

ETUDE DES PERSPECTIVES DE CHANGEMENT CLIMATIQUE AU MALI

Famouké Traoré¹, Abdoulaye Bayoko², Sidi Konaté¹, Arona Coulibaly¹, Birama Diarra³

1- Ecole Nationale d'Ingénieurs (ENI) - BP 242 Bamako (Mali)

tfamouke@hotmail.com

2- Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST) - BP 3052 Bamako (Mali)

projetgef@afribone.net.ml

3- Direction Nationale de la Météorologie (DNM) - Bamako (Mali)

biramadia@yahoo.fr

Résumé :

Le Mali est un pays situé en zone aride et semi-aride dans la région ouest africaine (Latitude , longitude . Les ressources agro-sylvo-pastorales occupent une part importante dans l'économie (% du PIB). Ces ressources sont fortement confrontées aux aléas climatiques qui les pénalisent à travers des déficits ou des mauvaises répartitions de la pluviométrie et des élévations inappropriées de température.

L'objectif général de l'étude est la construction d'un scénario de changement climatique devant décrire de façon cohérente et plausible l'état futur du climat au Mali afin de fournir des données climatiques pour les études des impacts et adaptations dans les secteurs socio-économiques comme l'agriculture, l'élevage, les ressources en eau et la santé.

L'analyse des perspectives de développement socio-économiques du Mali, a permis de choisir un scénario d'émission (SRESB2) pour les gaz à effet de serre et un scénario de référence du climat (SRESA2) lié au scénario d'émission. Ces scénarios ont été choisis à partir du modèle d'analyse MAGGIC qui intègre plusieurs scénarios d'évolution des gaz à effet de serre en fonction de différents cas d'évolution des paramètres socio-économiques. A ces scénarios, on peut associer des perspectives d'évolution du climat.

Nous avons ensuite utilisé, dans le modèle MAGGIC, ces scénarios pour projeter au niveau global et à différents horizons temporels futurs les principaux paramètres climatiques concernés par l'étude à savoir la température et la pluviométrie.

Nous avons déduit les données locales des données obtenues au niveau global par la technique de réduction d'échelle. Pour cela nous avons utilisé le modèle SCENGEN. Il utilise les résultats de sortie de MAGGIC et les normales climatiques (1961-1990) de la température et de la pluviométrie. Nous l'avons employé pour donner des représentations spatio-temporelles des CC par point de grille (de résolution 5° de latitude sur 5° de longitude) en exploitant les résultats des expériences de GCM disponibles dans le modèle. Les résultats de simulation obtenus nous ont permis de choisir le GCM CSIRO-TR suite à des tests de validation avec des données locales.

Les données de SCENGEN et du GCM CSIRO-TR obtenus par point de grille, à des horizons temporels futurs, ont été traduites en données locales en procédant par l'interpolation spatiale des résultats de grilles pour les localités de Bougouni, Sikasso, Sélingué, Koutiala, Dioïla et Yanfolila. Pour toutes ces localités on assisterait à une diminution de la pluviométrie qui se traduirait par un déplacement des isohyètes vers le nord. Les températures seraient par contre en hausse dans toutes les localités.

Le scénario climatique élaboré montre que la situation de sécheresse serait constatée sur la première moitié de l'hivernage (mois de mai, juin et juillet) à partir de l'horizon 2025 sur toutes les stations de la zone d'étude pour une sensibilité climatique moyenne. La même situation pourrait s'installer dès l'horizon 2020 si la réaction du climat aux perturbations devenait plus rapide.

Il ressort de l'analyse des évènements extrêmes pour la température les résultats suivants :

- pour la période 1961-1990, la température moyenne maximale est de 30,5°C avec 50% d'occurrence d'avoir des températures supérieures à cette moyenne de 30,5°C ;
- en 2050, la température moyenne maximale serait de 32,5°C et l'occurrence des températures supérieures à cette valeur serait de 40% ;
- en 2100, la température moyenne maximale serait de 34,5°C et l'occurrence des températures supérieures à cette valeur serait de 36%.

Mots clés : changements climatiques, scénarios, Mali, pluviométrie, température.

1. Introduction :

En Afrique subtropicale et intertropicale le climat est essentiellement conditionné par le déplacement des deux zones de pression de part et d'autre de la zone de convergence intertropicale (Z.C.I), zone de rencontre de la masse d'air tropical sec avec la masse d'air équatorial humide [1].

Au Mali, le rythme des différentes saisons dépend de l'existence, au voisinage du sol et aux altitudes élevées, de centres d'action semi-permanents et quasi-stationnaires que sont les anticyclones des Açores, de Libye et de Sainte-Hélène.

Les variations de position et d'altitude de ces anticyclones commandent le mouvement de la Z.C.I, dont la trace au sol est communément appelée Front Intertropical (F.I.T).

Dans la position la plus méridionale de l'Anticyclone des Açores, le vent souffle du Nord au Nord-Est sur toute l'Afrique de l'Ouest. L'harmattan, vent sec soufflant de l'Est de Novembre à Mai, a son origine dans l'anticyclone de Libye et celui des Açores.

Quant à l'anticyclone de Sainte-Hélène, de sa position la plus septentrionale il envoie un courant très humide de Sud-Ouest d'origine océanique appelé mousson.

Ainsi, il existe deux saisons principales et des périodes de transition :

- Une saison sèche, dont la durée varie entre 6 et 9 mois du Sud au Nord qui est caractérisée par la présence quasi-permanente de particules solides suspendues dans l'air au voisinage du sol ;
- Deux périodes intermédiaires, ni pluvieuses, ni sèches, marquées par des passages nuageux qui apportent des averses brusques et des orages sporadiques, en général à la fin du jour ou à la tombée de la nuit. Pendant ces périodes, les températures atteignent le maximum et il n'y a pas de vent au voisinage du sol ;
- Une saison humide pendant laquelle les averses et la mousson se succèdent créant deux types de temps : les lignes de grains dont le passage d'Est en Ouest s'accompagne de vents forts et de pluies abondantes ayant parfois des effets catastrophiques ; le régime de mousson, qui domine la saison des pluies, s'intensifie pendant le mois d'Août produisant des pluies modérées ou des averses orageuses.

La zone d'étude, située entre les 11 et 15° de latitude Nord et les 8 et 12° de longitude Ouest, est principalement à cheval sur deux zones agroclimatiques dont l'activité, essentiellement agro-silvo-pastorale est largement tributaire des paramètres climatiques tels que la pluviométrie, la température, l'évaporation, l'insolation, etc.. Il s'agit de :

- La zone sahélo-saharienne où les précipitations moyennes annuelles sont inférieures à 600 mm ; elle correspond à une zone dont la période de végétation varie entre 45 et 90 jours ; on y pratique l'élevage transhumant avec quelques cultures sèches notamment le mil et les cultures de décrue ;
- Les zones soudano-sahélienne et soudano-guinéenne où les précipitations moyennes annuelles vont de 600 mm à plus de 1200 mm, sont caractérisées par une période de végétation dépassant 130 jours, où se côtoient les cultures de rente, les cultures sèches et l'élevage.

Toutes ces activités de production sont fortement influencées par les facteurs climatiques notamment la pluviométrie et la température. L'analyse de séries pluviométriques des stations de la zone montre que la pluviométrie y varie entre 460 et 1130 mm (Figure 1).

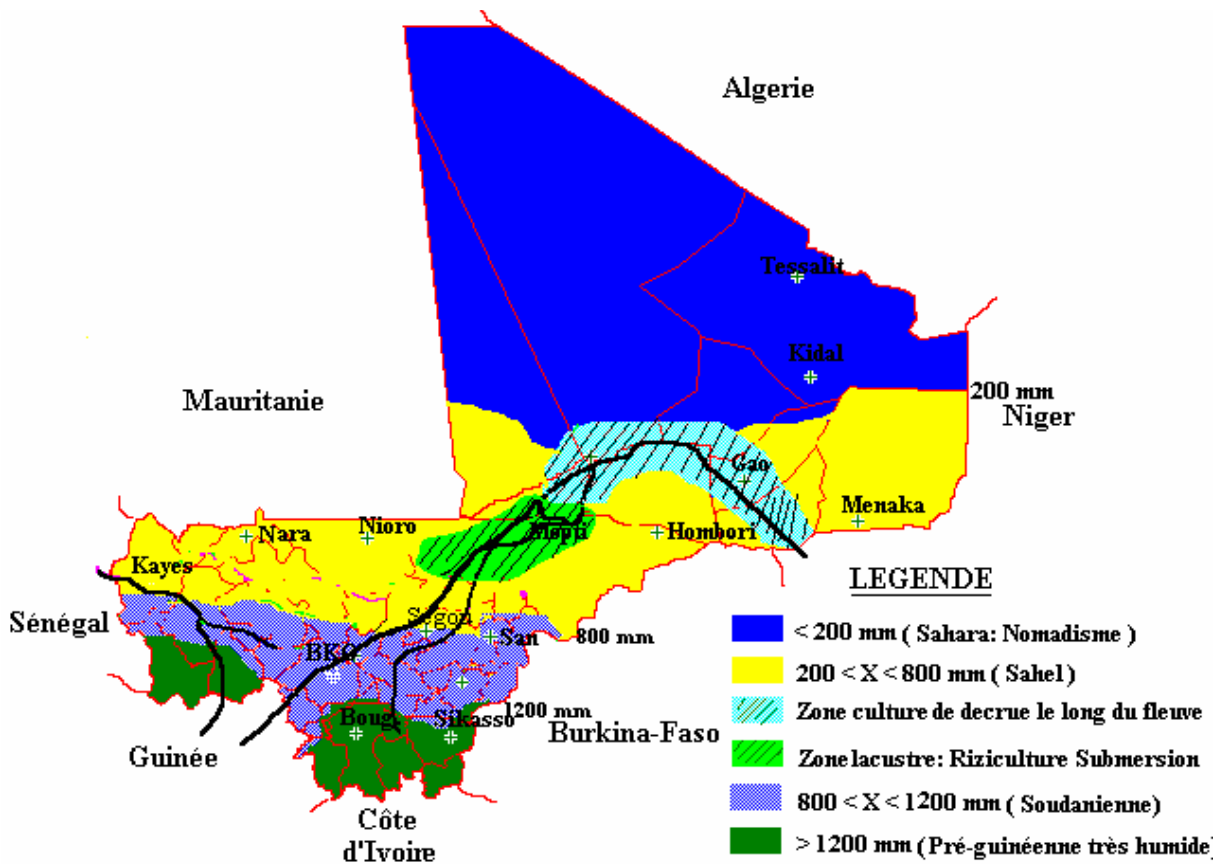


Figure 1 : Répartition des zones climatiques et agricoles du Mali (source DNM)

La construction d'un scénario climatique le plus plausible pour le Mali était indispensable pour évaluer au niveau national les variations climatiques attendues au niveau mondial et régional par les techniques de réduction d'échelles. Ceci a été possible avec l'utilisation de modèles numériques adaptés.

2. Méthodologie :

Nous utilisons des résultats d'expériences de modèles de circulation générale (MGC) et de modèles simples unidimensionnels. Ces sorties de modèles sont aussi couplées avec des données d'observations de la période 1961-90.

La méthode que nous avons utilisée pour réaliser les scénarios est résumé comme suit :

- Normalisation des sorties de modèles de circulation globale pour déterminer différentes variations des paramètres climatiques pour un degré de réchauffement global ;
- Représentation à l'échelle spatiale de ces variations obtenues ;
- Interpolation de ces projections obtenues à l'échelle du pays (stations d'observations).

2.1 Données utilisées

Les données utilisées pour cette étude proviennent principalement de la banque de données de la Direction Nationale de la Météorologie du Mali. Elles portent sur les séries de données disponibles depuis l'origine des stations jusqu'en 2000 et sont relatives à :

- La température minimale
- La température maximale
- La température moyenne

- La pluviométrie.

2.2 Base de référence climatique

La période standard 1961-1990 actuellement définie par l'OMM sera choisie comme période de référence de l'étude.

2.3 Limites de prévisibilité

L'année 1995 sera l'année de base pour les émissions de GES conformément à l'inventaire de GES effectué au Mali. Les horizons temporels choisis sont 2025, 2050, 2075 et 2100.

2.4 Procédures d'analyse

2.4.1 La construction de scénarios climatiques

ELLE se fait en 4 étapes essentielles :

- 1) Choix de scénarios d'émissions globales de GES [6]
- 2) Détermination des projections climatiques avec le modèle climatique unidimensionnel MAGICC (Model for Assessment of Greenhouse-gas induced Climate Change) MAGICC [2] [5] est un modèle unidimensionnel, constitué d'un ensemble de modules couplés cycle gaz, modèle de climat et de fusion de glace, qui permet de comparer à un scénario-référence (scénario IPCC 92 par exemple) différents scénario-plan d'émissions dans le but d'estimer l'efficacité d'une politique de contrôle des émissions de GES par rapport au cas " sans politique ".
- 3) Génération du climat futur par représentation spatiale des différentes expériences de MGC avec le logiciel SCENGEN (SCENario GENerator). SCENGEN [2] exploite les résultats d'expériences de GCM et les projections de MAGICC combinées avec des observations climatologiques aux échelles régionales et globales.
- 4) Représentation à l'échelle locale des variations des paramètres climatiques par interpolation des projections obtenues au point 3) seules ou en combinaison avec les données d'observations locales de la normale 1961-90.

Dans une première étape, nous avons choisi un scénario d'émissions pour analyser les émissions futures de GES. Les critères de ce choix au niveau national sont principalement :

- le scénario de croissance de la population, celui de la répartition spatiale de cette population et le scénario de croissance économique ;
- les hypothèses d'évolution des différentes sources d'énergie électrique qui conditionnent essentiellement le développement économique et technologique futur d'un pays.

Ainsi, nous avons retenu, comme scénario de politique d'atténuation des émissions de GES, le scénario SRESB2 et comme scénario de référence le SRESA2.

Nous avons ensuite utilisé, dans le modèle MAGGIC, ce scénario d'émissions de GES pour projeter au niveau global et à différents horizons temporels futurs les principaux paramètres climatiques concernés par l'étude à savoir la température et la pluviométrie.

Nous avons déduits les données locales des données obtenues au niveau global par la technique de réduction d'échelle. Pour cela nous avons utilisé le modèle SCENGEN. Il utilise les résultats de sortie de MAGGIC et les normales climatiques (1961-1990) de la température et de la pluviométrie. Nous l'avons employé pour donner des représentations spatio-temporelles des CC par point de grille (de résolution 5° de latitude sur 5° de longitude) en exploitant les résultats des expériences de GCM disponibles dans le modèle.

Les résultats de simulation obtenus nous ont permis de choisir le GCM CSIRO-TR. Car, ses résultats sous SCENGEN donnent une bonne concordance avec les valeurs réelles de température et de précipitation mesurées dans certaines localités que nous avons choisies pour faire la validation.

Les données de SCENGEN et du GCM CSIRO-TR obtenus par point de grille ont été traduites en données locales en procédant par l'interpolation spatiale des résultats de grilles pour les localités de Bougouni, Sikasso, Sélingué, Koutiala, Dioïla et Yanfolila.

Les résultats obtenus sont :

- les valeurs escomptées, sur l'ensemble du pays, des paramètres climatiques comme la pluviométrie et la température aux horizons temporels compris entre 2000 et 2100
- les valeurs escomptées de la pluviométrie et de la température pour chaque localité du pays entre 2000 et 2100.

Nous avons procédé à une analyse de sensibilité par rapport aux variations des paramètres climatiques d'une part en utilisant les données issues du scénario climatique construit et d'autre part en utilisant un scénario théorique de variation des paramètres climatiques entre 5 % et 20 % au pas de 5 % par rapport à la normale 1961-1990.

2.4.2 Distribution des fréquences relatives de la température maximale normale

Les distributions moyennes mensuelles des données d'observations de la période 1961-90 pour le mois de juillet à Bougouni sont ajustées par une loi normale (Figure 2).

La station est caractérisée par la moyenne et la variance des valeurs du paramètre observé (température maximale ou minimale).

Pour effectuer le test de sensibilité, la valeur moyenne est perturbée en lui additionnant le réchauffement global obtenu à partir du scénario pour une année donnée.

La variance est perturbée par un taux de variation par degré global de réchauffement.

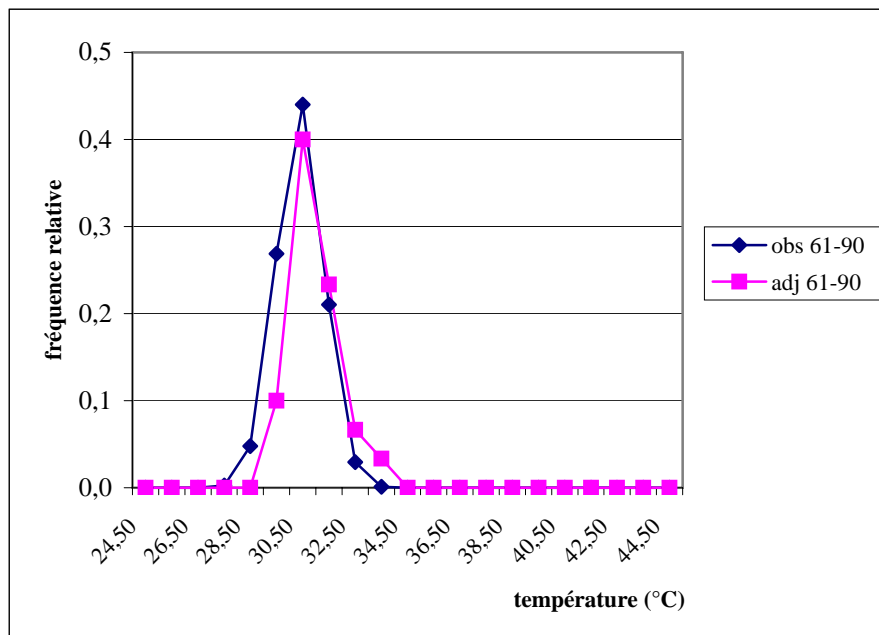


Figure 2 : Distribution de la température maximale à partir des observations de la période 1961-90 à Bougouni en juillet

Si nous considérons ce taux d'augmentation de la variance à +20%, la variance de la distribution de température pour une année postérieure à 1990 est obtenue par la formule [3] [4] :

$$\mathbf{Var}_n = \mathbf{Var}_a (1 + 0,2 \Delta T_n)$$

où \mathbf{Var}_a est la variance de la distribution 1961-90
et ΔT_n le réchauffement global pour l'année \mathbf{n}

De même, pour l'année 2100 par exemple, la température moyenne devient :

$$\mathbf{Tm}_{2100} = \mathbf{Tm}_{61-90} + \Delta \mathbf{Tm}_{2100}.$$

Une nouvelle distribution normale est ainsi obtenue et est définie par une nouvelle variance et une nouvelle valeur de la moyenne sous la forme $N (T_{2100}, \mathbf{Var}_{2100})$. La nouvelle distribution de température nous permet de suivre l'évolution du maximum et du minimum des températures en fonction du scénario choisi (Figure 3) .

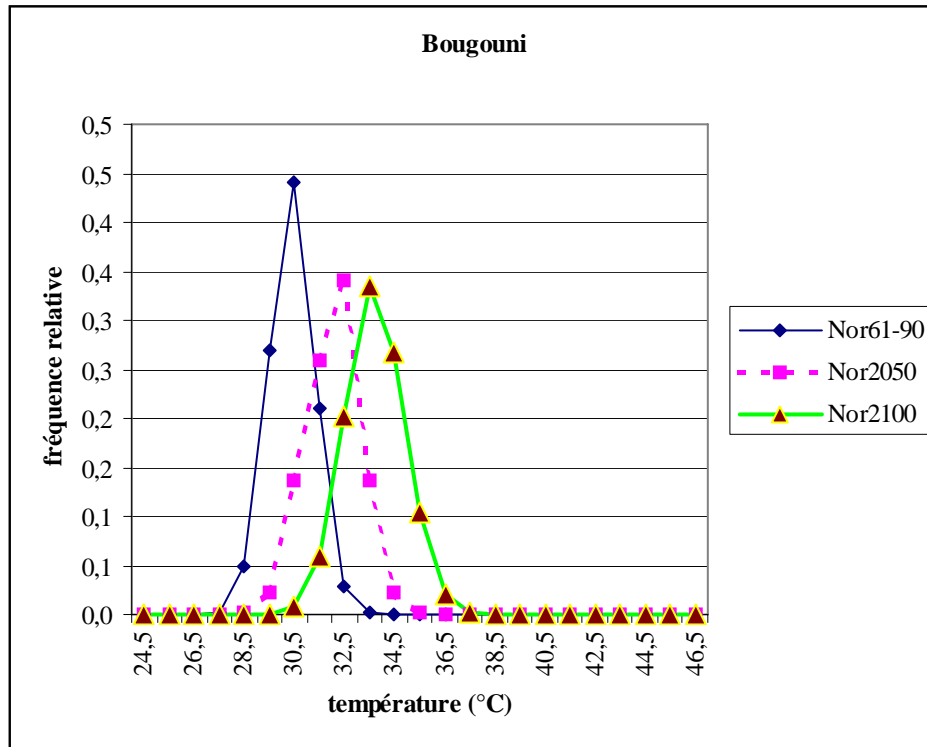


Figure 3 : Distribution de la température maximale à partir des observations de la période 1961-90 et pour les années 2050 et 2100 par un taux de variation de 20% par année et par degré de réchauffement global à Bougouni en juillet

Dans cette nouvelle distribution, l'effet du réchauffement global et le changement de la variabilité climatique sont perceptibles. La valeur moyenne de la distribution correspondant à la valeur la plus probable est située dans les températures plus élevées que la température la plus élevée observée de 1961 à 1990.

En faisant la même opération pour l'année 2050, on obtient une courbe intermédiaire entre celle de la normale 1961-90 et celle de 2100. Dans tous les cas, il apparaît que la probabilité d'observation des températures extrêmes dans le futur (supérieures à celle de la moyenne 1961-90) sera de plus en plus élevée. Dans le cas d'une diminution de 20% de la variance par année, la probabilité correspondante à la moyenne est aussi plus élevée mais la forme de la distribution est plus rétrécie.

3. Résultats :

Les tests de validation montrent une bonne concordance entre les valeurs mesurées et les valeurs de projection de la pluviométrie et de la température issues du choix du CGM CSIRO-TR à Bougouni, Koutiala (Figures 4 et 5), Sélingué, Sikasso et Dioïla pour l'année 2000.

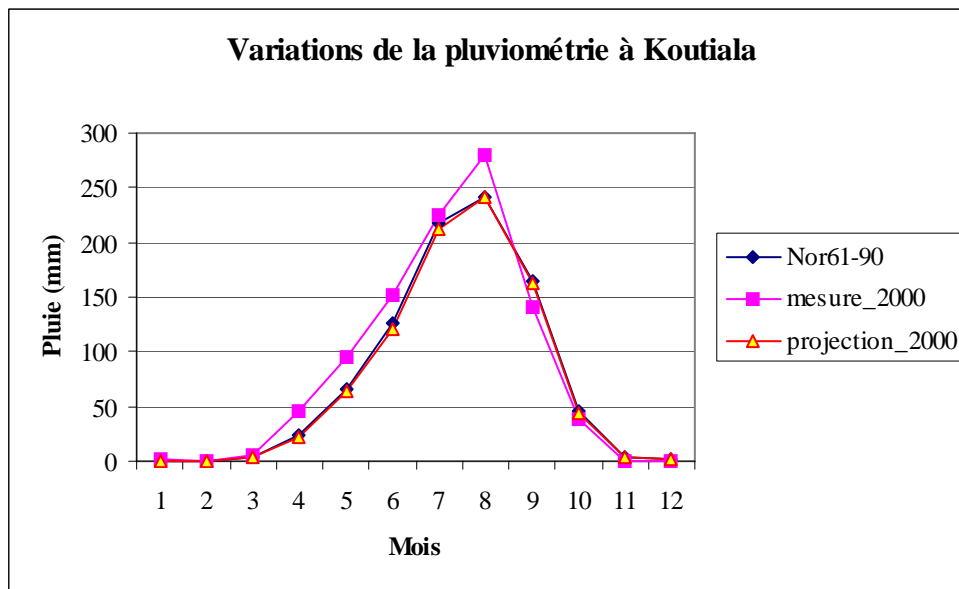


Figure 4 : Courbes comparatives de la pluie (mesurée et estimée) à Koutiala en 2000

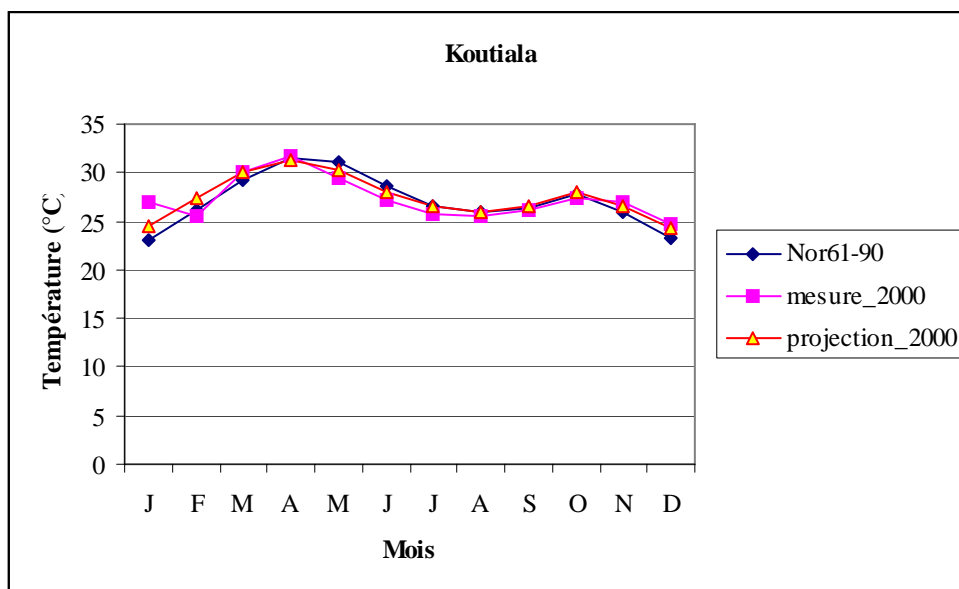


Figure 5 : Courbes comparatives de la température (mesurée et estimée) à Koutiala en 2000

Les résultats de la simulation montrent qu'on assisterait dans toutes les localités à une diminution de la pluviométrie (Tableau 1) qui se traduirait par un déplacement des isohyètes vers le sud. Le cas de la localité de Sikasso est une illustration de cette situation (Figures 6). Par contre, partout les températures seraient à la hausse de 0,62°C à 1,55°C par rapport à la normale 1961-90 selon la sensibilité climatique (Tableau 2).

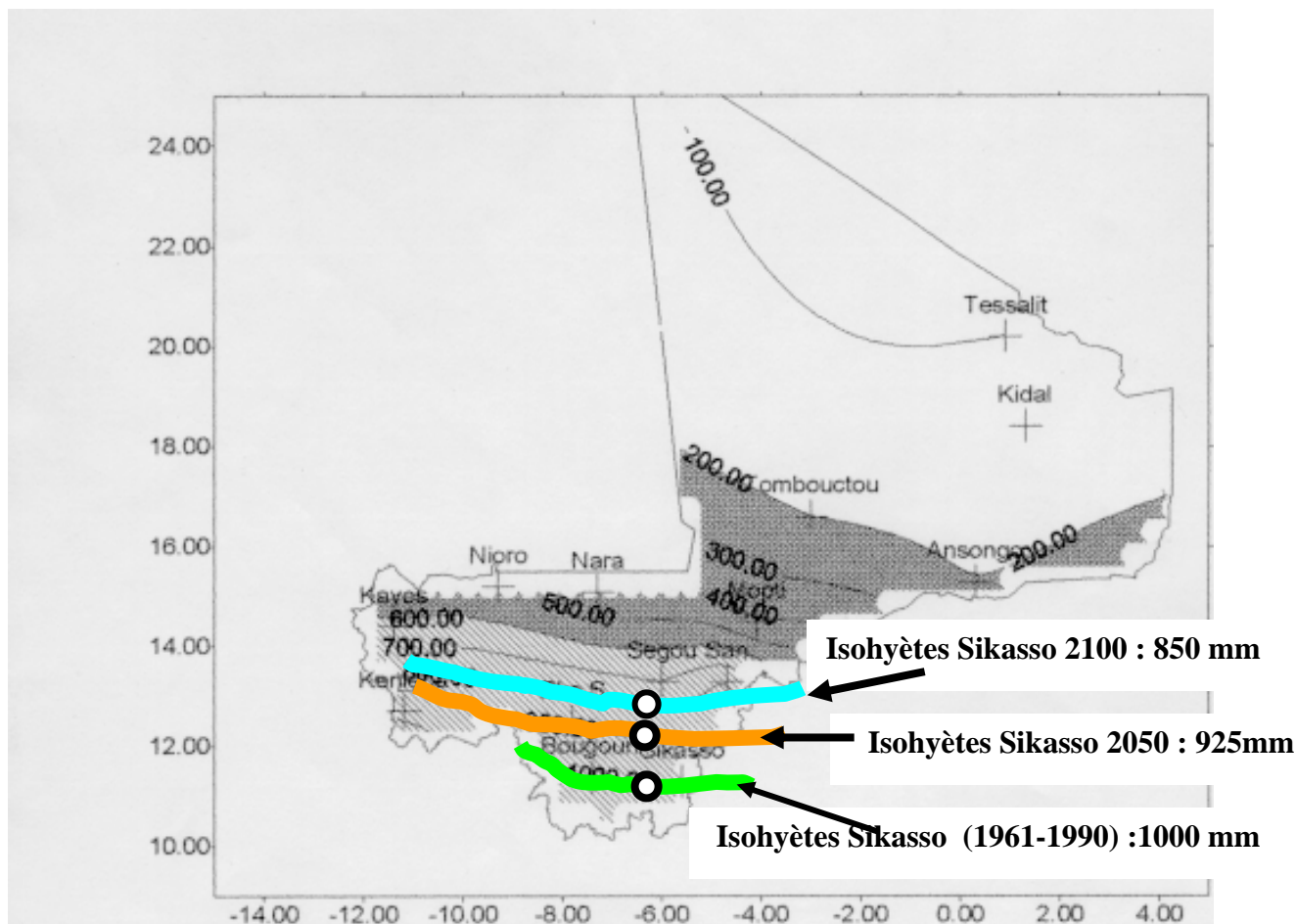


Figure 6 : Evolution de la pluviométrie à Sikasso

Tableau 1 : Taux de diminution de la pluviométrie moyenne saisonnière par rapport à la normale 1961-90 dans les différentes zones climatiques en fonction de la sensibilité

| Sensibilité (°C) | Diminution de la pluviométrie (%) | | | | |
|------------------|-----------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------|
| | Zone pré-guinéenne | Zone soudanienne | Zone sahélienne | Zone saharienne | Moyenne |
| 1,5 | -2,4 à -3,0 | -3,1 à -4,0 | -4,1 à -5,0 | -5,1 à -8,0 | -5,20 |
| 2,5 | -3,8 à -4,0 | -4,1 à -4,6 | -4,7 à -6,2 | -6,3 à -12 | -7,90 |
| 4,5 | -4,5 à -5,5 | -5,6 à -7,0 | -7,1 à -9,0 | -9,1 à -16 | -10,25 |

Tableau 2 : taux d'augmentation de la température moyenne par rapport à la normale 1961-90 dans les différentes zones climatiques en fonction de la sensibilité

| Sensibilité (°C) | Augmentation de température (°C) en 2025 | | | | |
|------------------|--|------------------|-----------------|-----------------|---------|
| | Zone pré-guinéenne | Zone soudanienne | Zone sahélienne | Zone saharienne | Moyenne |
| 1,5 | 0,62 à 0,68 | 0,69 à 0,71 | 0,72 à 0,75 | 0,76 à 0,78 | 0,70 |
| 2,5 | 0,92 à 0,93 | 0,94 à 1,00 | 1,01 à 1,07 | 1,08 à 1,15 | 1,03 |
| 4,5 | 1,24 à 1,30 | 1,31 à 1,39 | 1,40 à 1,47 | 1,48 à 1,55 | 1,39 |

L'analyse de sensibilité climatique nous a permis de constater qu'avec une augmentation de 5 % de la pluviométrie par rapport à la moyenne 1961-1990, la situation pluviométrique au Mali correspondrait à celle de la période humide et qu'une diminution de 10 % de la pluviométrie par rapport à la normale 1961-1990 entraînerait une situation de sécheresse au Mali.

L'analyse des événements extrêmes pour la température nous a permis de comparer les occurrences de températures maximales supérieures à la moyenne maximale de la normale 1961-90 des horizons temporels 2050 et 2100. De cette analyse, on retient :

- pour la période 1961-1990, la température moyenne maximale est de 30,5°C avec 50% d'occurrence d'avoir des températures supérieures à cette moyenne de 30,5°C (Figure 3).
- en 2050, la température moyenne maximale serait de 32,5°C et l'occurrence des températures supérieures à cette valeur serait de 40%.
- en 2100, la température moyenne maximale serait de 34,5°C et l'occurrence des températures supérieures à cette valeur serait de 36%.

Nous avons présenté la variation annuelle de la probabilité d'occurrence des températures maximales supérieures à la moyenne des températures maximales pour la période 1961-90 pour les trois sensibilité du climat (Figure 7).

On remarque une augmentation de la probabilité des températures maximales à partir de la moyenne 1961-90 avec des paliers entre 2050 et 2100 à la sensibilité 1,5 et entre 2050 et 2075 à la sensibilité 2,5.

On remarque aussi que les trois sensibilités climatiques donnent la même probabilité à l'horizon 2050.

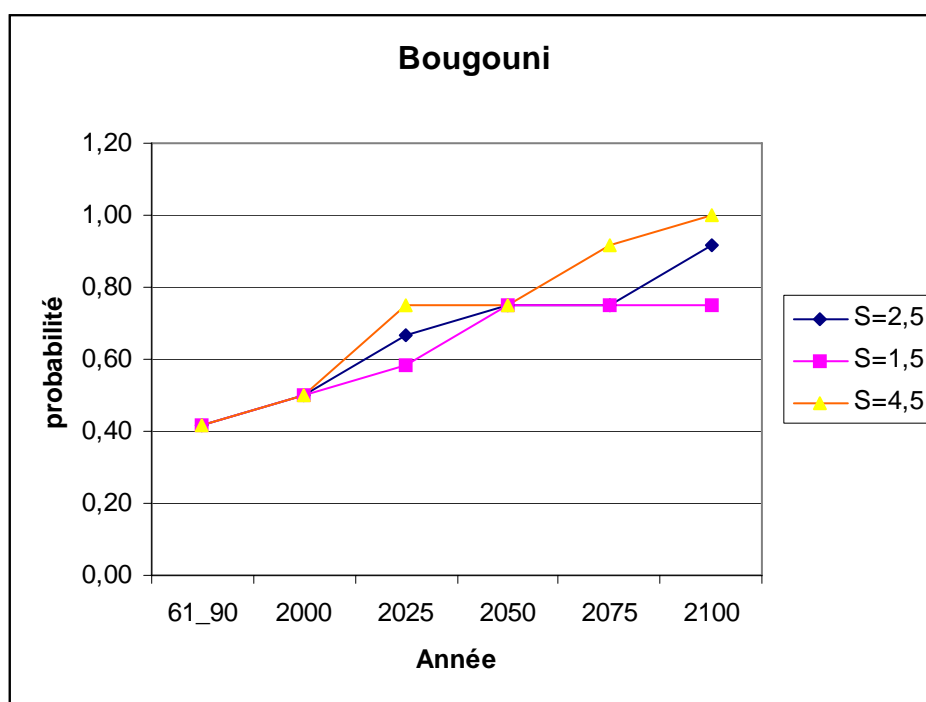


Figure 7 : Variation de probabilité des températures maximales à Bougouni

4. Conclusion

Cette étude a porté sur trois aspects essentiels :

1°) la construction d'un scénario climatique le plus plausible pour le Mali. Ceci a été possible avec l'utilisation de MAGICC/SCENGEN. En effet le choix d'un GCM approprié et sa validation par des données locales ont permis de générer à partir de SCENGEN un scénario climatique. Ce scénario a été utilisé pour faire des projections aux horizons temporels 2025, 2050, 2075 et 2100. La validation a été faite en comparant les données d'observation et les valeurs de projection de température et de précipitation pour la localité de Koutiala. Cette comparaison a montré une bonne concordance entre les valeurs observées et les résultats du scénario.

2°) Le test de la sensibilité du scénario climatique par rapport aux changements climatiques en introduisant un taux de variation dans la variance et dans la moyenne par rapport à la normale 1961-1990 pour les horizons temporels 2025, 2050 et 2075. Ceci a donné de nouvelles distributions. Ces distributions ont été ajustées suivant une loi normale pour chaque année. Les courbes de ces distributions ont montré un déplacement des températures maximales vers les températures supérieures à la maximale moyenne de la normale 1961-1990. Ainsi par rapport à cette maximale de 30,5°C, la probabilité d'avoir des températures supérieures à la moyenne de la normale 1961-90 a été de 0,5. Cette probabilité a été de 0,4 pour une valeur maximale de 32, 5°C à l'horizon 2050 et de 0,36 pour une valeur maximale de 34,5°C à l'horizon 2100. La sensibilité a été également étudiée en adoptant un scénario théorique d'augmentation et de diminution de 0 à 20% au pas de 5% des paramètres climatiques.

3°) l'étude des températures extrêmes en étudiant la probabilité d'apparition des températures extrêmes par rapport à la normale 1961-90 pour les horizons temporels 2025, 2050, 2075 et 2100. L'analyse effectuée a montré une augmentation de cette probabilité entre 2025 et 2100.

Les incertitudes pouvant affecter les résultats de cette étude concernent entre autres :

- les incertitudes liées aux perspectives de développement qui ont conditionné le choix du scénario de référence ;
- les erreurs liées à la réduction d'échelle du GCM notamment à cause du rapport de réduction de la maille ;
- les incertitudes liées à la technique de spatialisation ;
- les erreurs et incertitudes liées aux données statistiques et aux résultats de projection.

5. Références bibliographiques

[1] Sivakumar M. V. K., M. Konaté et S. M. Virmani, 1987 : Agroclimatologie de l'Afrique de l'Ouest : le Mali ; Bulletin d'information n° 19, ICRISAT, Niamey.

[2] Hulme, M., Wigley, T.M.L., Barrow, E.M., Raper, S.C.B., Centella, A., Smith, S. and Chipanshi, A.C., 2000 : Using a climate Scenario Generator for Vulnerability and Adaptation Assessments - MAGICC and SCENGEN version 2.4 Workbook, Climatic research Unit, Norwich, UK, 52 pages.

[3] GAYE Th. A., S. Fongang, E.M.F. Dabo, E. Sambou and S.M. Sall, 2000 : Downscaling global climate models outputs to build climate change Scenarios in Senegal, Word Resource Review, Vol. 12, No.2, 224-236.

[4] Farago, T. and R.W. Katz, 1990 : Extreme and design values in climatology, Wold Climate Program, Wold Meteorological Organization, WMO/TD -No 386.

[5] IPCC/WMO/UNEP, 2000 : IPCC special report ; Emissions Scenarios – Summary for Policymakers, 21 pages.

[6] Viner, D. and Hulme, M., 1992 : Climate change Scenarios for Impacts Studies in the UK : General Circulation Models, Scenario Construction Methods and Applications for Impacts Assessment. Report prepared for the UK Departement of the Envrionnement, Climatic Reseach Unit, Norwich, 70 pp.

[7] Groupe Inter-Pluridisciplinaire d'Etude sur le Climat (GIEC), 2001: Troisième rapport d'évaluation du GIEC; Contribution du Groupe de travail N°1, 2001.