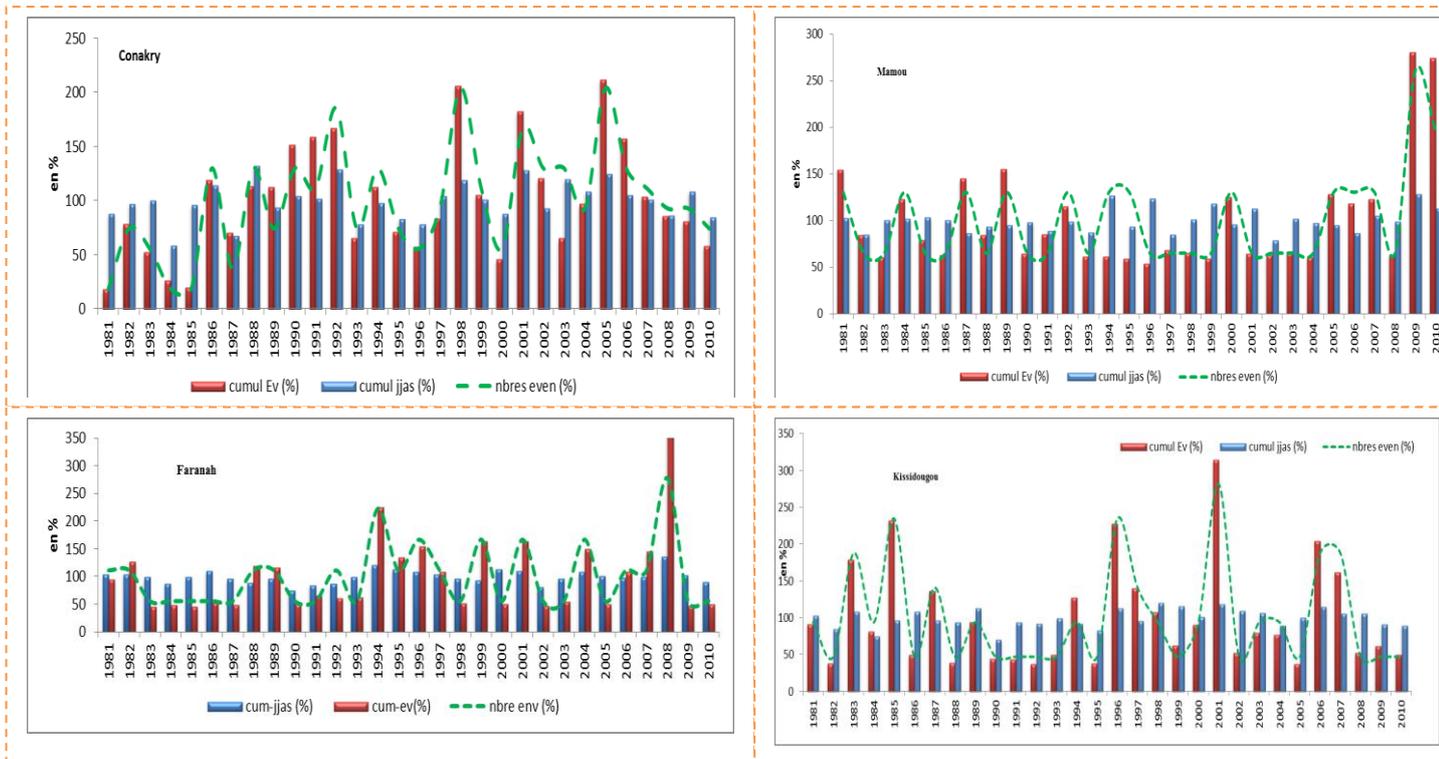
Station de Kissidougou, supérieur à 65.

Sur la figure 5 se trouve la relation entre cumul et occurrences de pluie pour 4 stations. Il s'agit de regarder pour une année ou une période dite « humide » ou « sèche », le degré (%) d'intensité entre les deux cumuls. Toutefois, nous qualifierons de « année humide » ou « période humide », tout cumul saisonnier supérieur à celui au cours des évènements pendant ce temps. Et vice-versa.

Nous observons sur toutes les stations d'observation, lorsque qu'une année ou une période est humide, son cumul JJAS est généralement le double ou plus de celui au cours des

évènements. C'est-à-dire que les précipitations sont élevées en JJAS en année excédentaire et tendent à être le double de celle reçues en années sèches.

Ce type de rapport pourrait servir d'« indice » ou d'« indicateur » de prévision en prévision saisonnière. Bien entendu, en fonction du degré de qualification à l'avance d'une année ou une saison par cette dernière.



**Figure 6 :** Cumul saisonnier de pluie (les traits bleus, rouges et verts représentent respectivement le cumul JJAS, celui pendant les évènements, le nombre d'évènement associé).

## Analyse de l'existant sur les projections climatiques et leurs performances, les scénarios et leurs impacts sur l'Afrique

### Terminologie Associée aux Changement Climatique :

**2.1. Gaz à effet de serre et Aérosols :** Les gaz à effet de serre (GES) sont des composants gazeux d'origine naturelle ou anthropique (humaine) qui, de par leur nature, interagissent avec le rayonnement infrarouge terrestre. Ces gaz s'accumulent au niveau de l'atmosphère et participent à la conservation de la chaleur de la planète en absorbant le rayonnement infrarouge émis par celle-ci et en le réémettant dans toutes les directions. Le rayonnement atmosphérique dû à l'effet de serre s'ajoute ainsi au rayonnement solaire direct pour réchauffer la surface terrestre.

Il existe plusieurs types de GES, mais les plus répandus sont la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O), les hydrocarbures légers comme le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O), le méthane

(CH<sub>4</sub>), l'ozone(O<sub>3</sub>), les fluorocarbures comme l'hydrofluorocarbure (HFC) et d'autres gaz inertes tel l'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>) (GIEC, 2007a).

## **2.2. Modèle, Simulation, projection, prévision ou scénario climatique :**

Le Modèle Climatique est un outil de représentation numérique du climat, basé sur des équations mathématiques de la dynamique des fluides et de la conservation de la masse, de l'énergie et de la quantité de mouvement. Il évoque l'ensemble du système climatique terrestre, qui englobe l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, la surface terrestre, la biosphère ainsi que leurs interactions (GIEC, 2007a).

Le résultat de l'utilisation du modèle climatique, **la simulation climatique**, est une série de données représentant une grande quantité de variables telles que la température du sol et de l'air, l'humidité et le vent. Les simulations sont produites sur un certain territoire, soit le domaine spatial, allant d'une couverture globale étendue pour les Modèles de climat global à un domaine plus restreint comme toute l'Afrique ou une partie de notre sous-région pour les Modèles régionaux de climat. La période simulée peut représenter tant le passé que le futur.

Une **projection climatique** représente la réponse du système climatique, telle que simulée par un modèle climatique, à certaines hypothèses posées sur l'évolution future des émissions d'aérosols et de GES.

La **prévision climatique**, quant à elle, résulte d'une tentative de décrire l'évolution future réelle du climat.

Le **scénario climatique** est considéré comme une description plausible du climat futur, et ce, sur la base d'une ou de plusieurs projections climatiques.

## **2.3. Modèles de Climat Global (MCG) et Modèles Régionaux de Climat (MRC) :**

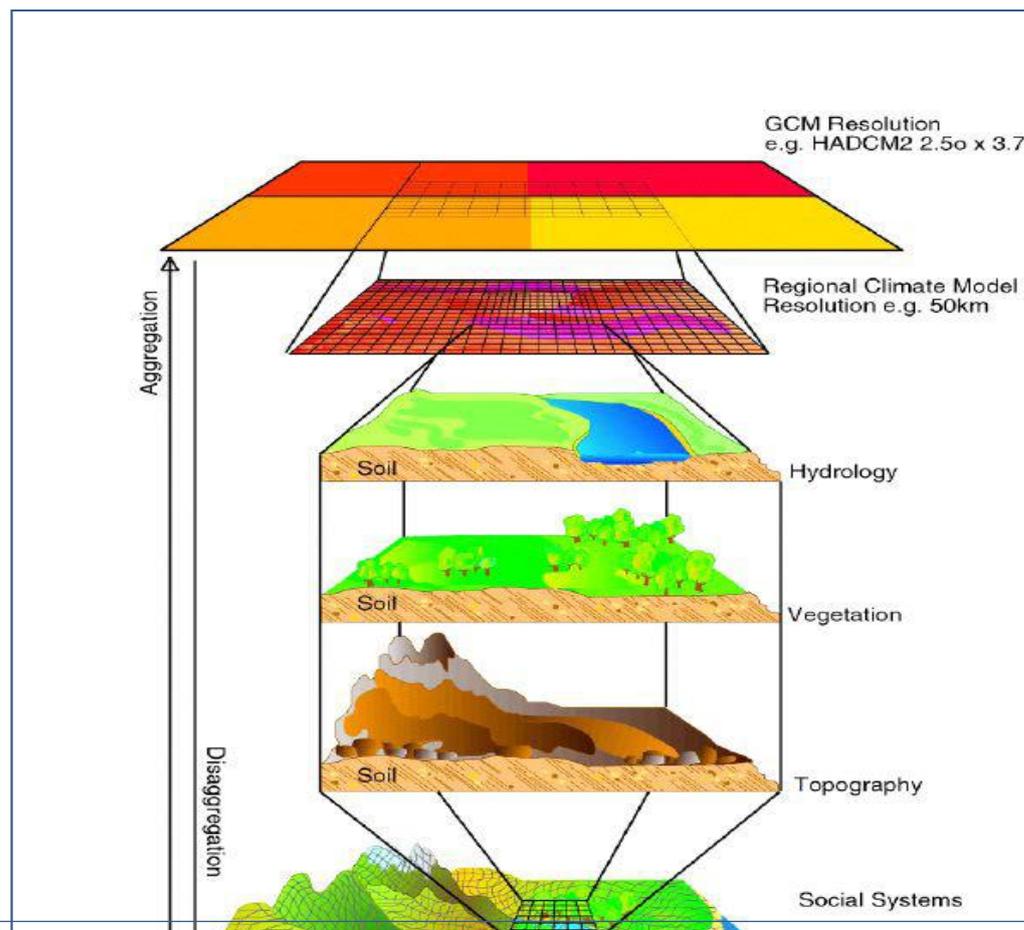
**2.3.1 Les Modèles de climat global (MCG) :** sont des modèles climatiques permettant de simuler la réponse du système climatique à la variation de la concentration des GES. Leur résolution spatiale se situe généralement entre 250 et 600 km. Les MCG comprennent environ 30 niveaux verticaux que l'on pourrait virtuellement associer à une série de cubes empilés les uns pardessus les autres, de la surface de la terre jusqu'à la fin de l'atmosphère, qui renfermeraient des équations et des caractéristiques propres à chacun. Ces cubes réagissent et s'influencent mutuellement de manière à créer virtuellement la dynamique du système climatique.

**2.3.2 Les modèles Régionaux de Climat (MRC) :** Certaines études requièrent une information climatique à une échelle plus fine que celle fournie par les MCG.

On peut alors utiliser les Modèles régionaux de climat (MRC), similaires aux MCG car ils comprennent aussi des niveaux verticaux, mais de plus haute résolution spatiale, généralement autour de 50 km. La modélisation à une telle résolution est beaucoup plus coûteuse en termes de temps et requiert des ressources informatiques de haute performance. Par conséquent, ce type de modèle est utilisé pour simuler le climat sur un domaine spatial plus restreint, en

utilisant les données de MCG comme données aux frontières. Dans ce contexte, le MCG est appelé modèle pilote, car il établit une contrainte aux limites du domaine de simulation du MRC.

La résolution accrue des MRC permet une meilleure représentation de certains éléments physiques qui sont de trop petite échelle pour les MCG. À titre d'exemples, il peut s'agir de caractéristiques géographiques comme la topographie et la présence de cours d'eau importants pouvant influencer le climat local, de certains phénomènes de nature météorologique à l'échelle locale, tels que les précipitations convectives (précipitations de forte intensité, de courte durée et sur une faible extension spatiale) et les îlots de chaleur. C'est en partie pour ces raisons que les scénarios obtenus à partir des MRC sont plus réalistes quand vient le temps de représenter les changements climatiques au niveau local. Comme le montre la figure 12, faisant allusion à la réduction d'échelle.

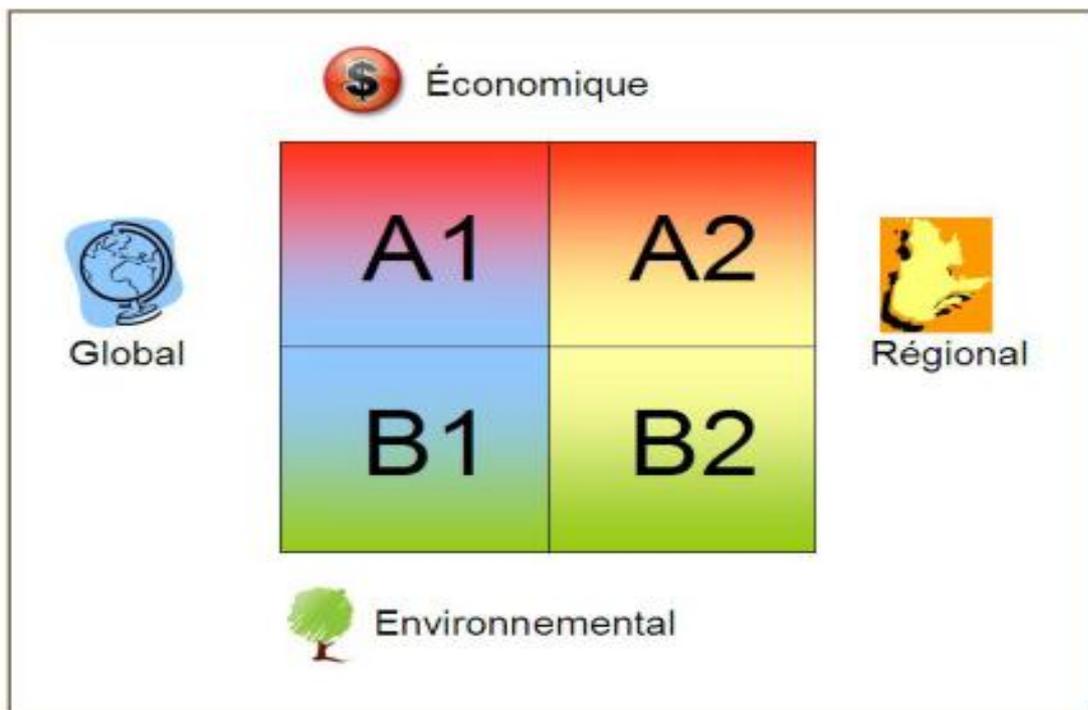


**Figure 7:** Le concept de réduction d'échelle spatiale. De nombreux processus qui régissent le climat local, comme la topographie, la végétation et l'hydrologie, sont exclus des MCG à résolution grossière. L'élaboration de rapports statistiques entre l'échelle locale et l'échelle globale peut implicitement comporter certains de ces processus. (Source: **David Viner, Climate Research Unit, University of East Anglia, R.U.**)

## Scénarios d'émissions d'aérosols et de Gaz à effet de serre (SRES) :

### SRES (ancien scenario du GIEC) :

Les concentrations d'aérosols et de GES dans l'atmosphère influencent directement le bilan radiatif de la planète. Il est difficile d'établir un consensus sur leur évolution probable dans le temps étant donné que cette évolution dépend de nombreux facteurs comme l'économie, la démographie humaine, les industries et la technologie. Les chercheurs du GIEC ont donc élaboré une série de scénarios d'émission d'aérosols et de GES, en faisant varier ces différents éléments. Ces scénarios d'émission sont connus sous le sigle « **SRES** » (*Special Report on Emission Scenarios*, Nakicenovic et Swart, 2000) et appartiennent aux quatre grandes catégories illustrées à la figure 8.



**Figure 8.** Représentation Schématique des quatre grandes catégories de Scénarios d'émission d'aérosols et de gaz à effet de Serre du **SRES** Selon leur association aux facteurs économiques ou environnementaux, globaux ou régionaux.

Les scénarios associés à la catégorie A1 sont axés sur une croissance économique rapide et un développement technologique des systèmes énergétiques. On y retrouve également une convergence sociale et culturelle au niveau des différents territoires, diminuant ainsi les différences entre elles.

Les scénarios A2 représentent plus particulièrement une croissance économique orientée sur l'autosuffisance locale. Les scénarios B1 s'orientent vers une économie axée sur l'équité et

sur une gestion efficace des ressources. Les activités de production y sont de moindre importance. Finalement,

La catégorie B2 met l'accent sur des solutions locales et sur la protection de l'environnement.

Le développement de nouvelles technologies y est moins rapide. Pour ce qui est de la population humaine, les catégories de scénarios A1 et B1 décrivent une augmentation rapide suivie d'une diminution; pour les catégories A2 et B2, la population augmente de façon plus lente, mais constante (GIEC, 2000).

Le choix du scénario d'émission aura donc un effet sur les résultats de l'étude que l'on désire réaliser. Dans certaines études sur l'évolution des GES, on mentionne que les scénarios plus extrêmes (catégories A1 et A2) seraient davantage envisageables que les scénarios plus conservateurs (catégories B1 et B2) (Beaumont *et al.*, 2008).

### **RCP (nouveau scénario du GIEC) :**

Dans la perspective de l'élaboration du 5<sup>e</sup> rapport d'évaluation du GIEC, un groupe international d'experts a défini quatre scénarios de référence, qualifiés de profils représentatifs d'évolution des concentrations (RCP, pour *Representative Concentration Pathways*) de gaz à effet de serre (GES), d'ozone et de précurseurs des aérosols pour le XXI<sup>e</sup> siècle et au-delà. Ces scénarios, peuvent correspondre à des efforts plus ou moins grands de réduction des émissions de GES au niveau mondial.

**Nécessité d'une nouvelle définition :** Les scénarios SRES définis par le GIEC à la fin des années 1990 ont été diffusés en 2000. Depuis, le contexte socio-économique mondial a sensiblement changé. Les déterminants socio-économiques tels que l'économie, les technologies, les politiques publiques, et la connaissance du système climatique ont évolué. Par exemple, il n'avait pas été envisagé à l'époque la possibilité d'un développement aussi rapide des pays émergents. Dans le même temps, les projections démographiques globales ont été revues à la baisse, de 14 milliards d'humains à 10 milliards à l'horizon 2100. Ces quinze dernières années ont aussi vu, à l'échelle mondiale, l'adoption de politiques climatiques dont il est désormais nécessaire d'intégrer les effets sur la réduction des émissions de gaz et les rétroactions en terme d'impacts et d'adaptation pour les systèmes considérés. Ces mécanismes n'étaient pas inclus dans les scénarios précédents.

Il est aujourd'hui aussi envisagé d'avoir des évolutions des émissions globales de gaz à effet de serre qui diminueraient après une phase de croissance au XXI<sup>e</sup> siècle ce qui oblige certains scénarios à être prolongés au-delà de 2100.

Le GIEC a décidé de définir des nouveaux scénarios pour mieux prendre en compte ce nouveau contexte et permettre aux économistes et aux climatologues de ne plus travailler de manière séquentielle mais parallèle.

Les profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP : representative concentration pathway) sont des scénarios de référence de l'évolution du forçage radiatif sur la période 2006-2300.

Leur comparaison avec les anciens scénarios SRES, pour une période commune, montre que le RCP 8.5, scénario extrême, est un peu plus fort que l'ancien scénario SRES dénommé A2. Le RCP 6 est proche du scénario SRES A1B, tandis que le RCP 4.5 est proche du SRES B1. Le seul profil d'évolution sans équivalent avec les anciennes propositions du GIEC est le RCP2.6 qui intègre les effets de politiques de réduction des émissions susceptibles de limiter le réchauffement planétaire à 2°C.

| Nom            | Forçage radiatif  | Concentration de GES (ppm)                        | Trajectoire                    |
|----------------|---|---|--------------------------------|
| <b>RCP 8.5</b> | >8.5 Wm <sup>-2</sup> en 2100                               | >1370 eq-CO2 en 2100                              | Croissante                     |
| <b>RCP 6.0</b> | ~6 Wm <sup>-2</sup> au niveau de stabilisation après 2100   | ~850 eq-Co2 au niveau de stabilisation après 2100 | Stabilisation sans dépassement |
| <b>RCP 4.5</b> | ~4.5 Wm <sup>-2</sup> au niveau de stabilisation après 2100 | ~660 eq-CO2 au niveau de stabilisation après 2100 | Stabilisation sans dépassement |
| <b>RCP 2.6</b> | Pic à ~3 Wm <sup>-2</sup> avant 2100 puis déclin            | Pic à ~490 eq-CO2 avant 2100 puis déclin          | Pic puis déclin                |

**Tableau 2 :** *Caractéristiques principales des RCP (Moss et al. Nature 2010). Le forçage radiatif, exprimé en W/m<sup>2</sup>, est le changement du bilan radiatif (rayonnement descendant moins rayonnement montant) au sommet de la troposphère (10 à 16 km d'altitude), dû à un changement d'un des facteurs d'évolution du climat comme la concentration des gaz à effet de serre. La valeur pour 2011 est de 2,84 W/m<sup>2</sup>.*

### 2.3.3. Incertitude Sur Changement Climatique :

Il existe plusieurs sources d'incertitude dans le processus de modélisation climatique, que ce soit en lien avec les imperfections des MCG ou des MRC, les scénarios d'émission d'aérosols et de GES ou la variabilité naturelle du climat. Les MCG sont basés sur des équations et des paramètres mathématiques uniques, qui sont choisis par les développeurs pour représenter la physique du système terrestre. Chacun de ces modèles comporte certaines incertitudes, dépendantes des choix effectués et de la limite imposée par la puissance de l'ordinateur.

Les scénarios d'émission représentent une source d'incertitude. La figure 3 illustre la variabilité de l'incertitude liée au SRES. Les scénarios A1FI, A1T et A1B sont dérivés de la catégorie de scénarios A1. Ils se distinguent par leur orientation technologique : usage intensif de combustibles fossiles (A1FI), sources d'énergie autres que fossiles (A1T) et équilibre entre toutes les sources d'énergie (A1B).

La variabilité naturelle du climat constitue également une source d'incertitude. En effet, selon Murphy *et al.* (2009) :

**Le système climatique, à l'échelle globale et locale, peut varier de façon importante d'une période à une autre, même en l'absence d'une influence anthropique. Cette variabilité dite naturelle du climat sera présente aussi dans le futur et sera superposée aux changements climatiques, ajoutant à l'incertitude des projections climatiques.**

Cette source d'incertitude est liée au caractère chaotique du système climatique et est, par conséquent, irréductible. L'incertitude sur les changements climatiques représente une information cruciale liée aux scénarios climatiques. Les contributions des différentes sources d'incertitude peuvent être quantifiées en utilisant un ensemble de simulations climatiques. Par exemple, l'incertitude sur l'évolution future des émissions d'aérosols et de GES est quantifiée en utilisant plusieurs simulations ayant été forcées par des scénarios SRES différents.

L'incertitude due à cette variabilité peut être déterminée en produisant une série de simulations climatiques à partir du même modèle et scénario SRES, mais en modifiant légèrement conditions initiales. Les simulations ainsi produites représenteront une série de climats possibles futurs, leurs différences étant dues exclusivement à la variabilité naturelle du climat.

### **Revue Bibliographique sur les Projections Climatiques pour L'Afrique**

Les tendances des précipitations, notamment au cours des 30 dernières années environ, ont eu d'énormes effets sur le développement socio-économique du continent parce que la plupart des activités sont axées sur l'agriculture (Serageldin, 1995).

Les changements dans les précipitations prévus par la plupart des MCG sont assez modestes, du moins relativement à la variabilité actuelle des précipitations. En général, les précipitations augmenteront probablement dans tout le continent, sauf dans le sud et certaines parties de la corne de l'Afrique, où elles diminueront d'environ 10 % d'ici 2050. Il est prévu que les changements saisonniers dans les précipitations ne seront pas importants; Joubert et Tyson (1996), en se fondant sur les résultats de certains MCG des couches de mélange et entièrement couplés, n'ont trouvé aucun indice de changement saisonnier dans les précipitations. Les résultats obtenus à l'aide d'un seul modèle de circulation des couches de mélange ont porté Hewitson et Crane (1996) à croire que les précipitations retarderaient légèrement vers la fin de l'été dans l'est de l'Afrique du Sud (mais seulement dans cette région). Toutefois, les changements dans les précipitations à l'échelle régionale simulés par les MCG comportent beaucoup d'incertitudes (Joubert et Hewitson, 1997). Des parties du Sahel pourraient connaître une augmentation des précipitations allant jusqu'à 15 % de plus

que la moyenne pour la période de 1961 à 1990. L'Afrique équatoriale pourrait connaître une faible augmentation des précipitations (5 %). Ces résultats ne concordent pas, car différents modèles climatiques ou différentes simulations faites à l'aide du même modèle donnent des configurations différentes. Le problème consiste à déterminer le caractère du signal des changements climatiques pour les précipitations en Afrique dans un contexte de grande variabilité naturelle plus difficile en raison de l'utilisation de modèles climatiques imparfaits.

En revanche, des incertitudes demeurent sur les résultats des projections concernant les précipitations. L'Afrique du Nord, l'Afrique australe ou l'Afrique de l'Est figurent parmi les régions où l'incertitude est la moins forte. La côte méditerranéenne de l'Afrique, comme le pourtour méditerranéen dans son ensemble, devrait connaître une diminution des précipitations (-15 à -20 %) au cours de ce siècle. Cet assèchement affecterait la rive Nord du Sahara et la côte ouest-africaine jusqu'à la latitude 15° Nord (latitude de Dakar). A l'autre extrémité du continent, l'hiver mais surtout le printemps en Afrique australe devrait être également moins pluvieux. Dans la ceinture tropicale, les résultats des modèles montrent un accroissement de la pluviométrie dans la corne de l'Afrique ; aucune conclusion ne peut être tirée concernant le régime des précipitations en Afrique de l'Ouest (Figure 14).

Les modèles climatiques sont relativement satisfaisants pour prévoir le changement de température en Afrique. Dans son dernier rapport, le GIEC confirme qu'au cours du XXIème siècle, le réchauffement climatique en Afrique sera plus important qu'au niveau mondial. La hausse de la température moyenne entre 1980/99 et 2080/99 s'échelonne entre 3 et 4°C sur l'ensemble du continent, 1,5 fois plus qu'au niveau mondial. Cette hausse sera moins forte au sein des espaces côtiers et équatoriaux (+3°C) et la plus élevée dans la partie ouest du Sahara (+4°C) (Club de Sahel et de l'Afrique de l'Ouest/OCDE 2007).

Il est possible que cette même température, d'ici 2050, le continent se réchauffe d'autant que 1,6 °C dans le Sahara et les régions semi-arides du sud de l'Afrique (Hernes *et al.*, 1995; Ringius *et al.*, 1996). Les pays équatoriaux (le Cameroun, l'Ouganda et le Kenya) pourraient se réchauffer d'environ 1,4 °C. Cette projection représente un taux de réchauffement d'environ 0,2 °C par décennie d'ici 2050.

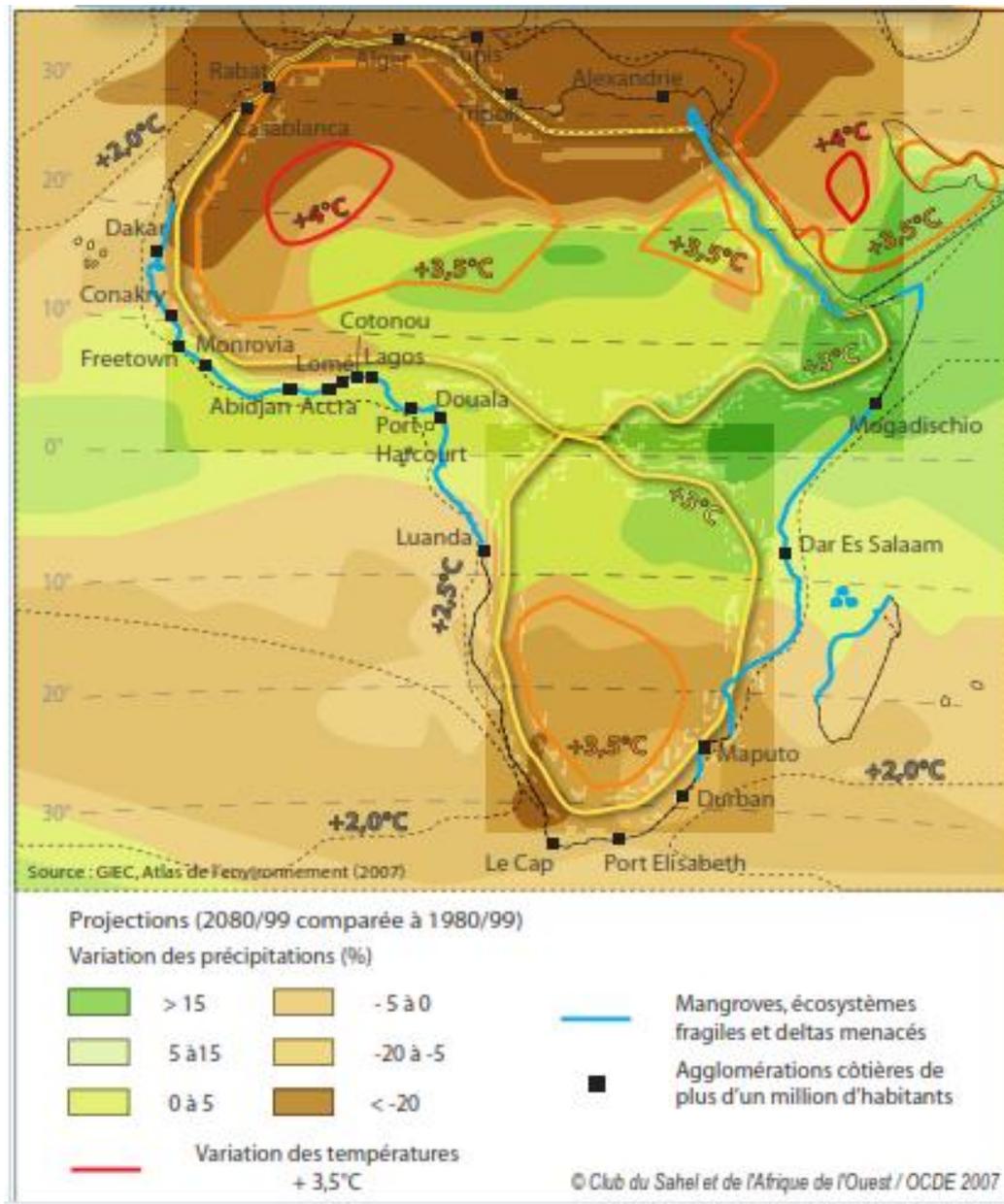
L'augmentation des températures à la surface des océans tropicaux ouverts qui entourent l'Afrique sera moindre que la moyenne mondiale (c'est-à-dire seulement de 0,6 à 0,8 °C environ); les zones côtières se réchaufferont donc plus lentement que l'intérieur du continent.

D'ici 2050, l'on peut s'attendre à des changements dans le niveau de la mer et dans le climat en Afrique. Hernes *et al.* (1995) prévoient que le niveau de la mer s'élèvera d'environ 25 cm.

Actuellement, 36 pays africains sont touchés par une sécheresse périodique et quelque peu désertifiés (PNUE, 1992). C'est dans la ceinture soudano-sahélienne et dans le sud de l'Afrique que le risque de sécheresse est le plus élevé (Nicholson *et al.* 1988).

Dans les études réalisées par le GIEC (1990 et 1996), de même que par Hernes *et al.* (1995), la région du Sahel (comprise entre le 10° et le 20° degré de latitude Nord et le 20° degré de longitude Est) a été choisie dans le but de comparer entre eux les résultats des MCG. Depuis

lors, plusieurs méthodes de projection climatique sous régionale ont été mises au point pour certains pays (par exemple, Joubert, 1995; Ringius *et al.* 1996), et un certain nombre l'ont été dans le cadre du U.S. Country Studies Program (USCSP, 1996)



**Figure 9** : Une image possible des Changements Climatiques en Afrique (Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest/OCDE 2007)

Toutefois, le rapport de GIEC de 2007 prévoit pour l'Afrique de l'Ouest, et selon les projections, une augmentation moyenne de la température entre 1980/99 et 2080/99 se situant entre 3°C et 4°C, soit plus de 1,5 fois le taux moyen mondial de réchauffement prévu.

Mais il est difficile aujourd'hui, considérant le niveau de connaissance actuel limité sur ces événements extrêmes et leur relation potentielle avec les changements climatiques, de se prononcer avec précision sur le devenir de ces événements extrêmes en Guinée. On peut noter

cependant et à titre indicatif que certains travaux d'experts prédisent pour l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO, 2009a):

Une augmentation générale de fortes pluies;

Une augmentation du nombre de saisons extrêmement humides (une fois tous les vingt ans à la fin du 20<sup>e</sup> siècle, une fois tous les cinq dans le prochain siècle);

Une augmentation possible de la fréquence et la gravité des inondations, des sécheresses et autres événements extrêmes.

### **III. Collecte des Produits de Modèles Climatiques et Elaboration des Scenarios Climatiques**

Les simulations de l'évolution du climat sont généralement construites à l'aide de modèles climatiques planétaires, appelés, modèles de circulation générale. Ces derniers ont des résolutions spatiales de l'ordre de dizaines à plusieurs centaines de kilomètres, ce qui est normale en changement climatique à l'échelle globale de la terre, insuffisant pour étudier ses impacts généralement localisés (MacKellar et al., 2010).

Tout d'abord, nous utiliserons les moyennes des sorties de modèles globaux du GIEC (CMIP5). Ensuite, les modèles régionaux qui couvrent notre zone d'étude. Cette démarche a permis de valider les résultats d'une simulation menée sur la période 1971-2000, en prenant comme données de référence les observations et les analyses d'observations. Il s'agira par la suite d'utiliser ces moyennes multimodèles pour simuler les changements climatiques futurs en Guinée.

Dans de nombreuses études sur les changements climatiques, les scénarios issus directement de modèles climatiques globaux (MCG) n'ont sans doute pas une résolution spatiale ou temporelle suffisante pour représenter les variations au sein d'une région, à un endroit particulier ou les données climatiques qui permettent de modéliser un processus spécifique. La résolution spatiale des MCG en particulier signifie que la représentation des caractéristiques de l'orographie et des conditions de surface est exagérément simplifiée par rapport à la réalité, ce qui entraîne la perte de certaines des caractéristiques qui peuvent exercer de profondes influences sur le climat régional. Cela fait un certain nombre d'années que l'on est conscient du besoin de scénarios locaux ou régionaux détaillés des changements climatiques pour les études sur les répercussions (Lamb, 1987; Cohen, 1990), d'où l'élaboration d'un certain nombre de méthodes pour raffiner ces informations, en général à partir des MCG, en dépit de leurs déficiences à de plus fine résolution, qui constituent le meilleur moyen existant de déterminer des scénarios du climat futur intrinsèquement homogènes (Hulme et al., 1990; Giorgi et Mearns, 1991; Robock et al., 1993).

Selon Phillips et Gleckler (2006), les modèles couplés Océan Atmosphère (AOGCM) arrivent à reproduire certains aspects observés du climat actuel. Cependant il y a des biais plus importants pour certaines variables comme les précipitations ou pour certaines régions comme l'Afrique. Raison pour laquelle un travail préalable de validation doit être effectué pour estimer la crédibilité d'un modèle sur une région particulière. Notre étude se basant sur une

représentation en courbes des sorties des 4 modèles du CMIP5 pour chaque paramètre climatique et par station arrive à la conclusion que sur la zone d'étude, les quatre (4) modèles (*Tableau 3*) semblent simuler le mieux les observations des précipitations et des températures. C'est ainsi que les sorties de ces modèles sont moyennées afin de réduire leurs disparités et en constituer un ensemble dit « moyennes multimodèles » qui sont identifiés comme les plus aptes à reproduire le climat passé et actuel dans une zone d'étude.

| <b>Modèles CMIP5</b> | <b>Résolution</b> | <b>Pays</b> | <b>Scenario RCP</b> |
|----------------------|-------------------|-------------|---------------------|
| <b>CCSM4 (NCAR)</b>  | 1.3° x 0.94°      | USA         | 4.5 & 8.5           |
| <b>CSIRO-Mk3-6-0</b> | 1.9° x 1.8°       | Australie   | 4.5 & 8.5           |
| <b>HadGEM2-CC</b>    | 1.9° x 1.2°       | Met Off UK  | 4.5 & 8.5           |
| <b>CanESM2</b>       | 2.8° x 2.8°       | CANADA      | 4.5 & 8.5           |

**Tableau3** : Les CMIP5 utilisés, leur résolution et leur pays d'origine

### **3.1. Choix et justification scénarios climatiques**

L'élaboration de scénarios climatiques pour les études d'impact dans le secteur de l'agriculture exige que l'on choisisse des variables subrogatives aussi pertinentes, que l'on recueille ou que l'on trouve des données appropriées, et que l'on estime la valeur future des variables subrogatives retenues (Ritchie et al., 1998). C'est dans ce contexte que le GIEC (2001) a retenu trois (3) grandes catégories de scénarios climatiques qui sont couramment utilisées dans les évaluations d'incidences. Il s'agit des scénarios incrémentiels, des scénarios par analogies et des scénarios basés sur les modèles climatiques.

Les premiers, dits synthétiques, consistent simplement à ajuster les valeurs de référence en fonction des changements prévus. Ils peuvent être très utiles pour tester la sensibilité d'un système au climat.

Les seconds, analogiques d'un climat modifié, sont extraits et proviennent du passé ou d'autres régions ; ils peuvent fournir des informations intéressantes sur l'incidence des conditions climatiques au-delà des situations actuelles.

Le troisième cas de scénarios, résultats des modèles de circulation générale, est établi en appliquant aux valeurs de référence retenue (1971-2000), l'écart proportionnel ou absolu entre les simulations du climat actuel et du climat futur.

Des trois (3) types de scénarios climatiques, les scénarios incrémentiels et analogiques sont exclus du processus d'élaboration parce que pour les premiers, les ajustements qui les fondent sont arbitraires et ne sont pas forcément réalistes du point de vue météorologique ; pour les seconds, le principe d'analogie ne correspond pas aux objectifs fixés. Ainsi, plusieurs auteurs ont déjà utilisé le modèle expérimental aux atteintes variées de résultats, en Afrique tropicale

notamment, Issa (1995), Hulme (1996), Centella (1999), Parry et al. (1999), Ogouwalé (2004 et 2006), Kamga et Buscarlet (2006), Salack et al. (2006) et Totin (2010). Pour la génération des scénarios climatiques, la seule source d'incertitude demeure les émissions du GES.

Dans le cadre de cette étude, un scénario RCP a été retenu : RCP 4.5 (plus optimiste) où le forçage radiatif (de environ  $4.5 \text{ W/m}^2$ ) et la concentration des gaz à effet de serre (environ 660 ppm) seraient au niveau de stabilisation après 2100.

Les politiques de développement socio-économique, à court et moyen terme, de la Guinée ont été élaborées dans le Document de Stratégies de Réduction de la Pauvreté (DSRP, 2008 ; PNUD, 2012). Les scénarios climatiques élaborés visent à contribuer à la définition des plans et politiques d'adaptation et de mitigation prônés par les pouvoirs publics dans le secteur de l'agriculture afin de réduire les impacts ou d'optimiser les opportunités des changements climatiques futurs. Ces scénarios sont représentatifs de l'éventail possible des changements climatiques et peuvent décrire à suffisance les changements dans un nombre de variables sur des échelles spatio-temporelles permettant d'évaluer les impacts des changements climatiques sur les rendements agricoles Guinée.

#### **IV. Modélisation du climat actuel et futur en Guinée :**

##### ***Utilisation des observations et des produits de modèles couplés Océan Atmosphère***

Le climat actuel de la Guinée est caractérisé à partir des simulations de l'évolution de la température moyenne de l'air et des précipitations aux échelles journalière, mensuelle et annuelle par les modèles climatiques globaux et régionaux qui reproduisent assez parfaitement les observations. Les écarts moyens des températures ( $^{\circ}\text{C}$ ) et des précipitations (mm et %) sont fondés sur l'analyse des observations (1971-2000) considérée comme la période de référence.

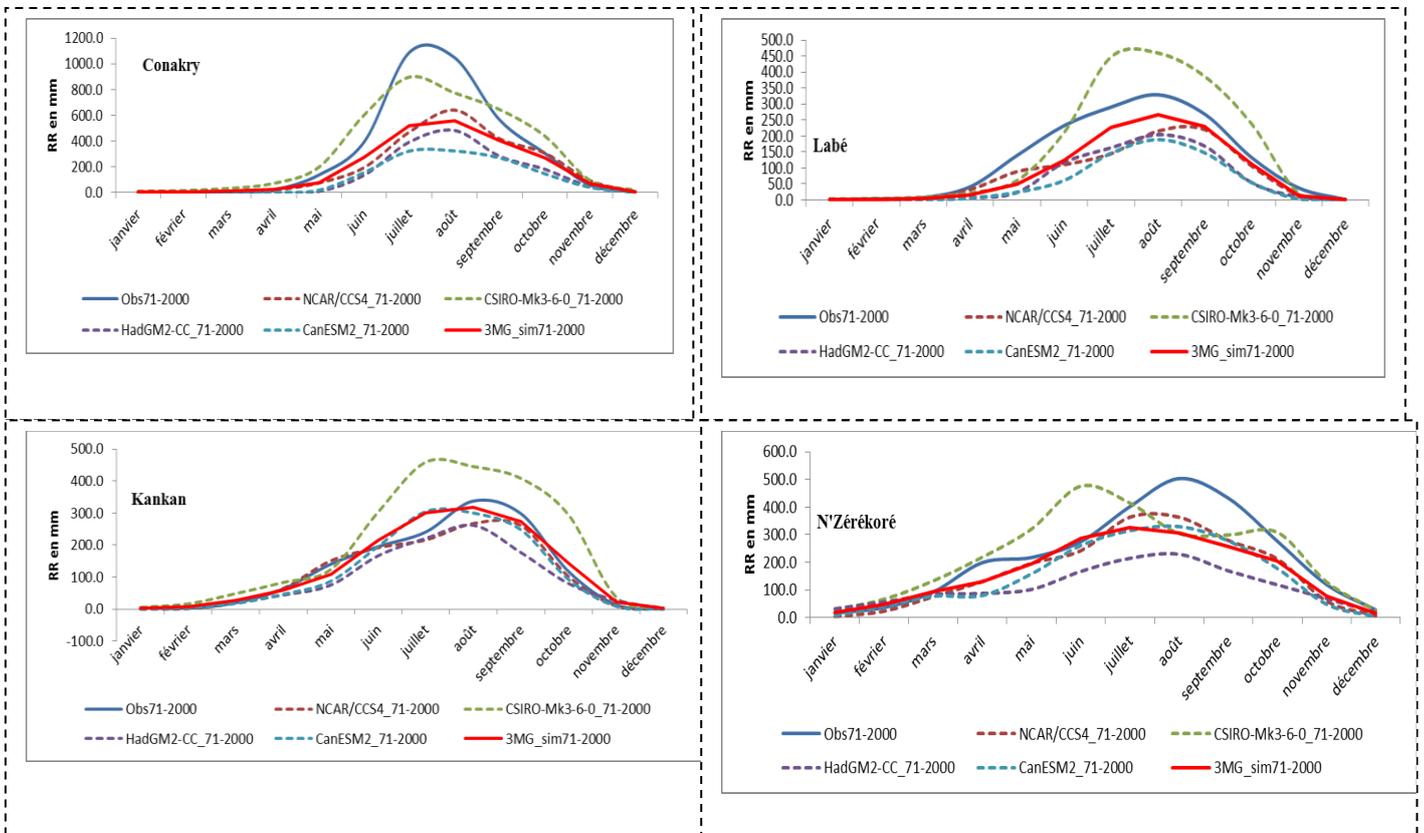
Le choix des périodes est déterminé par la disponibilité d'accès aux données et à la longueur des séries chronologiques. L'évaluation des modèles présentée ici est basée sur la comparaison des écarts types simulés avec la référence, l'erreur quadratique moyenne et la corrélation.

Un aspect important de la validation d'un modèle climatique est l'évaluation de sa capacité à reproduire la variabilité du système climatique. La variabilité interannuelle, les fluctuations saisonnières, le début, le maximum et la fin de la saison des pluies, dont les répercussions sont cruciales sur les activités agricoles de la zone d'étude, sont des éléments déterminants pour qualifier un modèle ou un ensemble multimodèle avant de l'utiliser pour la prévision saisonnière et les projections climatiques (Kamga et Buscarlet, 2006).

Les cycles annuels des moyennes mensuelles des précipitations et des températures simulées par les 4 modèles sur la région d'étude sont analysés. Une appréciation visuelle permet de vérifier comment l'ensemble multimodèle reproduit *a)* l'amplitude, *b)* le début et la fin de la saison, *c)* le nombre et la position des modes.

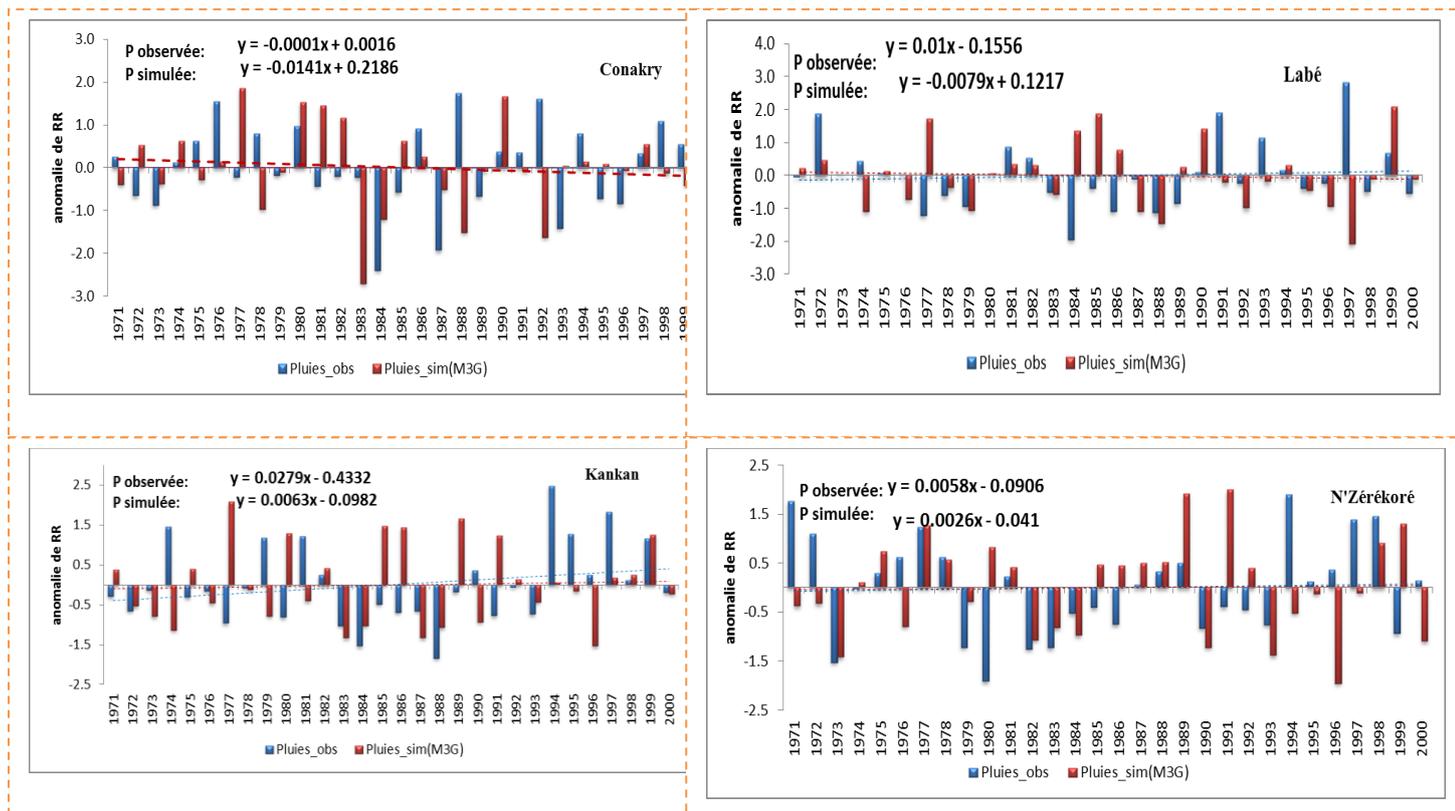
## 4.1. Simulation de la Variabilité pluviométrique :

### 4.1.1. Cycle annuel des précipitations mensuelles observées et simulées



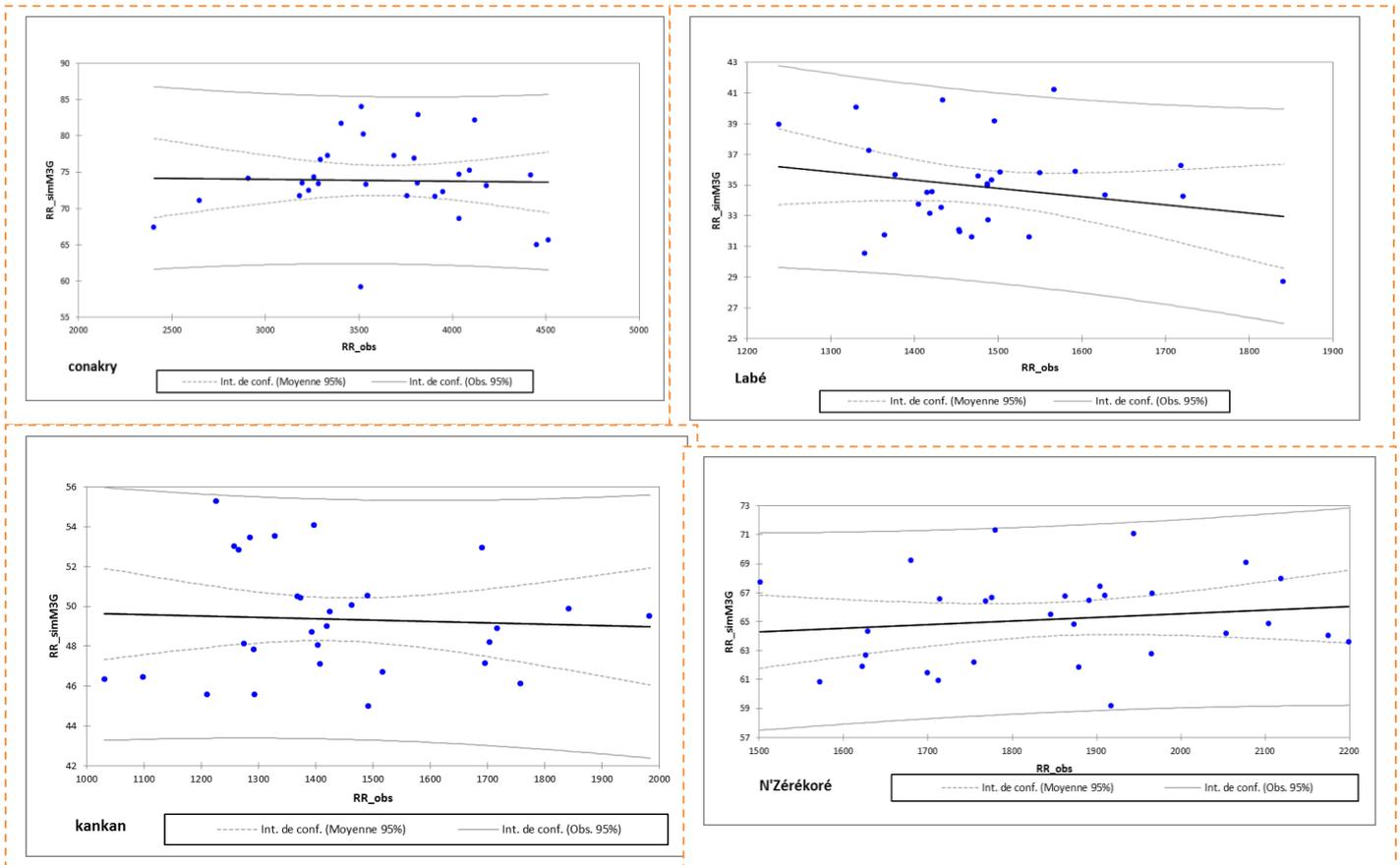
**Figure 10** : Cycle annuel des précipitations mensuelles observées et simulées dans les 4 stations d'observation synoptiques régionales.

## 4.1.2. Tendances Observées et Simulées des Précipitations annuelles



**Figure 11** : Anomalies et Tendence des précipitations annuelles observées et simulées

### 4.1.3. Détermination des coefficients de Corrélation



**Figure 12 :** Corrélation entre Pluie Observée et Simulée pour la période 1971-2000.

### 4.2.4. Ecarts Absolus et Relatifs entre les Observations et les Simulations de Températures Maxi

|      | Conakry |         | Labé   |         | Kankan |         | N'Zérékoré |         |
|------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|------------|---------|
|      | ER (%)  | EA (°C) | ER (%) | EA (°C) | ER (%) | EA (°C) | ER (%)     | EA (°C) |
| 1971 | -1.5    | -0.4    | 16.7   | 4.7     | -6.3   | -2.1    | -1.1       | -0.3    |
| 1972 | -2.4    | -0.7    | 15.6   | 4.5     | -8.0   | -2.7    | -1.8       | -0.5    |
| 1973 | -3.7    | -1.1    | 13.3   | 3.9     | -4.9   | -1.6    | -6.2       | -1.9    |
| 1974 | -0.2    | -0.1    | 15.5   | 4.4     | -4.3   | -1.4    | -3.8       | -1.1    |
| 1975 | -0.7    | -0.2    | 15.7   | 4.5     | -4.5   | -1.4    | -3.6       | -1.1    |
| 1976 | 1.7     | 0.5     | 20.3   | 5.7     | -5.2   | -1.7    | 0.2        | 0.1     |
| 1977 | -1.2    | -0.4    | 16.4   | 4.7     | -5.1   | -1.7    | -3.3       | -1.0    |
| 1978 | -1.0    | -0.3    | 15.7   | 4.5     | -7.9   | -2.6    | -2.3       | -0.7    |
| 1979 | -2.1    | -0.6    | 13.8   | 4.0     | -5.2   | -1.7    | -3.9       | -1.2    |
| 1980 | -0.4    | -0.1    | 15.0   | 4.4     | -5.4   | -1.8    | -1.8       | -0.5    |
| 1981 | -0.5    | -0.2    | 15.5   | 4.5     | -4.5   | -1.5    | -2.5       | -0.7    |
| 1982 | -0.8    | -0.3    | 15.2   | 4.4     | -7.3   | -2.4    | -0.8       | -0.2    |
| 1983 | -2.4    | -0.7    | 12.7   | 3.7     | -6.2   | -2.1    | -3.4       | -1.0    |

|      |      |      |      |     |       |      |      |      |
|------|------|------|------|-----|-------|------|------|------|
| 1984 | -1.7 | -0.5 | 13.6 | 4.0 | -7.1  | -2.4 | -2.5 | -0.7 |
| 1985 | -0.9 | -0.3 | 14.1 | 4.1 | -8.4  | -2.8 | -3.7 | -1.1 |
| 1986 | 0.4  | 0.1  | 16.5 | 4.7 | -8.9  | -3.0 | -2.9 | -0.9 |
| 1987 | -2.9 | -0.9 | 12.1 | 3.6 | -8.4  | -2.8 | -5.5 | -1.7 |
| 1988 | -2.1 | -0.6 | 13.2 | 3.8 | -8.8  | -2.9 | -5.3 | -1.6 |
| 1989 | -1.6 | -0.5 | 15.2 | 4.4 | -9.7  | -3.3 | -5.0 | -1.5 |
| 1990 | -1.1 | -0.3 | 12.8 | 3.8 | -7.3  | -2.5 | -2.9 | -0.9 |
| 1991 | -1.1 | -0.3 | 13.3 | 3.9 | -7.2  | -2.4 | -3.6 | -1.1 |
| 1992 | -1.0 | -0.3 | 16.1 | 4.6 | -7.5  | -2.5 | -3.0 | -0.9 |
| 1993 | -2.4 | -0.7 | 15.3 | 4.4 | -7.4  | -2.5 | -4.4 | -1.3 |
| 1994 | -0.7 | -0.2 | 15.2 | 4.4 | -8.6  | -2.9 | -4.2 | -1.3 |
| 1995 | -2.9 | -0.9 | 13.4 | 3.9 | -10.1 | -3.4 | -5.9 | -1.8 |
| 1996 | -2.1 | -0.6 | 14.5 | 4.2 | -8.6  | -2.9 | -4.0 | -1.2 |
| 1997 | -3.4 | -1.0 | 16.5 | 4.8 | -10.2 | -3.5 | -5.5 | -1.7 |
| 1998 | -5.5 | -1.8 | 13.1 | 3.9 | -7.1  | -2.4 | -5.4 | -1.7 |
| 1999 | -5.8 | -1.8 | 15.5 | 4.5 | -9.0  | -3.1 | -3.7 | -1.1 |
| 2000 | -4.3 | -1.4 | 18.3 | 5.2 | -7.8  | -2.7 | -1.3 | -0.4 |

#### 4.1.4. Ecart Absolu et Relatif entre les observations et les simulations des précipitations

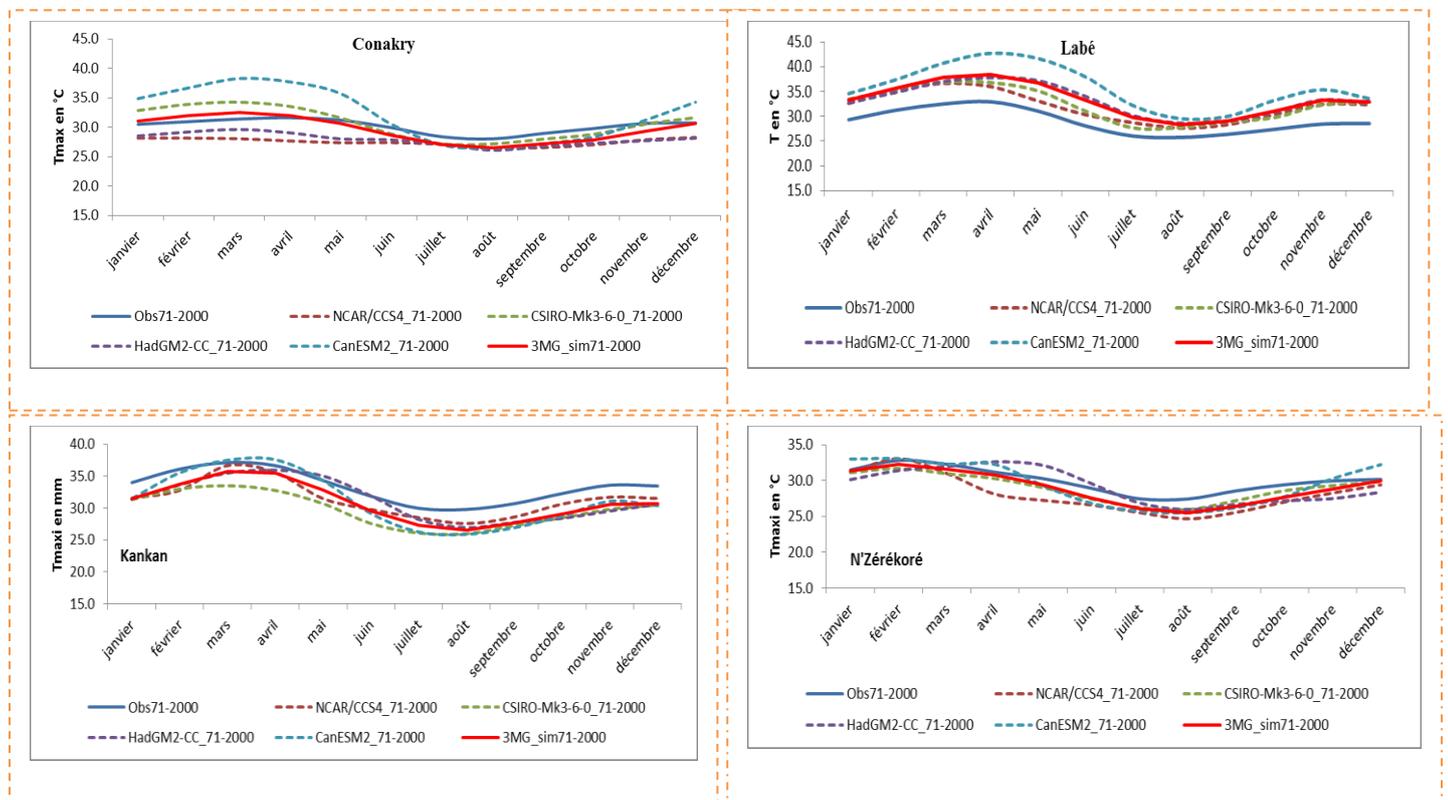
|      | Conakry |        | Labé    |        | Kankan  |        | N'Zérékoré |        |
|------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|------------|--------|
|      | EA (mm) | ER (%) | EA (mm) | ER (%) | EA (mm) | ER (%) | EA (mm)    | ER (%) |
| 1971 | -3687.4 | -98.1  | -1440.7 | -97.6  | -1322.6 | -96.3  | -2111.1    | -97.1  |
| 1972 | -3218.0 | -97.7  | -1682.3 | -97.9  | -1244.1 | -96.3  | -1989.8    | -96.9  |
| 1973 | -3112.4 | -97.7  | -1452.4 | -97.7  | -1360.7 | -96.7  | -1510.9    | -96.1  |
| 1974 | -3612.3 | -97.9  | -1505.7 | -97.9  | -1711.5 | -97.4  | -1780.5    | -96.5  |
| 1975 | -3877.9 | -98.2  | -1456.5 | -97.6  | -1317.7 | -96.3  | -1836.8    | -96.5  |
| 1976 | -4345.2 | -98.3  | -1455.3 | -97.8  | -1355.4 | -96.6  | -1902.6    | -96.8  |
| 1977 | -3430.1 | -97.6  | -1290.3 | -97.0  | -1170.4 | -95.5  | -2008.3    | -96.7  |
| 1978 | -3967.2 | -98.3  | -1370.9 | -97.6  | -1370.0 | -96.5  | -1899.5    | -96.6  |
| 1979 | -3464.1 | -97.9  | -1332.7 | -97.7  | -1648.9 | -97.2  | -1564.3    | -96.1  |
| 1980 | -4038.2 | -98.0  | -1451.7 | -97.6  | -1204.4 | -95.8  | -1433.4    | -95.5  |
| 1981 | -3324.6 | -97.6  | -1556.2 | -97.7  | -1655.2 | -97.2  | -1825.2    | -96.5  |
| 1982 | -3443.5 | -97.7  | -1514.3 | -97.7  | -1439.7 | -96.6  | -1560.3    | -96.2  |
| 1983 | -3449.8 | -98.3  | -1384.9 | -97.7  | -1164.1 | -96.2  | -1563.5    | -96.1  |
| 1984 | -2336.0 | -97.2  | -1198.7 | -96.9  | -1051.6 | -95.8  | -1692.6    | -96.5  |
| 1985 | -3256.9 | -97.7  | -1393.1 | -97.2  | -1275.4 | -96.0  | -1709.6    | -96.2  |
| 1986 | -4017.2 | -98.2  | -1308.5 | -97.2  | -1231.1 | -95.8  | -1647.3    | -96.1  |
| 1987 | -2574.5 | -97.3  | -1437.0 | -97.8  | -1247.3 | -96.5  | -1796.0    | -96.4  |
| 1988 | -4448.0 | -98.5  | -1309.5 | -97.7  | -984.1  | -95.5  | -1843.6    | -96.5  |
| 1989 | -3211.3 | -97.8  | -1340.7 | -97.4  | -1342.5 | -96.1  | -1872.9    | -96.3  |
| 1990 | -3733.7 | -97.8  | -1456.5 | -97.4  | -1470.5 | -96.9  | -1637.9    | -96.4  |
| 1991 | -3738.5 | -98.1  | -1687.1 | -98.0  | -1212.3 | -95.8  | -1708.8    | -96.0  |
| 1992 | -4387.5 | -98.5  | -1422.1 | -97.8  | -1374.5 | -96.5  | -1702.0    | -96.2  |
| 1993 | -2833.1 | -97.5  | -1593.1 | -97.9  | -1226.6 | -96.2  | -1651.3    | -96.4  |
| 1994 | -3961.7 | -98.2  | -1466.3 | -97.6  | -1933.6 | -97.5  | -2135.8    | -97.1  |
| 1995 | -3185.7 | -97.7  | -1398.1 | -97.7  | -1668.1 | -97.2  | -1808.5    | -96.5  |
| 1996 | -3123.6 | -97.7  | -1421.1 | -97.8  | -1446.0 | -97.0  | -1858.3    | -96.9  |

|      |         |       |         |       |         |       |         |       |
|------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| 1997 | -3718.9 | -98.0 | -1811.9 | -98.4 | -1791.9 | -97.3 | -2039.5 | -96.9 |
| 1998 | -4111.0 | -98.3 | -1386.2 | -97.6 | -1412.1 | -96.6 | -2050.7 | -96.8 |
| 1999 | -3834.6 | -98.2 | -1525.7 | -97.4 | -1637.8 | -96.9 | -1610.9 | -95.9 |
| 2000 | -3158.5 | -97.8 | -1380.6 | -97.6 | -1344.1 | -96.5 | -1817.1 | -96.7 |

**Tableau 4** : Ecart absolu (mm) et relatif (%) en précipitations observées et simulées.

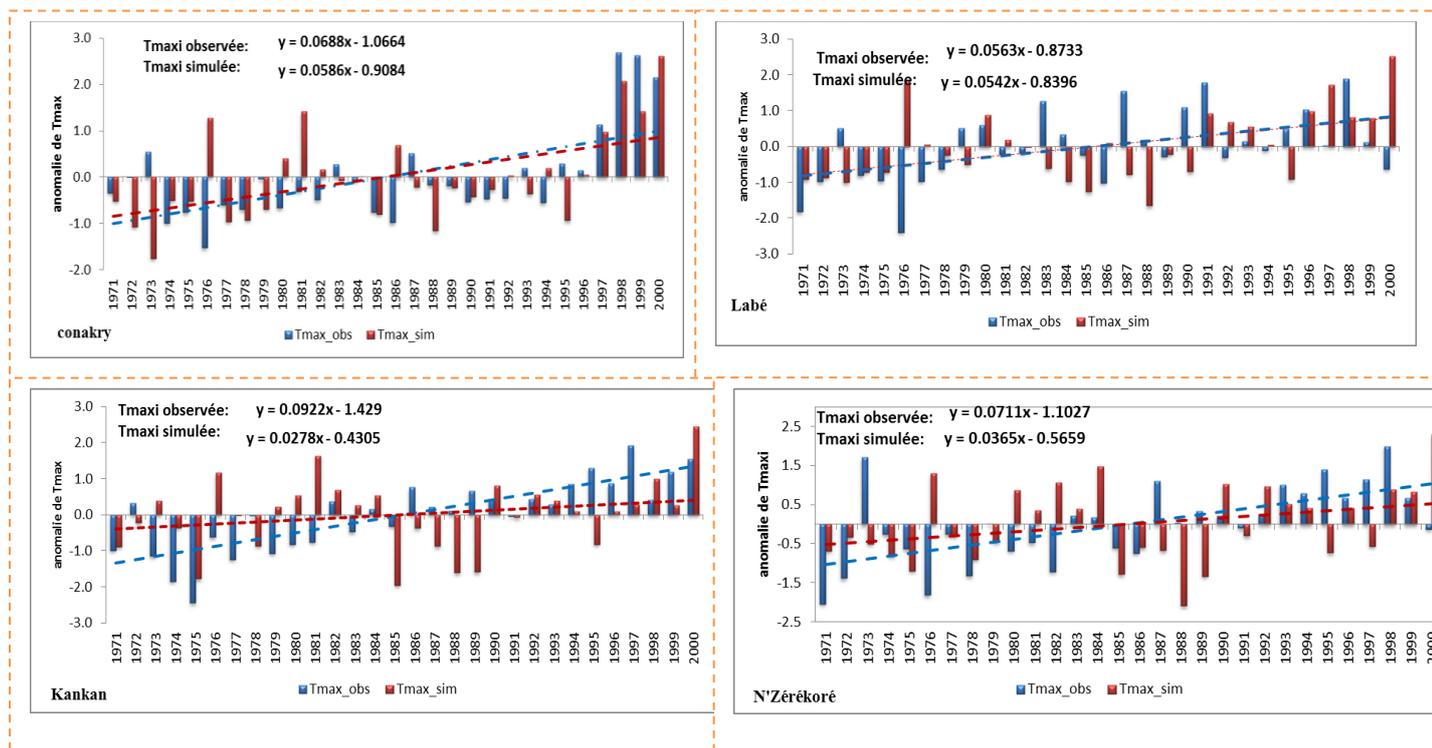
## 4.2. Simulation de la Variabilité Thermométrique

### 4.1.1. Cycle annule des Températures maxi mensuelles observées et simulées



**Figure 13** : Cycle annuel des températures maxi mensuelles observées et simulées

## 4.2.2. Tendence Observée et Simulée des Températures Maxi annuelles



**Figure 14** : Anomalies et Tendence des températures maxi annuelles observées et simulées

### 4.2.3. Détermination des Coefficient de Corrélation

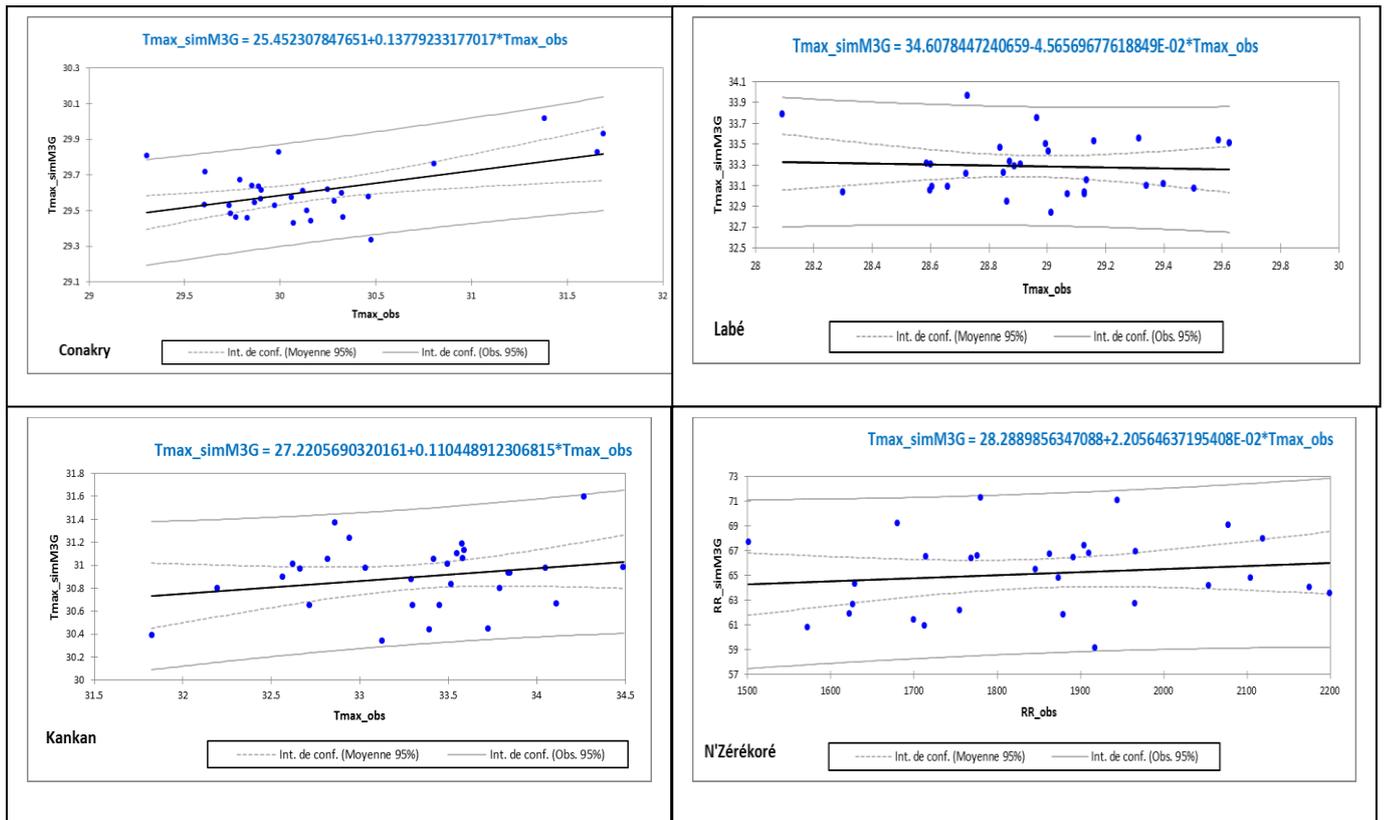


Figure 15 : Corrélation entre Températures maxi observées et simulées

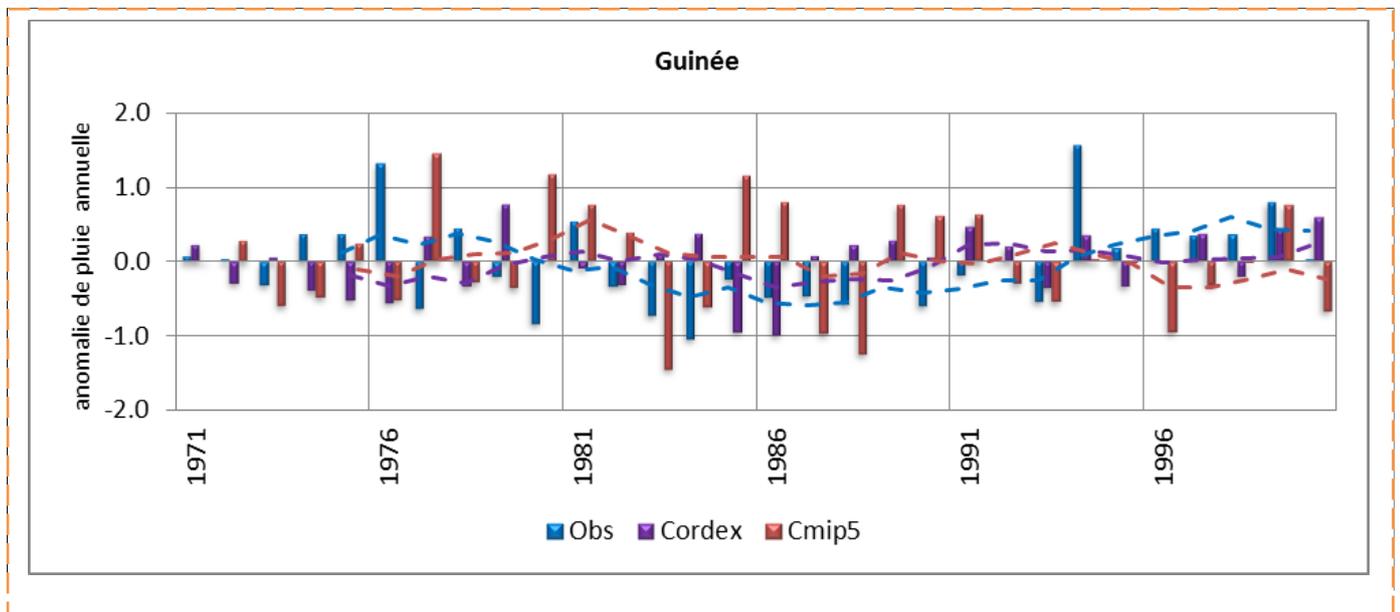
### 4.2.4. Ecart Absolu et Relatif entre Températures Maxi annuelles Observées et Simulées

|      | Conakry |         | Labé   |         | Kankan |         | N'Zérékoré |         |
|------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|------------|---------|
|      | ER (%)  | EA (°C) | ER (%) | EA (°C) | ER (%) | EA (°C) | ER (%)     | EA (°C) |
| 1971 | -1.5    | -0.4    | 16.7   | 4.7     | -6.3   | -2.1    | -1.1       | -0.3    |
| 1972 | -2.4    | -0.7    | 15.6   | 4.5     | -8.0   | -2.7    | -1.8       | -0.5    |
| 1973 | -3.7    | -1.1    | 13.3   | 3.9     | -4.9   | -1.6    | -6.2       | -1.9    |
| 1974 | -0.2    | -0.1    | 15.5   | 4.4     | -4.3   | -1.4    | -3.8       | -1.1    |
| 1975 | -0.7    | -0.2    | 15.7   | 4.5     | -4.5   | -1.4    | -3.6       | -1.1    |
| 1976 | 1.7     | 0.5     | 20.3   | 5.7     | -5.2   | -1.7    | 0.2        | 0.1     |
| 1977 | -1.2    | -0.4    | 16.4   | 4.7     | -5.1   | -1.7    | -3.3       | -1.0    |
| 1978 | -1.0    | -0.3    | 15.7   | 4.5     | -7.9   | -2.6    | -2.3       | -0.7    |
| 1979 | -2.1    | -0.6    | 13.8   | 4.0     | -5.2   | -1.7    | -3.9       | -1.2    |
| 1980 | -0.4    | -0.1    | 15.0   | 4.4     | -5.4   | -1.8    | -1.8       | -0.5    |
| 1981 | -0.5    | -0.2    | 15.5   | 4.5     | -4.5   | -1.5    | -2.5       | -0.7    |
| 1982 | -0.8    | -0.3    | 15.2   | 4.4     | -7.3   | -2.4    | -0.8       | -0.2    |
| 1983 | -2.4    | -0.7    | 12.7   | 3.7     | -6.2   | -2.1    | -3.4       | -1.0    |
| 1984 | -1.7    | -0.5    | 13.6   | 4.0     | -7.1   | -2.4    | -2.5       | -0.7    |
| 1985 | -0.9    | -0.3    | 14.1   | 4.1     | -8.4   | -2.8    | -3.7       | -1.1    |
| 1986 | 0.4     | 0.1     | 16.5   | 4.7     | -8.9   | -3.0    | -2.9       | -0.9    |
| 1987 | -2.9    | -0.9    | 12.1   | 3.6     | -8.4   | -2.8    | -5.5       | -1.7    |

|      |      |      |      |     |       |      |      |      |
|------|------|------|------|-----|-------|------|------|------|
| 1988 | -2.1 | -0.6 | 13.2 | 3.8 | -8.8  | -2.9 | -5.3 | -1.6 |
| 1989 | -1.6 | -0.5 | 15.2 | 4.4 | -9.7  | -3.3 | -5.0 | -1.5 |
| 1990 | -1.1 | -0.3 | 12.8 | 3.8 | -7.3  | -2.5 | -2.9 | -0.9 |
| 1991 | -1.1 | -0.3 | 13.3 | 3.9 | -7.2  | -2.4 | -3.6 | -1.1 |
| 1992 | -1.0 | -0.3 | 16.1 | 4.6 | -7.5  | -2.5 | -3.0 | -0.9 |
| 1993 | -2.4 | -0.7 | 15.3 | 4.4 | -7.4  | -2.5 | -4.4 | -1.3 |
| 1994 | -0.7 | -0.2 | 15.2 | 4.4 | -8.6  | -2.9 | -4.2 | -1.3 |
| 1995 | -2.9 | -0.9 | 13.4 | 3.9 | -10.1 | -3.4 | -5.9 | -1.8 |
| 1996 | -2.1 | -0.6 | 14.5 | 4.2 | -8.6  | -2.9 | -4.0 | -1.2 |
| 1997 | -3.4 | -1.0 | 16.5 | 4.8 | -10.2 | -3.5 | -5.5 | -1.7 |
| 1998 | -5.5 | -1.8 | 13.1 | 3.9 | -7.1  | -2.4 | -5.4 | -1.7 |
| 1999 | -5.8 | -1.8 | 15.5 | 4.5 | -9.0  | -3.1 | -3.7 | -1.1 |
| 2000 | -4.3 | -1.4 | 18.3 | 5.2 | -7.8  | -2.7 | -1.3 | -0.4 |

**Tableau 5** : Ecart absolu (mm) et relatif (%) en Températures Maxi observées et simulées

#### 4.2.5. Les précipitations Observées, simulées par CMIP 5 et CORDEX



**Figure 16** : Les GCM et les RCM comparés aux Observations sur les 12 stations synoptiques pour la période 1971-2000.

#### 4.3. Evaluation de la performance de l'approche Multimodèle

La performance de l'approche multimodèle quant à reproduire au mieux le comportement climatique en Guinée a été évalué à partir de la comparaison des données simulées à celles observées. Tout d'abord, les observations comparées aux simulations des modèles globaux (CMIP5). Ensuite, ces mêmes observations comparées aux simulations des modèles régionales (RCM/CORDEX). Les cycles annuels et les tendances des précipitations et

températures maxi et mini moyennes mensuelles ont été analysés et les écarts entre les observations et les simulations ont été calculés. Il en ressort que :

- Les modèles globaux de climat ont encore beaucoup de biais dans leur simulation, notamment pour les paramètres comme les précipitations (Phillips & Gleckler, 2006) l'une des plus importantes variables climatiques. Bien que les modèles couplés reproduisent, dans certains cas les quantités peu proche des pluies observées (amplitude, cycles saisonniers, modes, etc.), ils donnent une représentation peu précise des variations inter saisonnières et des événements extrêmes. Toutefois, dans la majeure partie des cas où ces modèles globaux ont assez bien simulés les observations (variation interannuelle), ceci correspondait très souvent à des années el niño. Ceci pourrait expliquer les précipitations à forçage locale ou globale.

Au regard des résultats obtenus, on ne peut pas exclure, même si les moyennes simulées s'accordent avec les observations, qu'il y a encore de biais important notamment sur la variabilité spatiale ou l'amplitude et la phase du cycle saisonnier. Ces déficiences qui sont à la base des incertitudes sur les précipitations simulées pourraient également être à l'origine de la meilleure performance des moyennes multimodèles.

Les modèles couplés Océan-Atmosphère sur l'Afrique tropicale ont du mal à simuler correctement la mousson atlantique, car ils reproduisent mieux les précipitations sur le nord du continent américain que sur le continent africain (Folland et al., 1986). Cela peut s'expliquer par le fait que le mécanisme de la mousson africaine n'est toujours pas bien compris, ou même par le faible nombre de stations d'observation en Afrique de l'Ouest. En dépit de ce qui semble vrai, nombre d'études dont celles de Giannini et al., 2003; Lu & Delworth, 2005 et Hoerling et al., 2006 ont montré que les modèles forcés avec les valeurs observées des températures de surface de la mer arrivent à reproduire assez correctement le climat Sahel, notamment la tendance à la baisse des précipitations des années 1950 aux années 1980. Cependant les modèles couplés océan - atmosphère ont du mal à reproduire cette tendance.

En bref, les champs moyens et le cycle annuel de la température de surface et des précipitations sont correctement simulés, même si quelques écarts aux observations sont mis en évidence : sous-estimation ou surestimation de précipitations, début de la saison des pluies en avance ou en retard d'un mois. La simulation reproduit aussi correctement la variabilité interannuelle de la température et celle des précipitations en Guinée. Ainsi, au terme de l'analyse menée, et en dépit de ses imperfections, l'approche multimodèle

apparaît comme un outil appréciable pour étudier les futurs changements climatiques et leurs impacts potentiels en Guinée.

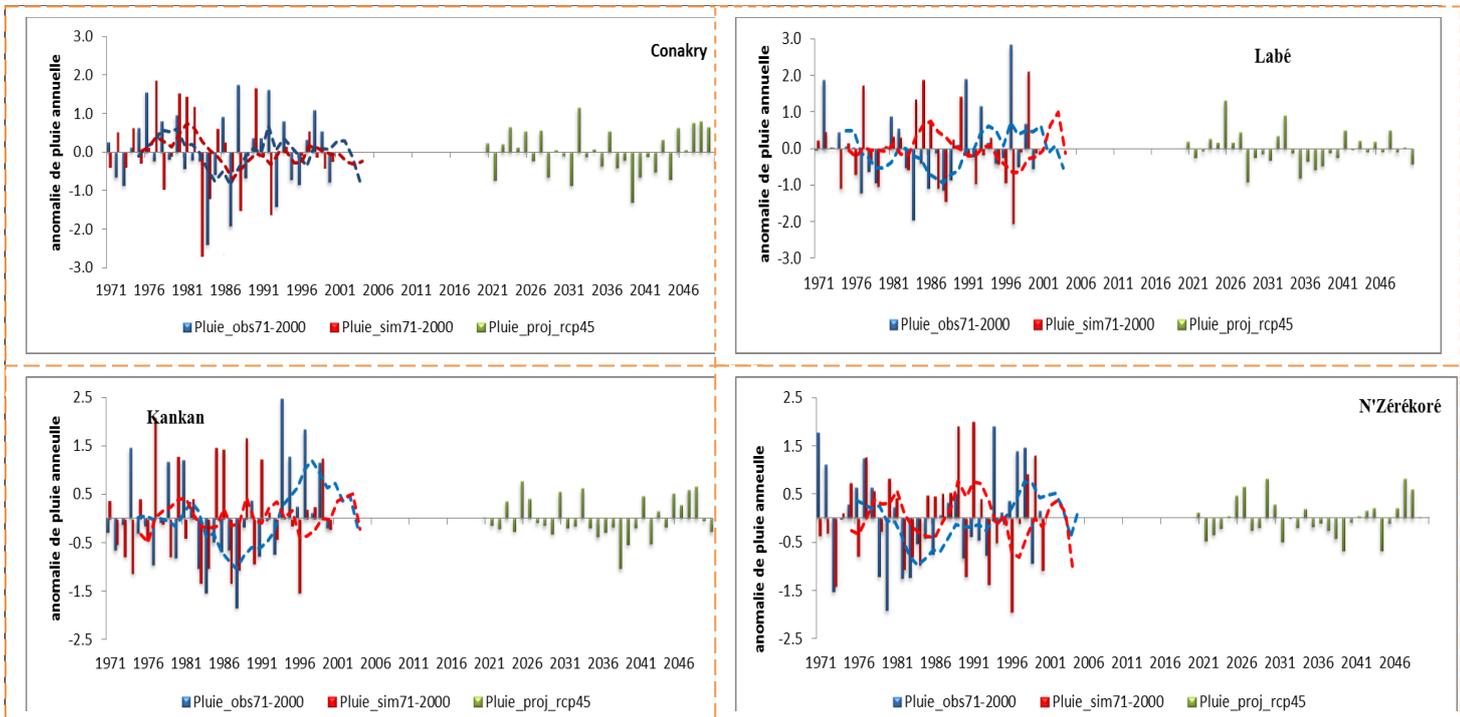
En ce qui concerne, la question qui de CMIP5 ou de CORDEX simule de mieux les observations en guinée ? En terme de variabilité sur la période de référence 1971-2000, le second se comporte mieux.

#### **4.4. Projections climatiques futures en Guinée**

L'ensemble multimodèle couplé Océan-Atmosphère a reproduit assez correctement les tendances observées sur les périodes passées et actuelles sur la période 1971-2000. Cette analyse a montré certes ses limites mais elle a permis d'étudier les projections climatiques futures aux horizons 2020-2050. Cependant, ces projections climatiques restent encore incertaines en termes de modes de variabilité ; la multiplication des modèles n'a fait qu'élargir le spectre des réponses possibles au forçage anthropique (Dai, 2006).

La moyenne multimodèle a souvent été utilisée afin de représenter le changement climatique, mais cette méthode peut induire en erreur non seulement en donnant l'impression qu'une seule valeur déterministe peut être offerte avec assurance mais également en ne fournissant pas d'informations sur la plage des valeurs données par tous les modèles, qui sont tous individuellement capables d'établir une projection du climat (Harrison et Boulahya (2010). Dans l'idéal, tous les résultats seraient présentés en termes de probabilités plutôt qu'en termes de valeurs déterministes, mais l'on s'attend à ce que les probabilités calculées à partir de l'ensemble multimodèle manquent de fiabilité ; Les tableaux 6 et 7 présentent les résultats des changements des précipitations et de températures en guinée, selon les scénarios les scénarios RCP 4.5 qui définissent l'évolution du forçage radiatif sur la période 2020-2050 au sommet de l'atmosphère.

#### 4.4.1. Projections des précipitations moyennes aux horizons 2020-2050

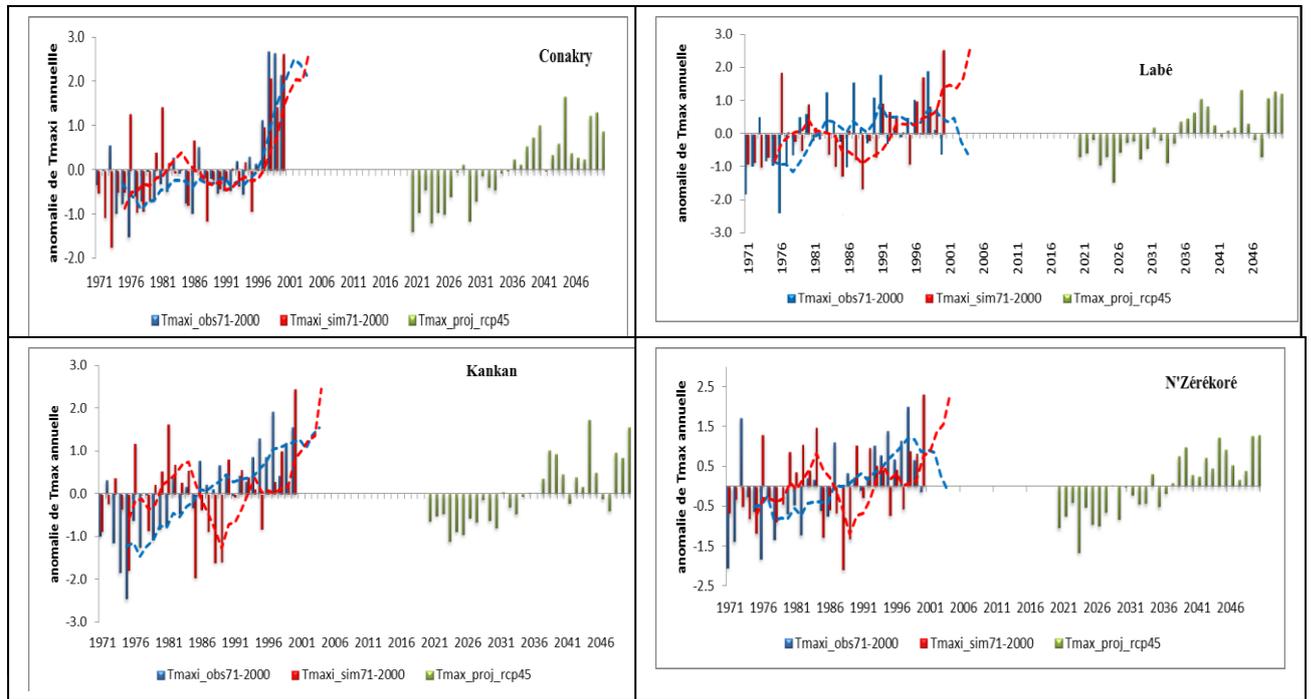


**Figure 16 :** Pluies Observées et simulées (1971-2000), projetées (2020-2050) selon le scénario rcp 4.5.

|                  | Conakry |     | Labé |     | Kankan |     | N'Zérékoré |     |
|------------------|---------|-----|------|-----|--------|-----|------------|-----|
|                  | (mm)    | (%) | (mm) | (%) | (mm)   | (%) | (mm)       | (%) |
| <b>Janvier</b>   | -4      | -96 | -1   | -98 | -2     | -95 | -18        | -96 |
| <b>Février</b>   | -6      | -97 | -2   | -97 | -8     | -97 | -46        | -97 |
| <b>Mars</b>      | -12     | -98 | -4   | -97 | -26    | -97 | -90        | -97 |
| <b>Avril</b>     | -24     | -97 | -16  | -97 | -58    | -97 | -126       | -97 |
| <b>Mai</b>       | -72     | -97 | -48  | -97 | -106   | -97 | -189       | -97 |
| <b>Juin</b>      | -263    | -97 | -121 | -97 | -208   | -97 | -277       | -97 |
| <b>Juillet</b>   | -504    | -97 | -219 | -97 | -291   | -97 | -316       | -97 |
| <b>Août</b>      | -536    | -97 | -258 | -97 | -307   | -96 | -297       | -97 |
| <b>Septembre</b> | -389    | -96 | -223 | -97 | -264   | -97 | -248       | -97 |
| <b>Octobre</b>   | -259    | -97 | -109 | -97 | -138   | -97 | -197       | -96 |
| <b>Novembre</b>  | -66     | -97 | -12  | -96 | -21    | -97 | -74        | -97 |
| <b>Décembre</b>  | -7      | -98 | -1   | -98 | -2     | -98 | -14        | -97 |

**Tableau 1 :** Changements (absolu et relatif) des précipitations aux horizons 2020-2050. Valeurs calculées par rapport à la climatologie de référence selon le scénario RCP 45.

#### 4.4.1. Projections des températures maxi moyennes aux horizons 2020-2050



**Figure 17 :** Températures Maxi Observées et simulées (1971-2000), projetées (aux horizons 2020-2050) selon le scénario rcp 4.5.

|           | Conakry |     | Labé    |     | Kankan  |     | N'Zérékoré |     |
|-----------|---------|-----|---------|-----|---------|-----|------------|-----|
|           | T° Proj | Ec  | T° Proj | Ec  | T° Proj | Ec  | T° Proj    | Ec  |
| Janvier   | 32.3    | 1.2 | 35.0    | 1.6 | 32.9    | 1.5 | 32.6       | 1.2 |
| Février   | 33.2    | 1.2 | 37.3    | 1.6 | 35.3    | 1.6 | 33.6       | 1.3 |
| Mars      | 33.7    | 1.1 | 39.4    | 1.6 | 37.2    | 1.4 | 32.9       | 1.3 |
| Avril     | 33.1    | 1.1 | 39.8    | 1.5 | 37.4    | 1.9 | 32.5       | 1.7 |
| Mai       | 31.8    | 1.2 | 38.4    | 1.6 | 35.1    | 2.2 | 31.0       | 1.6 |
| Juin      | 30.0    | 1.4 | 35.1    | 1.8 | 31.2    | 1.6 | 28.7       | 1.1 |
| Juillet   | 28.2    | 1.2 | 31.9    | 2.2 | 28.7    | 1.4 | 27.2       | 1.1 |
| Août      | 27.6    | 1.1 | 30.3    | 2.0 | 27.9    | 1.3 | 26.6       | 1.1 |
| Septembre | 28.1    | 1.0 | 30.4    | 1.4 | 28.8    | 1.2 | 27.5       | 1.1 |
| Octobre   | 28.9    | 1.0 | 32.6    | 1.5 | 30.3    | 1.2 | 28.6       | 1.0 |
| Novembre  | 30.2    | 0.9 | 35.0    | 1.7 | 31.8    | 1.3 | 30.0       | 1.2 |
| Décembre  | 31.8    | 1.2 | 34.5    | 1.6 | 32.3    | 1.6 | 31.4       | 1.4 |

**Tableau7 :** Changements absolus de la variation des températures maxi moyennes mensuelles aux horizons 2020-2050. Les écarts sont calculés par rapport à la climatologie de référence selon le scénario **rcp4.5**. T°Pproj= Températures projetées et Ec=Écarts absolus des T°C

Les projections des températures maxi annuelles calculées prévoient une augmentation de l'ordre de variant de +1.1°C à + 2.1° pour le scénario RCP 45 plus sec aux horizons 2020-2050.

Pour ce dernier, la tendance à la hausse des températures semble régulière et continue dans toute la période de 30 ans et le taux moyen d'augmentation est de l'ordre de 0.3 à 0.4 °C par décennie.

## **5. CALCUL D'INDICES CLIMATIQUES**

### **5.1. Utilisation de RCLIMDEX**

Le Quatrième Rapport du GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) conclut, sur la base des faits observés, que de nombreux systèmes naturels, sont touchés par des changements climatiques régionaux, particulièrement par des augmentations de température. Le réchauffement du climat est révélé par les changements concernant le niveau de la mer, la couverture neigeuse, la superficie des glaciers et les précipitations. Les changements climatiques ont également eu des incidences importantes sur le système socio-économique. En fait, notre vulnérabilité aux phénomènes climatiques s'accroît avec l'augmentation des populations, l'urbanisation et notre dépendance croissante aux infrastructures de transport, de communication et de distribution d'énergie.

Ce sont plutôt les phénomènes climatiques extrêmes qui affectent davantage l'écosystème et la société. Au cours de ces dernières années les extrêmes climatiques ne cesse pas de battre des records. Selon le rapport du GIEC, depuis cinquante ans, des indices d'un changement pour différents types d'événements climatiques extrêmes ont été détectées dans plusieurs régions du monde, notamment en Afrique.

Les indices décrivent l'évolution des extrêmes simples (nombre de jours de gel par exemple) ou des événements climatiques (vagues de froid). Les indices sont calculés série par série et utilisent des seuils absolus (nombre de jours sans dégel par exemple) ou relatifs (nombre de jours au-dessus d'une climatologie).

La signification des évolutions est examinée via un test sur le coefficient de Spearman (corrélation des rangs). Différents angles de vues sont proposés pour étudier les évolutions climatiques.

Pour contrôler de manière fiable et détecter le changement climatique en Guinée, nous avons calculés des indices, qui eux, devraient contenir des variations causées par des phénomènes climatiques uniquement.

Il y a deux aspects à considérer lors de la construction de ces indices. Premièrement, les données quotidiennes originales devraient être homogènes, c'est à dire être à l'abri des variations non liées au climat. Le but de l'homogénéisation est de Le but de l'homogénéisation des données de climat est d'ajuster les observations, si nécessaire, de sorte que les variations temporelles dans les données de réglage sont provoquées uniquement par des processus climatiques. Deuxièmement, la méthode pour construire les indices ne devrait pas introduire une variation supplémentaire.

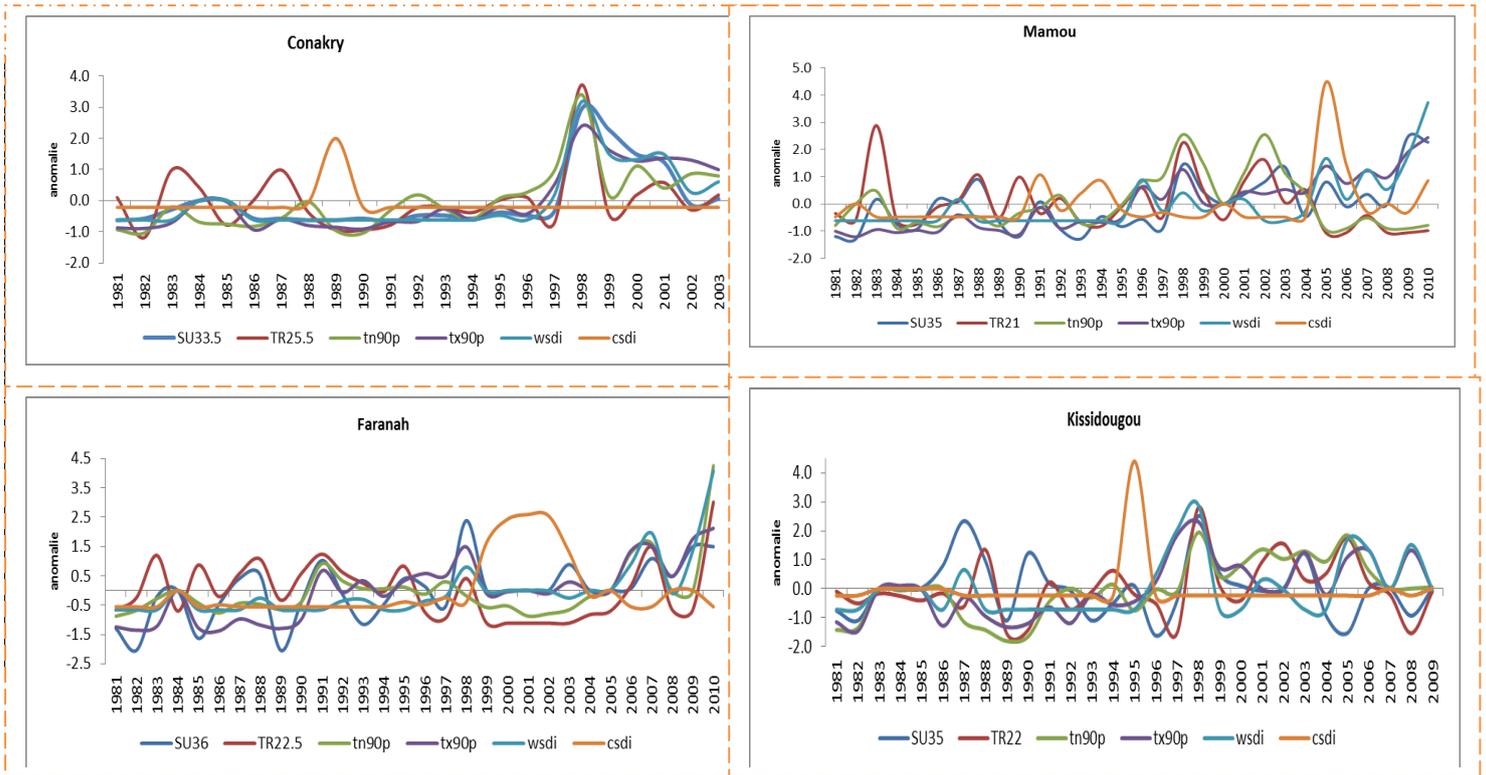
## 5.2. Définitions

Les extrêmes utilisés comme indicateurs des changements climatiques ont un contexte beaucoup plus large. Alors que certains des indices relèveraient de la définition traditionnelle, la plupart ne le font pas. Il est important de faire cette distinction lors de l'analyse des indices depuis seulement un très petit nombre peut être supposé suivre une distribution des valeurs extrêmes.

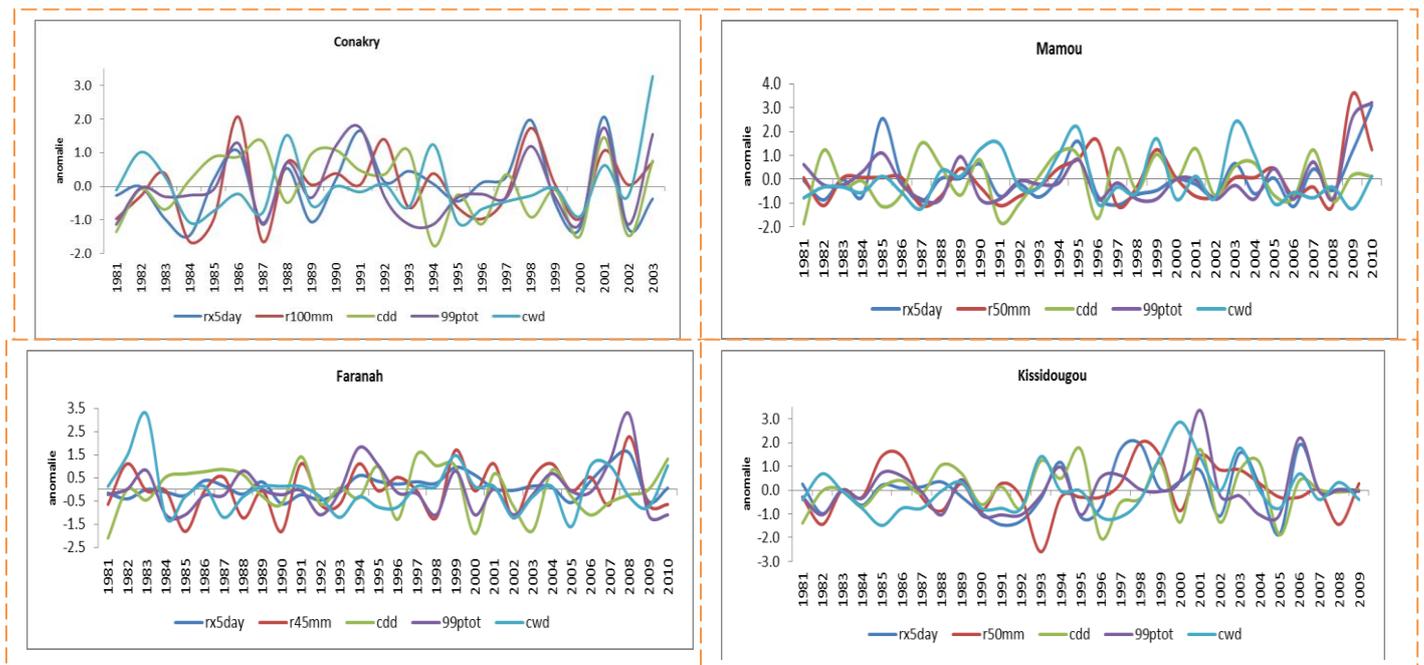
Certains de ces indices sont utilisés plus fréquemment que d'autres. Différents groupes de recherche peuvent définir différents indices à leurs besoins particuliers. Un total de 27 indices a été considéré comme des indices de base. Ils sont basés sur les valeurs quotidiennes de températures et de précipitations. Certains sont basés sur des seuils fixes qui sont pertinents pour des applications particulières. Dans ce cas-ci, certains seuils sont les mêmes pour toutes les stations. D'autres indices sont basés sur des seuils qui varient d'un endroit à l'autre. Dans ces cas, les seuils sont généralement définis comme un percentile de la série de données pertinente. Les détails sur certains indices que nous avons calculés est dans le tableau 8 ci-dessous.

| No | INDICES               | DESCRIPTION                                  | FORMULE  | INTERPRETATION                             |
|----|-----------------------|--|--|--|
| 1  | <b>SU</b>             | Le nombre de jours d'été                     | No de jrs TX>25°C  | No de jrs ; seuil fixé                     |
| 2  | <b>TR</b>             | Le nombre nuits tropicales                   | No de jrs TN>20 °C   | No de jrs; seuil fixé                      |
| 3  | <b>TN10p ou TX10p</b> | Les Jours ou nuits relativement (froids(es)) | No. de jrs TN < 10p  | No de jrs; seuil fixé suivant cycle annuel |
| 4  | <b>TN90p</b>          | Nuits relativement chaudes                   |  | Voir TN10p                                 |
| 6  | <b>TX90p</b>          | Jours relativement chauds                    | Voir TN10p   | Voir TN10p                                 |
| 7  | <b>WSDI</b>           | Nombre de jours de vagues de chaleur         | No de jours durant des intervalles d'au moins 6 jours avec TX> 5 ° C + moyenne calculée pour chaque jour du calendrier | No de 6 jrs ou plus;                       |
| 8  | <b>CSDI</b>           | Nombre de jours de vagues de froids          | Voir WSDI  | Voir WSDI                                  |
| 9  | <b>Rx5days</b>        | Maxi de cumul de pluie sur 5 jours           |  | No de jrs                                  |
| 10 | <b>Rnnmm</b>          | Précip défini par l'utilisateur              | No de jrs où la précip>= au seuil défini par l'utilisateur   | No de jrs ; seuil fixé                     |
| 11 | <b>CWD</b>            | Nombre maxi de pluie consécutive (p humide)  | No de jrs où RR>= 1mm  | No de jrs                                  |
| 12 | <b>CDD</b>            | Période sèche la plus longue                 | No de jrs où RR<=1mm   | No de jrs                                  |
| 13 | <b>R95pTOT</b>        | Precip annuelle                              | Précip totale où RR>95p  | No de jrs                                  |

**Tableau 8 :** Caractéristiques de Quelques indices calculés



**Figure 18 :** Indices relatifs à la température (Jours/Nuits d'été/tropicales, les jours extrêmement chauds ou froids, ainsi le nombre maximal de la période de chaleur ou de froid).



**Figure 19 :** Indices relatifs à la précipitation (le nombre de jour de 5 jrs de précip, celui du nombre de jrs de RR  $\geq$  100 mm (Conakry), 50 mm (Mamou et Kissidougou), 45 mm (Faranah). Ainsi celui de la durée maxi de la période humide ou sèche.

### 5.3. Tendance Observée

Les figures 18 et 19 présentent les évolutions en Guinée (quatre stations synoptique d'observation sur 12) sur la période de 1981-2010, 1981-2009, 1981-2003 respectivement pour Mamou et Faranah, Kissidougou, et Conakry. La significativité est établie à travers un test sur le coefficient de Spearman (corrélation des rangs) avec une confiance de 95.

La plupart des tendances sont statistiquement significatifs.

Le CDD est en baisse annuelle à Conakry et à Faranah de l'ordre respectivement de 10 jours et 5 jours/décennie. Pendant ce temps, le CWD montre des évolutions nettement plus marquées sur l'année et traduisent un allongement des périodes pluvieuses à Conakry. Toute fois celui-ci reste sans tendance à Mamou

Les indices Tn10p (respectivement Tn90p), Tx10p (respectivement Tx90p) sont en augmentation significative sur toutes les stations. Toutefois, on constate une augmentation plus nette pour Tx90p que pour Tn90p (ce qui veut dire que les températures maximales relativement chaudes ont proportionnellement plus augmenté que les températures minimales relativement chaudes).

On note aussi une grosse majorité de hausses (non significatives en général) pour les indices 99pTOT (surtout à Conakry).

En détail on remarque que sur ces certains indices que l'augmentation des extrêmes chauds et la diminution des extrêmes froids, plus nettement sur les minimales que sur les maximales.

Les précipitations présentent un signal moins net, les cas se concentrent dans les parties non significatives.

En termes d'évolutions et tendances observées en Guinée:

- ✓ L'évolution des indices thermiques indique une tendance vers le réchauffement
- ✓ Celle des indices pluviométriques une tendance vers l'assèchement surtout en fin de la saison pluvieuse; période importante pour l'agriculture
- ✓ Tendance vers la migration du climat à caractère semi-aride vers le Nord du pays.

### CONCLUSION

L'analyse des données (observations) climatiques montre qu'en Guinée, les trois (3) dernières décennies ont été caractérisées par l'évolution très marquées, en particulier par épisode de sécheresse significative, une tendance à la hausse de la température de +1°C et à la baisse des hauteurs pluviométriques de -10%. La projection de climat aux horizons 2020-2050 a été réalisée grâce à l'analyse de données des modèles globaux (CMIP 5) et régionaux (CORDEX), en utilisant les moyennes des Multimodeles suivant un scénario RCP 4.5.

La tendance générale est obtenue par rapport à la moyenne des 12 stations d'observations.

Les résultats indiquent une augmentation de la température variant de 20.1°C à 4.1°C, accompagnée d'une légère augmentation des précipitations, de l'ordre de 1% à 3.2%.

L'analyse des indices climatiques a montré que pendant ces trois (3) dernières décennies, la tendance du climat Guinéen a migré vers un climat à caractère semi-aride.

## *Références bibliographiques*

- Beniston M.**, 2012 : Changements climatiques et impacts : du global au local. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR), Lausanne, Switzerland, 2e édition.
- Biasutti M, Held IM, Sobel AH, Giannini A** (2008) SST Forcings and Sahel Rainfall Variability in Simulations of the Twentieth and Twenty-First Centuries. *J Clim* 21: 3471-3486
- Bigot S.**, 1997. Les précipitations et la convection profonde en Afrique centrale : cycle saisonnier, variabilité interannuelle et impact sur la végétation. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Centre de Recherches de Climatologie, Dijon. 289 p.
- Boko M.**, 1988. Climats et communautés rurales au Bénin : rythmes climatiques et rythmes du développement. Thèse de Doctorat d'Etat. 2 tomes, CRC, URA 909 CNRS, Université de Bourgogne, Dijon 601 p.
- Boko M.**, 2009. Les changements climatiques en Afrique : opportunités et contraintes pour l'adaptation et la mitigation, International workshop on adaptation to Climate change in West African agriculture. Ouagadougou, Burkina Faso, 27-30 April 2009
- Camberlin P., Beltrando G., Fontaine B., Richard Y.**, 2002. Pluviométrie et crises climatiques en Afrique Tropicale : changements durables ou fluctuations interannuelles ? *Revue, 'Historiens & Géographes*. n° 379. 263-273
- Carter, T.R., M.L. Parry, H. Harasawa, and S. Nishioka.** 1994. IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations. 125-139.
- Centella A.**, 1999. Climate change scenarios for assessment in Cuba. *Climate Research*, vol 12, pp 223-230.
- CILSS/Club du Sahel**, 2000. Compte-rendu de la réunion annuelle du réseau de prévention des crises alimentaires au Sahel. 10 p.
- Cook K.H., Vizi E.K.**, 2006. Coupled model simulations of the West African monsoon system: twentieth- and twenty-first-century simulations. *J Clim* 19: 3681–3703
- Cook KH, Vizi EK** (2006) Coupled model simulations of the West African monsoon system: twentieth- and twenty-first-century simulations. *J Clim* 19: 3681–3703
- FAO** 2007. Situation mondiale de l'agriculture et de l'alimentation dans le monde, enseignements des 50 dernières années, Rome, Chap. II - 312 p.
- FAO**, 1997. Changement du climat et production agricole. Polytechnica, Rome, 375 p.
- Fontaine B., Janicot S.**, 1993. L'évolution des idées sur la variabilité interannuelle récente des précipitations en Afrique de l'Ouest, revue *La Météorologie*, vol. 8, No.1, 28-41.
- GIEC** 2001. **Climate change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability**. Contribution of Working Group 2 to the Third Assessment Report: 100 p.
- GIEC**, 2012. Managing climate extremes and disasters in Africa: Lessons from the SREX report. Catherine Cameron, Gemma Norrington-Davies et Dr Victoria te Velde de Agulhas, CDKN (Climate and Development Knowledge Network), 24 p.
- GIEC-AR4 (2007) Climate Change 2007**. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, NY, USA, 996 p.
- Giorgi, F. et Mearns L.**, 2002. Calculation of Average, Uncertainty Range, and Reliability of Regional Climate Changes from AOGCM Simulations via the "Reliability Ensemble Averaging" (REA) Method, *Journal of Climate*, 15(10), 1141-1158.

- Giorgi, F. et Mearns L., 2002.** Calculation of Average, Uncertainty Range, and Reliability of Regional Climate Changes from AOGCM Simulations via the “Reliability Ensemble Averaging” (REA) Method, *Journal of Climate*, 15(10), 1141-1158.
- Giorgi, F., 2008.** Uncertainty in RCM-based regional climate change projections. Presentation at the Fourth ICTP Workshop on the Theory and Use of Regional Climate Models, Trieste. 237 p.
- Janicot S., 2002.** La mousson d’Afrique de l’Ouest. Des téléconnexions à la variabilité synoptique. Synthèse d’activité scientifique. Thèse HDR, Université Pierre et Marie Curie (Paris 6), 104 p.
- Kamga F. A. et Buscarlet E. 2006.** Simulation du climat de l’Afrique de l’Ouest à l’aide d’un modèle climatique régional : validation sur la période de 1961-1990. *Revue « La météorologie »* N° 25 ; 28-36
- Lamb, P. J. & Pepler, R. A. (1992)** Further case studies of tropical Atlantic surface atmospheric and oceanic patterns associated with sub-Saharan drought. *Journal of Climate*, 5, 476-488.
- Le Barbé L., Lebel T., Tapsoba D., 2002.** Rainfall Variability in West Africa during the Years 1950-1990. *J. Clim.*, 15(2) - 187-202.
- Lu, J., and Delworth T. L., 2005.** Oceanic forcing of the late 20th century Sahel drought, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L22706, DOI: 10. 1029/2005GL023316.
- Lubes H., Masson J-M., Raous P., Tapiayu M., 1994.** Logiciel de calculs statistiques et d’analyse fréquentielles adapté à l’évaluation du risque en hydrologie. manuel de calcul. ORSTOM, Paris, 140 p.



# ANNEXE I

## Procédure de téléchargement des CMIP5 (On CMIP5 website <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/index.html>)

### CMIP5 – ESG nodes



STEP 1

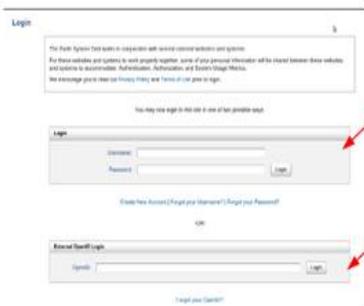
CMIP5 data is available for download through the Earth System Grid (ESG) nodes  
Australian node is [esg.nci.org.au](http://esg.nci.org.au)

You need to register with one of the nodes to download the data



STEP 2

### CMIP5 – ESG login



You use this form to login on your own node

To access the other ESG nodes you have to use your OpenID

<http://yournode/esggetmyopenid/yourusername>

STEP 3

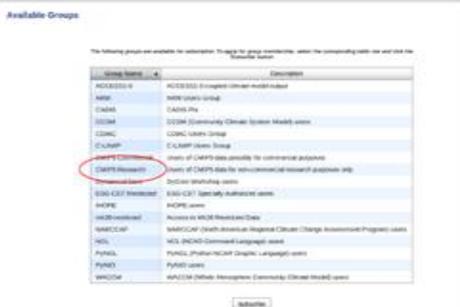
### CMIP5 – Manage account

Click the "Account" tab and login



From here you can manage your account and apply for group membership

STEP 4



You have to apply to at least for **CMIP5 Research** (or CMIP5 Commercial) to access any data

To download CSIRO Mk3.6 data you need **mk36**

NB. You need an account and these two groups memberships also to access the data stored on the NCI data server

STEP 5

### CMIP5 – Select datasets



In the left panel you can select some search criteria: model, experiment, frequency, realm, variable and ensemble

Select one or more datasets from the search results and click on "Download Files"

STEP 6

### CMIP5 – Refine selection



You can select files one by one or all the files in a dataset

If you selected only one file you can download it directly

Otherwise click on "Download all selected files"

You can sub-select the variables

STEP 7

### CMIP5 – Download script

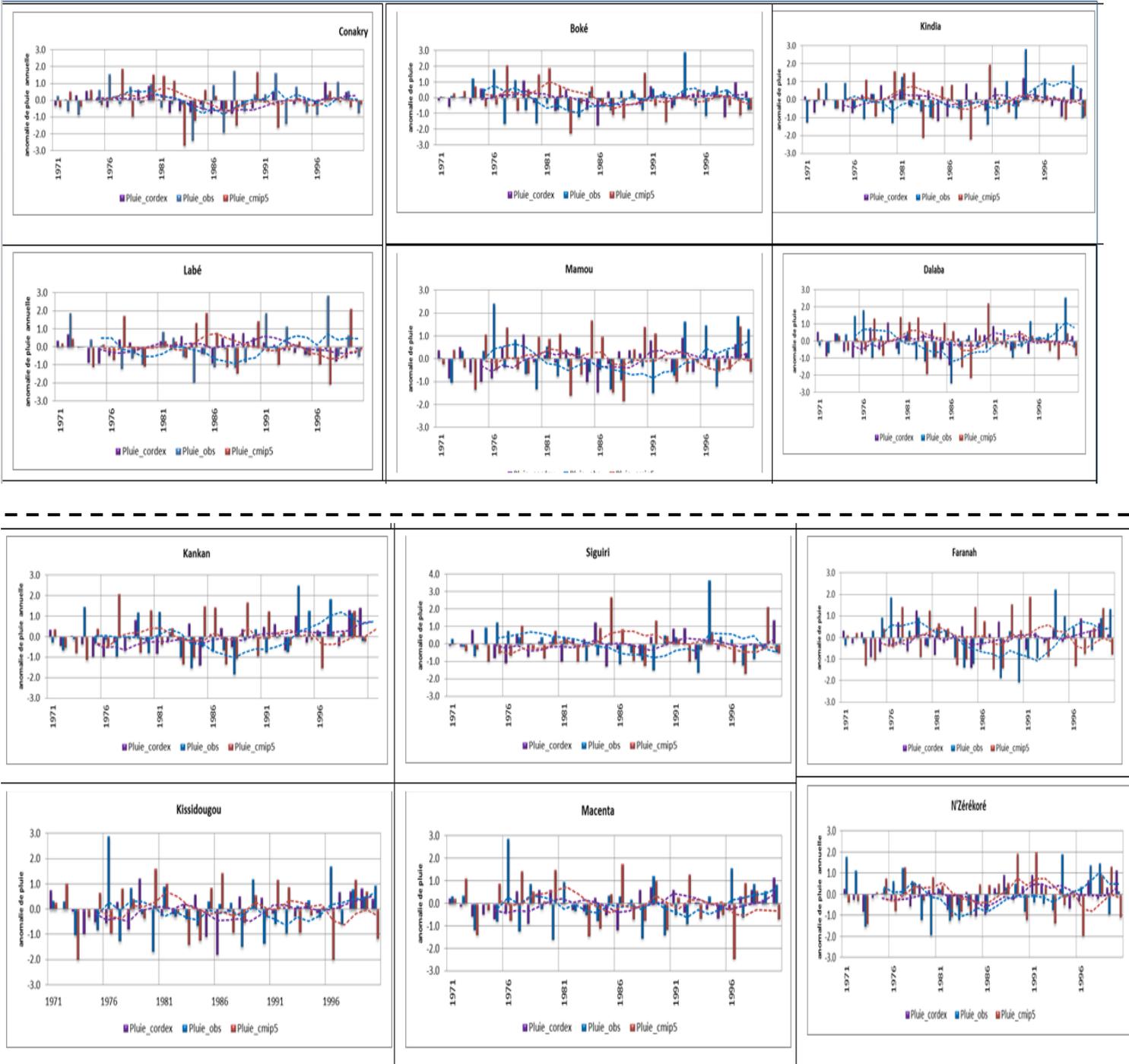


The download options are listed here

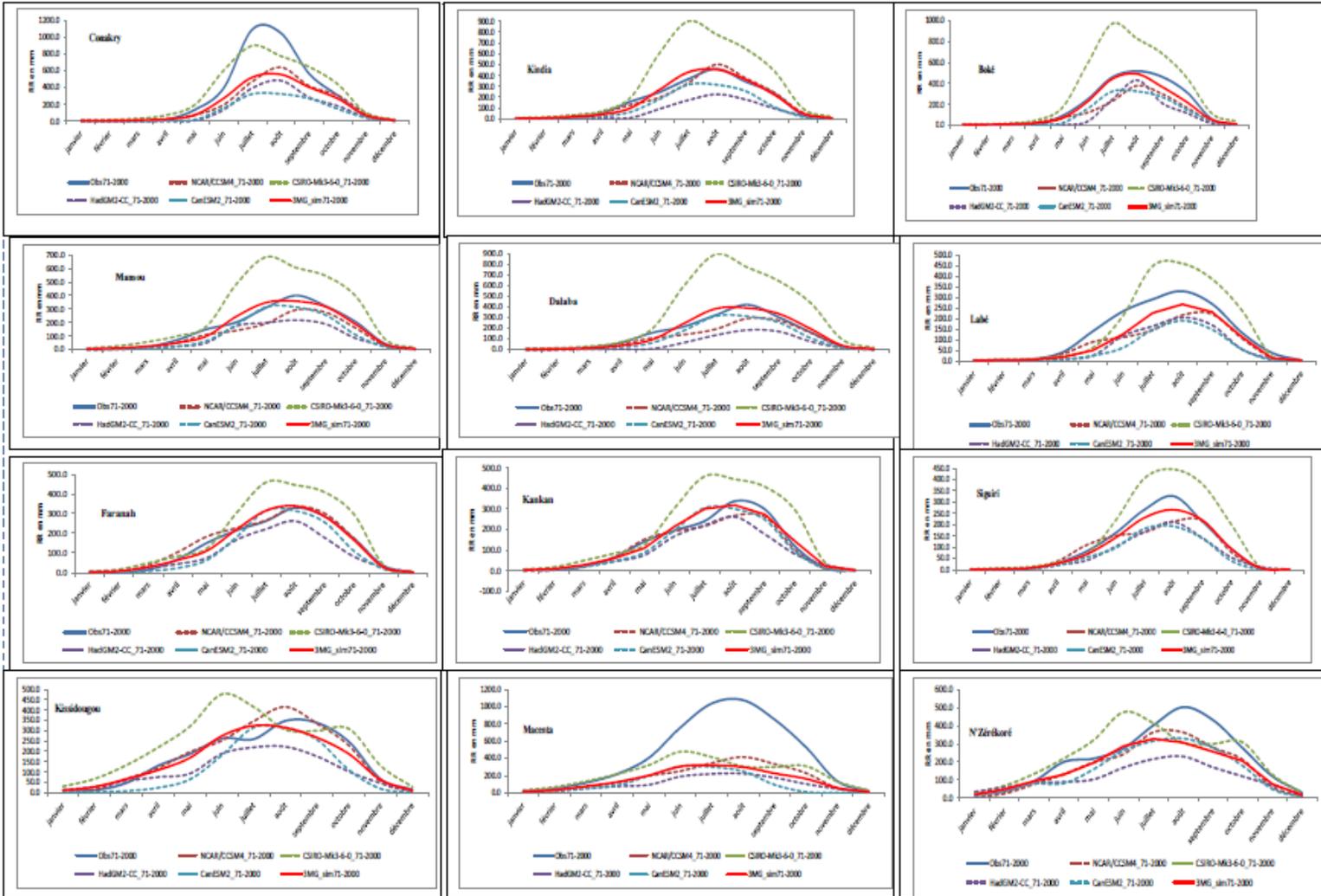
You might need a security certificate, it normally expires after 24 hours

STEP 8

**ANNEXE II** *Cycle interannuel des précipitations observées, Cordex, et Cmp5 (de 1971 à 2000)*



**ANNEXE III** *Cycle annuel des précipitations mensuelles observées et simulées sur toutes les stations*



# ANNEXE IV PROCEDURE DE TRAITEMENT DES DONNEES INPUT DE RCLIMDEX

## 1. Forme originale de fichier de données station

| ans/lans | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | ... | 2008 | 2009 | 2010 |
|----------|------|------|------|------|-----|------|------|------|
| 1        | 30.5 | 32.7 | 30.7 | 29.6 | ... | 31   | 33.5 | 32.6 |
| 2        | 30.8 | 32.1 | 30.3 | 29.8 | ... | 31   | 32.1 | 32.8 |
| 3        | 29.8 | 33   | 30.5 | 30.7 | ... | 32   | 32.7 | 33.2 |
| 4        | 29.5 | 31   | 30.7 | 30.5 | ... | 32   | 31.5 | 32.1 |
| 5        | 30.5 | 31.4 | 29   | 30.8 | ... | 32.5 | 31.7 | 32.1 |
| 6        | 29.0 | 29.6 | 27   | 30.3 | ... | 31.9 | 31.9 | 32.6 |
| 7        | 31.4 | 29.9 | 26.7 | 27.3 | ... | 29.5 | 32.7 | 33.2 |
| 8        | 31   | 31   | 29.7 | 29   | ... | 29.5 | 30.6 | 33.7 |
| 9        | 30.2 | 30.7 | 27.8 | 30.4 | ... | 30.1 | 30.5 | 34.4 |
| 10       | 31   | 31   | 29.6 | 30.5 | ... | 31.5 | 32.7 | 31.7 |
| 11       | 31.3 | 30.7 | 29.6 | 30   | ... | 31.2 | 32.1 | 32.7 |
| ...      | ...  | ...  | ...  | ...  | ... | ...  | ...  | ...  |
| 363      | 32.7 | 30.2 | 29.9 | 29   | ... | 33.2 | 33.6 | 30.7 |
| 364      | 32.5 | 30   | 30.4 | 27   | ... | 33.5 | 34   | 23.9 |
| 365      | 33.8 | 31.5 | 29.5 | 28.1 | ... | 33.9 | 34.5 | 34.5 |
| 366      |      |      |      | 28.3 |     | 31.5 |      |      |

## 2. Format input Rclimdex

| années | mois | jours | RR   | Tx   | Tn   |
|--------|------|-------|------|------|------|
| 1981   | 1    | 1     | 0    | 31.3 | 20.5 |
| 1981   | 1    | 2     | 0    | 30.6 | 21.8 |
| 1981   | 1    | 3     | 0    | 30.8 | 20   |
| ...    | ...  | ...   | ...  | ...  | ...  |
| 2010   | 12   | 27    | 13.6 | 31.2 | 17.4 |
| 2010   | 12   | 28    | 0    | 31.5 | 12.5 |
| 2010   | 12   | 29    | 0    | 30.7 | 11.2 |
| 2010   | 12   | 30    | 0    | 23.9 | 16.1 |
| 2010   | 12   | 31    | 0    | 34.5 | 13   |

| Nombre d'années |      |      |      |     |      |      |      |
|-----------------|------|------|------|-----|------|------|------|
| 1               | 1981 | 1982 | 1983 | ... | 2008 | 2009 | 2010 |
| 2               | 1981 | 1982 | 1983 | ... | 2008 | 2009 | 2010 |
| ...             | ...  | ...  | ...  | ... | ...  | ...  | ...  |
| 365             | 1981 | 1982 | 1983 | ... | 2008 | 2009 | 2010 |
| 366             |      |      |      |     | 2008 |      |      |

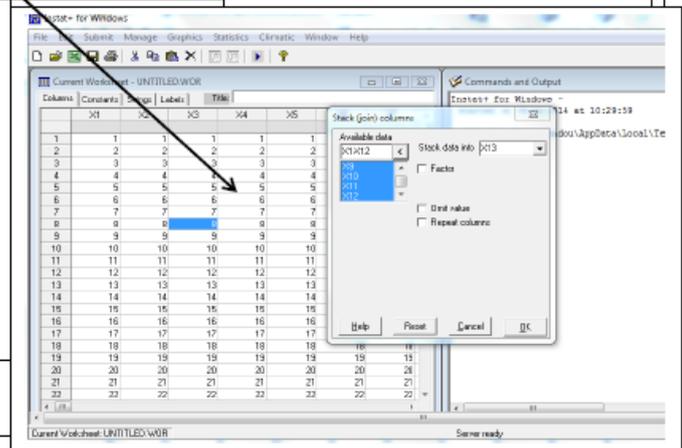
| Nombre de mois |      |      |      |     |      |      |      |
|----------------|------|------|------|-----|------|------|------|
| 1              | 1981 | 1982 | 1983 | ... | 2008 | 2009 | 2010 |
| 1              | 1    | 1    | 1    | ... | 1    | 1    | 1    |
| 2              | 1    | 1    | 1    | ... | 1    | 1    | 1    |
| ...            | ...  | ...  | ...  | ... | ...  | ...  | ...  |
| 365            | 12   | 12   | 12   | ... | 12   | 12   | 12   |
| 366            |      |      |      |     | 12   |      |      |

| Nombre de jours |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1               | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |
| 1               | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| 2               | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   |
| ...             | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 28              | 28  | 28  | 28  | 28  | 28  | 28  | 28  | 28  | 28  | 28  | 28  |
| 29              | 29  | 29  | 29  | 29  | 29  | 29  | 29  | 29  | 29  | 29  | 29  |
| 30              | 30  | 30  | 30  | 30  | 30  | 30  | 30  | 30  | 30  | 30  | 30  |
| 31              | 31  | 31  | 31  | 31  | 31  | 31  | 31  | 31  | 31  | 31  | 31  |

### Le traitement du nombre de jour sur INSTAT :

1. Ouvrir instat,
2. Cliquer sur « Manage »
3. Puis, sur « Reshape »
4. Enfin sur « Stack », puis, « Ok ».

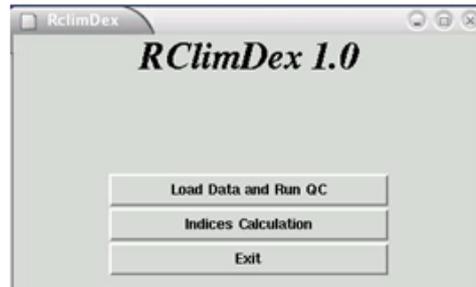
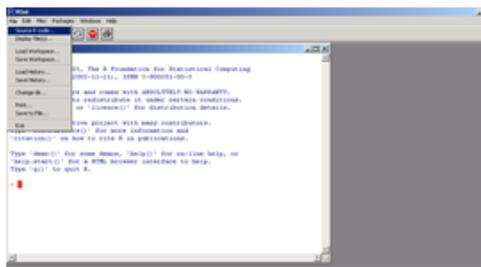
Le même traitement doit être faite du nombre de mois, et de nombre d'années !



### 1. Loading of RCLimDex

Within the R console prompt ">", enter `source("rclimdex.r")`. This will load RCLimDex into R environment. You may need to include the full path before the `rclimdex.r`.

Or you may download the most recent version from ETCCDMI web site by entering `source("http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/RCLimDex/rclimdex.r")` if your computer is connected to the internet.



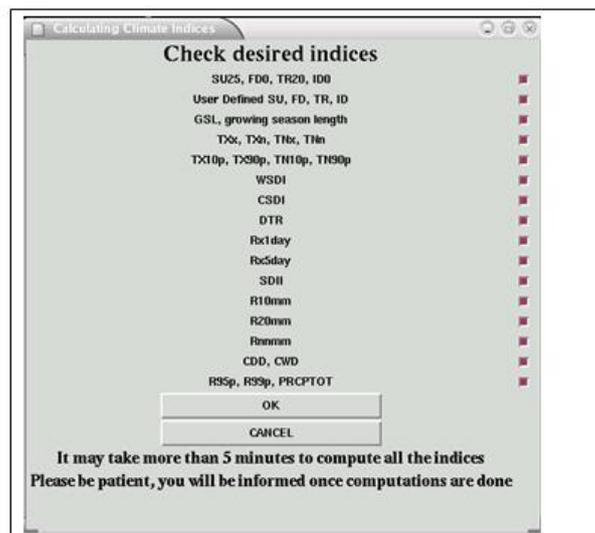
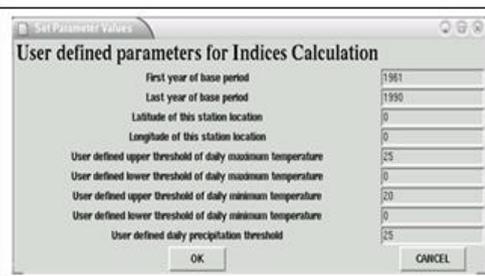
Once the source code is successfully loaded, the RCLimDex main menu will appear.

**2. Quality control:** Data Quality Control is a prerequisite for indices calculations. The RCLimDex QC performs the following procedure: 1) Replace all missing values (currently coded as NA) into an internal format that R recognizes (i.e. NA, not available), and 2) Replace all unreasonable values into NA. Those values include a) daily precipitation amounts less than zero and maximum temperature less than daily minimum temperature. In addition, QC also identifies outliers in daily maximum and minimum temperature.

### 3. Indices calculation

RCLimDex is capable of computing all 27 core indices listed in Appendix A. Users may, however, compute only those indices they require.

After selecting "Indices Calculation" from the main menu, a user is asked to set up some parameters for the indices calculation. The "Set Parameter Values" window allows the user to enter first and last years of the base period for the threshold calculation, the station latitude (Southern Hemisphere is negative) to determine in which hemisphere the station is located, a user defined precipitation threshold, P (in mm), to compute the number of days when daily precipitation amounts exceed this threshold (the  $R_{mm}$  indicator), and 4 user defined temperature thresholds. The "User defined Upper Limit of Day High" allows the calculation of the number of days when daily maximum temperature has exceeded this threshold. The "User defined Lower Limit of Day High" allows the calculation of the number of days when daily maximum temperature is below this value. The "User defined Lower Limit of Day Low" allows the calculation of the number of days when daily minimum temperature has exceeded this threshold. The "User defined Lower Limit of Day Low" allows the calculation of the number of days when daily minimum temperature is below this value. These indices are called  $SU_{mm}$ ,  $FD_{mm}$ ,  $TR_{mm}$ ,  $ID_{mm}$  where "mm" corresponds to user defined value. This step includes some data processing, so it will take a few seconds.



Once this step is completed, a window will appear to allow the user to select their desired indices for calculation. All indices are selected by default. Uncheck indices that are not needed, then click "OK" to perform the computation. Depending on the indices selected, this procedure may take a while.

A pop-up window will appear once the selected indices are computed.

