



Université Senghor

Université internationale de la langue française au service du
développement africain

Opérateur direct de la Francophonie



DEPARTEMENT ENVIRONNEMENT



Mémoire de Master 2

THEME :

*Impacts des changements climatiques sur les ressources en
eau de la retenue du Sourou au Burkina Faso*

Par : **Madame Dior DIALLO**

Pour l'obtention du Master en Développement de l'Université Senghor

Spécialisation : Gestion de l'environnement

Directeur : Dr Arona DIEDHIOU, IRD/ LTHE, Université de Grenoble /France

Co-directeur : Dr Ernest AMOUSSOU, LACEEDE/Université d'Abomey-Calavi BENIN

Devant le jury composé de :

Dr Martin YELKOUNI Directeur du Département Environnement de l'Université Senghor d'Alexandrie	Président
Dr Arona DIEDHIOU Directeur de recherche IRD/ LTHE, Université de Grenoble /France	Examineur
Pr Samuel YONKEU Directeur ISIG International	Examineur

09 Avril 2013

« Si rien n'est fait, nous allons perdre notre planète bien-aimée. Il est de notre responsabilité collective de trouver des solutions 'non égoïstes' et rapides avant qu'il ne soit trop tard pour réparer les dégâts causés chaque jour. »

*Maria Kassabian
Nigeria, 10 ans*



*A
Mon Mari Moustapha Bougouma D'ARRA
Mon Papa Pr. Abdoul D'ALLO
Ma Maman Ndèye Sellé D'OUF
Et toute la famille D'ALLO et D'ARRA*

REMERCIEMENTS

Au cours de ce travail, j'ai pu bénéficier du soutien et de l'appui de nombreuses structures et personnes que je tiens à remercier ici.

- ☞ Tout d'abord, le Pr. Albert LOURDE, Directeur de l'Université Senghor d'Alexandrie pour la qualité de la formation et de l'encadrement ;*
- ☞ le Dr. Martin YELKOUNI, directeur du département Environnement, pour la confiance qu'il a eu à mon égard, pour sa courtoisie, ses conseils. J'ai su apprécier pendant ces deux années toutes ses qualités humaines et scientifiques ;*
- ☞ Madame Suzanne ZIKRY, assistante de direction du département environnement pour surtout sa gentillesse et son esprit de dialogue ;*
- ☞ Le Dr. Arona DIEDHIOU (HDR), Chercheur à l'Institut de Recherches pour le Développement (IRD) et au Laboratoire d'étude des Transferts en hydrologie et Environnement (LTHE) de Université Joseph Fourier de Grenoble/France, notre directeur de mémoire, pour la qualité de son enseignement, son efficacité dans la conduite de cette étude, ses conseils et sa disponibilité ;*
- ☞ Le Dr. Ernest AMOUSSOU, Enseignant-Chercheur au laboratoire Pierre Pagney : Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE) de l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin pour le suivi permanent malgré la distance et l'aide qu'il nous a apportée dans la modélisation.*
- ☞ M. Henri TICHOUX, Directeur du Service Agriculture, Irrigation & Bassins Versants d'AECOM-Canada-Est pour m'avoir accepté à AECOM,*
- ☞ Nous sommes reconnaissantes aussi des experts de AECOM : Mme Laure TANKPINOU, M. Pierre ROY; M. Vincent,..., pour les conseils prodigués ;*
- ☞ M. Jean Marie OUADBA et M. Jean Pierre MIHIN de l'INERA Burkina Faso, pour leur disponibilité et qui ont mis à notre disposition toutes les données requises ;*
- ☞ M. Ababacar NDAO, Coordonnateur de la CN.OMVS/OMVG, pour son aide sans faille, sa générosité et son soutien, à travers lui tout le personnel de la cellule particulièrement M. Lamine DIOP et M. Lahad DIOP ;*
- ☞ Je tiens aussi à remercier tous ceux qui, scientifiques ou personnels des services hydrologiques, météorologiques, MCA-BF, ont œuvré pour la réussite de ce travail ;*
- ☞ Mes frères et sœurs : Marème DIALLO et Yoro FALL, Ndéye F FAYE (ENDA-Energie-Sénégal), Ibrahima GUEYE, Fatou, Babacar DIOP (PAPIL-Sénégal), Emmanuel. SIRWE, Lamech KABORE, Mansourou... ;*
- ☞ Mon frère Moussa LAMINE, pour son esprit d'équipe durant ces deux années dans la diversité des opinions et des caractères. Sincère amitié !!!*
- ☞ Enfin, la 13^{ème} promotion de Senghor, particulièrement la délégation sénégalaise et la famille GREENS.*

RESUME

Les eaux de surface du Sourou (affluent/défluent du Mouhoun) sont une ressource vitale pour les pays riverains (Mali, Burkina Faso). Classée site Ramsar en 1990, la vallée du Sourou est une zone humide à forte potentialité agricole. Déjà sujette à de fortes pressions anthropiques, elle subit les effets des changements climatiques depuis le début des années 70 (événements extrêmes plus fréquents). C'est dans ce contexte que se situe la présente étude qui cherche à analyser l'évolution des impacts des changements climatiques sur la ressource en eau de la retenue du Sourou à l'horizon 2050. Pour ce faire, les sorties de deux modèles climatiques du Projet d'Inter-comparaison de Modèles Couplés Phase 5 (CMIP5), assortis de deux scénarii climatiques à savoir l'image (avec politiques de réduction des gaz à effet de serre) et le message (sans politiques de réduction de gaz à effet de serre) sont utilisées comme données d'entrées du modèle hydrologique pluie-débit GR2M. Le calage des paramètres du modèle et la validation sont faits suivant l'année de rupture 1968, détectée à l'aide de l'analyse statistique du logiciel Khronostat. Les résultats obtenus avec ces projections climatiques montrent à l'horizon 2050 une augmentation généralisée de la température et de l'évapotranspiration potentielle (ETP) quelque soit le scénario considéré. Il en est de même avec la pluviométrie qui augmente avec des risques d'inondation pour les scénarii incluant des politiques de réduction des Gaz à Effets de Serre (GES). Par contre, pour les scénarii n'incluant pas de politiques de réduction des GES, une baisse de 33 mm est observée par rapport à la pluviométrie moyenne de la période de référence 1961-2009. Si on se réfère au critère d'efficacité de Nash, appliqué aux écoulements qui est globalement supérieur à 50 %, le modèle GR2M utilisé s'avère efficace à simuler les débits moyens du Sourou malgré le degré de dégradation de l'écosystème. Les projections montrent l'impact de l'instabilité climatique sur la disponibilité des ressources en eau qui vont fortement diminuer ; si aucune mesure n'est prise. Il a été aussi établi que l'objectif d'assurer l'exploitation à long terme des périmètres irrigués existants et futurs de Di pourrait être atteint à terme. Mais l'atteinte de cet objectif dépendra de l'engagement des Etats (malien et burkinabé) dans la mise en place de stratégies communes d'adaptation avec l'implication surtout des communautés locales.

Mots clefs : Sourou, ressource en eau, Burkina Faso, affluent/défluent, changements climatiques, GR2M, Gaz à Effet de Serre.

ABSTRACT

Sourou Surface water resources (tributary/distributary of Mouhoun) are vital for the surrounding countries (Mali, Burkina Faso). Classified Ramsar'site in 1990, the Sourou Valley is a wetland with strong agricultural potential. However, being already subjected to strong anthropic pressures undergoes the effects of climate change since the early 70s (more frequent extreme events). In this context, this study analyzes the evolution of climate change impacts on water resources of the Sourou Reservoir towards 2050. To do this, the outputs of two climate models of the Coupled Models Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5), matching from two climate scenarios namely the image (with policies to reduce greenhouse gas emissions) and the message (without policies to reduce greenhouse gas emissions) are used as input data of the rainfall-flow rate hydrological model GR2M. The calibration of the model parameters and validation are made after the year 1968 rupture, detected using statistical analysis software Khronostat. The results obtained with these climate projections show towards the year 2050 a general increase of temperature and potential evapotranspiration (PET) whatever the scenario considered. It is the same for the rainfall which will increase with flood risk considering scenarios that include policies to reduce Gas (GHG) emissions Effects. On the contrary, for scenarios that do not include GHG reduction policies, a decrease of 33 mm was observed compared to the average rainfall of the reference period 1961-2009. If we refer to the efficiency criterion of Nash, applied to flow rates which are generally above 50%, the GR2M model used is proved to be efficient to simulate the average discharges of Sourou despite the degree of degradation of the ecosystem. Projections show the impact of climate instability on the availability of water resources which will considerably decline if no action is taken. It was also established that the objective of ensuring the long-term operation of Di existing and future irrigated perimeters could be achieved. But the achievement of this objective will depend on the commitment of states (Mali and Burkina Faso) in the establishment of common adaptation strategies involving local communities.

Keywords: Sourou, water resource, Burkina Faso, tributary/distributary, climate change, GR2M, Greenhouse Gas (GHG) emissions.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	II
RESUME.....	II
ABSTRACT.....	IV
LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES	VII
LISTE DES TABLEAUX.....	VIII
LISTE DES FIGURES	IX
INTRODUCTION GENERALE	- 1 -
Chapitre 1 : RESSOURCES EN EAU DU BURKINA FASO FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	- 4 -
1.1. Définition de quelques concepts	- 4 -
1.2. Etat des lieux sur les Changements Climatiques en Afrique de l'Ouest.....	- 5 -
1.2.1. Causes des changements climatiques	- 5 -
1.2.2. Evolution des ressources en eau ouest africaines	- 5 -
1.3. Vulnérabilité du Burkina Faso face aux Changements Climatiques.....	- 6 -
1.4. Synthèses sur les politiques d'adaptation du pays: Secteur de l'eau.....	- 9 -
Chapitre2 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	- 11 -
2.1. Burkina Faso : Fondements humains et physiques	- 11 -
2.2. Étude et présentation de la vallée du Sourou	- 12 -
2.2.1. Situation géographique de la vallée du Sourou.....	- 13 -
2.2.2. Cadre naturel et physique	- 13 -
2.2.2.1. Relief et condition géologique	- 13 -
2.2.2.2. Sols et végétation.....	- 14 -
2.2.3. Cadre climatique	- 14 -
2.2.3.1. Pluviométrie	- 14 -
2.2.3.2. Température.....	- 15 -
2.2.3.3. Vent.....	- 15 -
2.2.3.4. Evaporation.....	- 15 -
2.2.3.5. Insolation.....	- 15 -
2.2.3.6. Humidité relative	- 16 -
2.2.4. Caractéristiques hydrauliques	- 16 -
2.2.5. Cadre socio économique et intérêt du fleuve Sourou.....	- 16 -
2.3. Caractéristiques de la retenue de Sourou	- 17 -
2.3.1. Historique du système Mouhoun - Sourou	- 17 -
2.3.2. Description du réservoir de Sourou	- 18 -
Chapitre 3 : DONNEES, OUTILS ET APPROCHE METHODOLOGIQUE.....	- 20 -
3.1. Données disponibles pour cette étude	- 21 -
3.1.1. Données observées sur le terrain	- 21 -
3.1.2. Scénarii climatiques (2010 à 2050)	- 22 -
3.2. Outils utilisés dans cette étude	- 23 -
3.3. Approche méthodologique adoptée.....	- 23 -
3.3.1. Méthode de comblement des lacunes.....	- 23 -
3.3.2. Détection des ruptures de stationnarité.....	- 24 -
3.3.3. Modélisation GR2M.....	- 24 -

3.3.3.1.	Présentation et justification du choix du modèle hydrologique GR2M.....	- 25 -
3.3.3.2.	Principe de fonctionnement du modèle pluie-débit GR2M	- 26 -
3.3.3.3.	Mise en œuvre du modèle.....	- 27 -
3.3.4.	Analyse des résultats et synthèse sur les Changements Climatiques.....	- 28 -
3.3.5.	Proposition de stratégies d'adaptation	- 28 -
Chapitre 4 : RESULTATS ET DISCUSSIONS		- 29 -
4.1.	Analyse des résultats des tests de rupture avec Khronostat	- 29 -
4.1.1.	Evolution de la variable U du test de PETTITT et ellipse de bois	- 29 -
4.1.2.	Procédure de Lee et Heghinian.....	- 30 -
4.1.3.	Segmentation de Hubert	- 30 -
4.2.	Indicateurs globaux des changements climatiques et projections à l'horizon 2050	- 31 -
4.2.1.	Température.....	- 31 -
4.2.1.1.	Tendances historiques de la température	- 31 -
4.2.1.2.	Validation des modèles sur la période 1994-2009 pour la température	- 32 -
4.2.1.3.	Evolution de la température 1961-2050 selon les modèles climatiques.....	- 33 -
4.2.2.	Evaporation.....	- 34 -
4.2.2.1.	Tendances historiques de l'ETP.....	- 34 -
4.2.2.2.	Validation des modèles sur la période de référence 1961-2009 pour l'ETP	- 35 -
4.2.2.3.	Evolution de l'évapotranspiration 1961-2050 selon les modèles climatiques	- 36 -
4.2.3.	Pluviométrie	- 37 -
4.2.3.1.	Tendances historiques des précipitations	- 37 -
4.2.3.2.	Evolution de la pluviométrie moyenne de la zone d'étude.....	- 38 -
4.2.3.3.	Validation des modèles sur la période de référence 1961-2009 pour la pluie	- 38 -
4.2.3.4.	Evolution des précipitations 1961-2050 selon les modèles climatique	- 39 -
4.3.	Analyse des résultats de la modélisation et répercussions sur les besoins en eaux	- 41 -
4.3.1.	Résultats du calage et validation du modèle	- 41 -
4.3.2.	Evolution de la ressources en eau du Sourou selon GR2M.....	- 43 -
4.3.2.1.	Variation des écoulements moyens sur la période de référence.....	- 43 -
4.3.2.2.	Projections des écoulements moyens sur la période 2010 à 2050	- 44 -
4.3.2.3.	Variation saisonnière des débits moyens sur la période 2010 à 2050.....	- 46 -
4.4.	Synthèse des Résultats	- 47 -
4.5.	Proposition de mesures d'adaptation	- 48 -
4.5.1.	Cadre juridique, institutionnel et organisationnel.....	- 48 -
4.5.2.	Mesures visant la Gestion Intégrée des ressources en eau (GIRE).....	- 48 -
4.5.3.	Mesures visant la protection de la ressource du Sourou.....	- 49 -
4.5.4.	Renforcement de capacité, information sensibilisation des communautés	- 49 -
CONCLUSION GENERALE		- 51 -
BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE.....		- 53 -
ANNEXES.....		XI

LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES

AD	Agriculture et Développement
AECOM	Association of Consulting Engineering Companies
AGRHYMET	Centre Régional Agriculture- Hydrologie et Météorologie
AMVS	Autorité de Mise en Valeur du fleuve Sourou
APD	Avant Projet Détaillé
BF	Burkina Faso
CC	Changements Climatiques
CCNUCC	Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique
CEMAGREF	Centre national du Machinisme Agricole du Génie Rural, des Eaux et forets
CMIP5	Coupled Model Inter-comparison Project Phase 5
CNRM	Centre National de Recherches Météorologiques
CONAGESE	Conseil national pour la gestion de l'environnement
DGRE	Direction Générale des Ressources en eau
DMN	Direction de la Météorologie Nationale
ETP	Évapotranspiration Potentielle
GES	Gaz à Effet de Serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GIRE	Gestion Intégrée des Ressources en eau
GR2M	Génie Rural à 2 paramètres Mensuel
INERA	Centre National de Recherche Scientifique et Technologique
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
LACEEDE	Laboratoire Pierre Pagny : Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement
MCA-BF	Millennium Challenge Account - Burkina Faso
PAGEV	Projet pour l'amélioration de la gouvernance de l'eau dans le Bassin de la Volta
PANA	Plans d'action nationaux d'adaptation (PANA) au changement climatique
PDGIES	Plan directeur de gestion des impacts environnementaux et sociaux
PMA	Pays les Moins Avancés
RCP	Representative Concentration Parthway
RGPH	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
SAU	superficie agricole utile
TDR	Terme De Référence
UICN	Union Internationale pour la Conservation de la Nature

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Variation décennale de la pluviométrie et des débits moyens dans cinq grands ensembles hydrographiques de l'Afrique de l'Ouest : Déviation par rapport à la moyenne de 1951 à 1989 (en %)	- 6 -
Tableau 2: Dégâts causés par les sécheresses	- 7 -
Tableau 3: Dégâts causés par les inondations.....	- 7 -
Tableau 4: Scénarii pour la température et la pluviométrie de 2025 et 2050 au Burkina Faso	- 9 -
Tableau 5: Estimation des volumes d'eau de 2025 et 2050 du bassin versant de Mouhoun au Burkina Faso ...	- 9 -
Tableau 6: Tableau des besoins en eau dans le sous-bassin du Sourou	- 9 -
Tableau 7: Pratiques passées et pratiques actuelles d'adaptation aux CC dans le secteur de l'eau	- 10 -
Tableau 8: Bassin versant du Mouhoun au Burkina et ses sous-bassins.....	- 12 -
Tableau 9: Vitesse moyenne du vent (m/s) – Dédougou.....	- 15 -
Tableau 10: Données observées dans la station pluviométrique de Dédougou	- 21 -
Tableau 11: Données hydrométriques des stations de Nwokuy et de Samendéni.....	- 21 -
Tableau 12: Caractéristiques de la station de Nwokuy.....	- 21 -
Tableau 13: Période choisie et lacunes à combler au niveau de la série chronologique des débits	- 24 -
Tableau 14: Résultats du test de segmentation d'Hubert.....	- 31 -
Tableau 15: Températures observées et celles obtenues avec les modèles climatiques entre 1994-2009	- 32 -
Tableau 16: ETP observées et ETP obtenues avec les modèles climatiques entre 1961-2009 en (mm)	- 35 -
Tableau 17: Pluies observées et Pluie obtenues avec les modèles climatiques entre 1980-2009 en (mm)	- 38 -
Tableau 18: Pluviométries maximales et minimales projetées sur 2010-2050 par rapport à l'observation 1961-2009	- 40 -
Tableau 19: Récapitulation des projections des paramètres climatiques retenues.	- 41 -
Tableau 20: Résultats du calage et de la validation croisée du modèle GR2M.....	- 42 -
Tableau 21: Calage et de validation sur la période de projection	- 44 -
Tableau 22: Variation des débits selon les scénarii climatiques.....	- 46 -

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Aménagement d'un radier sur le Mouhoun et ouverture d'un canal de dérivation.....	- 8 -
Figure 2: Liens entre pratiques d'adaptation et changements climatiques	- 10 -
Figure 3: Répartition de la population résidente par sexe selon le milieu de résidence	- 11 -
Figure 4: Réseau hydrographique des bassins versant nationaux du Burkina Faso	- 12 -
Figure 5: Carte de Burkina : localisation du Mouhoun et du sous-bassin du Sourou (i) et (ii)	- 13 -
Figure 6: Moyenne mensuelle de la pluviométrie des stations de Di et de Dédougou en mm	- 15 -
Figure 7: Isolation en heures.....	- 15 -
Figure 8: Humidité relative de l'Air dans la station de Dédougou	- 16 -
Figure 9: Ouvrage du Mouhoun -Sourou et son évolution.....	- 18 -
Figure 10: Courbe hauteur - surface noyée du Sourou	- 18 -
Figure 11: Courbe hauteur - volume stocké du Sourou.....	- 18 -
Figure 12: Hydrogramme des crues et hyetogramme 1985-2009	- 19 -
Figure 13: Disposition des stations pluviométriques et hydrométrique dans le sous-bassin Sourou..	- 20 -
Figure 14: Schéma conceptuel du modèle GR2M.....	- 25 -
Figure 15: Variable critique U du Test de Pettitt.....	- 29 -
Figure 16: Ellipses de BOIS (1961-2009) : sommes des écarts cumulés et intervalle de confiance ..	- 30 -
Figure 17: Densité de probabilité à posteriori de l'amplitude et de l'année de la rupture	- 30 -
Figure 18: Précipitations mensuelles moyennes avant et après rupture	- 31 -
Figure 19: Température moyenne mensuelle de la station de Dédougou	- 32 -
Figure 20: Variation interannuelle des températures dans le Sourou (1994 à 2009)	- 32 -
Figure 21: Anomalies des températures moyennes projetées avec les modèles climatiques CNRM et CMIP5 mean assorties du scénario d'évolution RCP 2.6	- 33 -
Figure 22: Anomalies des températures moyennes projetées avec les modèles climatiques CNRM et CMIP5 mean assorties du scénario d'évolution RCP 8.5	- 33 -
Figure 23: Augmentation de la température selon les modèles climatiques.....	- 34 -
Figure 24: Variation de l'évaporation du Sourou	- 34 -
Figure 25: Variation interannuelle de l'ETP	- 35 -
Figure 26: Anomalies de l'ETP moyennes projetées avec les modèles climatiques CNRM et CMIP5 mean suivant le scénario d'évolution RCP 2.6	- 36 -
Figure 27: Anomalies de l'ETP moyennes projetées avec les modèles climatiques CNRM et CMIP5 mean suivant le scénario d'évolution RCP 8.5	- 36 -
Figure 28: Evolution de la température (Temp) et de l'ETP mensuelles avec CMIP5 mean	- 37 -
Figure 29: Evolution de la température (Temp) et de l'ETP mensuelles avec CNRM	- 37 -
Figure 30: Moyenne mensuelle de la pluviométrie de Dédougou entre 1961 et 2009.....	- 38 -
Figure 31: Evolution de la pluviométrie moyenne dans les zones Di-Dédougou de 1961 à 2009	- 38 -
Figure 32: Anomalies des précipitations moyennes projetées avec les modèles climatiques CNRM et CMIP5 mean suivant le scénario d'évolution RCP 2.6	- 39 -

Figure 33: Anomalies des précipitations moyennes projetées avec les modèles climatiques CNRM et CMIP5 mean suivant le scénario d'évolution RCP 8.5	- 39 -
Figure 34: Comparaison des pluies observées avec celles projetées en 2050	- 40 -
Figure 35: Evolution du critère de Nash en calage et validation sur la période d'étude	- 42 -
Figure 36: Calage et validation sur les sous périodes avant et après rupture	- 43 -
Figure 37: Evolution du module hydrologique(1) et indices des débits observés (2) de la station de Nwokuy de 1955 à 2009)	- 44 -
Figure 38: Variabilité des lames d'eau précipitées et des débits simulés en calage et validation suivant différentes sous-périodes.....	- 45 -
Figure 39: Variation des débits en fonction des pluies dans une situation de réduction de GES	- 46 -
Figure 40: Variation des débits en fonction des pluies dans une situation sans réduction de GES ...	- 46 -
Figure 41: Niveau du réservoir de production du Sourou selon GR2M	- 47 -
Figure 42: Niveau (R) du réservoir de Routage du Sourou selon GR2M	- 47 -

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : ANOMALIES POUR UNE ANNEE SECHE, HUMIDE ET L'ANNEE 2050	XI
1.1. Anomalies des températures.....	XI
1.2. Anomalies de la pluviométrie	XII
1.3. Anomalies des ETP	XIII
Annexe 2 : PROJECTIONS DE GRADS	XIV
2.1. Projections de GRADS sur le Burkina et la zone d'étude.....	XIV
2.2. Projections de GRADS : Evolution de la température du Sourou.....	XV
2.3. Projections de GRADS : Evolution de la pluviométrie du Sourou.....	XV
Annexe 3 : PROJECTIONS CLIMATIQUES	XVI
3.1. Températures : CMIP5 mean assorties de scénarii RCP 2.6 et 8.5.....	XVI
3.2. Températures du modèle CNRM assorties de scénarii RCP 2.6 et 8.5	XVIII
3.3. Pluie (mm) : CMIP5 mean assorties de scénarii RCP 2.6 et 8.5	XX
3.4. Pluie (mm) : CNRM assorties de scénarii RCP 2.6 et 8.5	XXII
3.5. ETP Penman (mm) : CMIP5 mean assorties de scénarii RCP 2.6 et 8.5	XXIV
3.6. ETP Penman (mm) : CNRM assorties de scénarii RCP 2.6 et 8.5.....	XXVI
3.7. Débits simulés par le modèle climatique CNRM.....	XXVIII

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Depuis quelques décennies, le climat global de la terre ou de ses divers climats régionaux sont confrontés à une modification durable (de la décennie aux millions d'années) de leurs paramètres statistiques : paramètres moyens, variabilité (GIEC, 2007). Ces modifications peuvent être dues à des processus intrinsèques à la terre, à des forces extérieures ou, plus récemment, aux activités humaines. La détérioration du climat qui se traduit en particulier par la baisse de la pluviométrie annuelle et par la réduction de la longueur de la saison des pluies a comme conséquence majeure la dégradation du milieu naturel. Les conséquences des changements climatiques sur les ressources en eau sont importantes dans la mesure où ces dernières peuvent avoir un impact très négatif sur l'agriculture, l'élevage, l'approvisionnement en eau potable, la conservation de la biodiversité...qui constituent les maillons fondamentaux de l'économie rurale.

Selon les prévisions du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), le réchauffement du système climatique tant évoqué actuellement est sans équivoque. En effet, on observe « une augmentation des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et des océans, une fonte généralisée des glaces et une élévation du niveau mondial de la mer¹ ». D'ailleurs, dans le 3^{ème} Rapport d'Evaluation de GIEC (TRE de 2001), la plupart des scénarii du changement climatique prévoit une augmentation de 1,4 à 5,8°C d'ici 2100 particulièrement sur les continents.

Les changements climatiques sont certes un phénomène global, mais leurs effets néfastes sont plus durement ressentis par les populations et en particulier les populations des pays pauvres d'Afrique surtout (Banque Mondiale, 2010). Les pays pauvres d'Afrique sont particulièrement vulnérables en raison de leur forte dépendance aux ressources naturelles ainsi que leur capacité limitée à faire face aux changements climatiques (CC). Ce qui fait que les perspectives sur ce phénomène sont loin d'être rassurantes en ce qui concerne l'environnement dans l'ensemble des bassins ouest africains².

A l'instar des autres pays sahéliens, le Burkina Faso est frappé de plein fouet par les changements climatiques. Pays enclavé au centre de l'Afrique de Ouest, le Burkina Faso dispose de ressources en eau assez limitées (PANA, 2006). Jadis rares et pour la plupart transfrontalières, ces ressources en eau sont soumises à des variations cycliques extrêmes (OUAGA. 2011) : (i) sécheresse des années 1970 ; (ii) reprise aléatoire dans les années 2000 ; (iii) inondations de 2007 etc. Cette instabilité du climat a entraîné une dégradation continue des écosystèmes (ensablement des cours d'eau et dégradation continue de sa qualité) du Burkina Faso dont l'économie repose essentiellement sur l'agriculture et l'élevage (ROSILON. 2007). Cette dégradation des milieux naturels est accentuée par la forte croissance démographique et le développement des activités socio-économiques.

De même, l'évolution de la disponibilité de l'eau illustre bien l'importance du facteur climatique. De façon générale, le Burkina Faso, comme les autres pays d'Afrique, fait face à des problèmes de plus en

¹ John Houghton (GIEC, centre Hadley) : Le réchauffement climatique : Un état des lieux complet page 11

² Démontré en 2008 par les experts du Projet de Gestion des Ressources en Eau et de l'environnement du bassin du fleuve Sénégal dans le document dans le Plan d'actions stratégiques : PAS/GEF.

plus aigus de disponibilité de l'eau (PANA, 2006). Le GIEC estime, qu'au cours des 50 dernières années, la disponibilité de l'eau par africain a diminué de 75%. Ces tendances sont encore plus nettes en Afrique de l'Ouest qui est l'une des trois régions du monde à enregistrer les évolutions les plus défavorables de la précipitation au cours de la période 1900-2000 (GIEC, 2007). Ces constats ont été également faits par le groupe d'experts du PANA du Burkina Faso, qui prévoit une augmentation notable de l'évaporation des plans d'eau suite à un accroissement d'au moins un degré (0,8°C) de la température mais également une diminution des précipitations en 2025.

C'est dans ce contexte de changements climatiques que le Burkina Faso en ratifiant la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), le 2 septembre 1993 (SP/CONAGESE³, 2001), s'est résolument engagé dans la lutte contre les effets néfastes et les causes des changements climatiques (BAGAYOKO. 2008) en développant entre autres politiques, une politique de valorisation des zones humides, comme la vallée du Sourou.

La vallée du Sourou, une des plus importantes zones humides du Burkina Faso, est drainée par un cours d'eau transfrontalier (avec le Mali) d'environ 120 km de long. Classée site Ramsar, elle est une zone à fortes potentialités agricoles d'une superficie de 24 000 ha (UICN⁴. 2008). Elle est caractérisée par une biodiversité remarquable et des ressources naturelles assez importantes avec une capacité de stockage de plus de 600 millions de m³ (AECOM. 2010). Ces atouts lui confèrent un intérêt à la fois écologique (réservoir de biodiversité), hydrologique (régulation des régimes hydrologiques, recharge de la nappe phréatique, amélioration de la qualité de l'eau) et socio-économique.

Conscientes de ces opportunités et dans la perspective de créer les conditions d'un développement durable, les autorités Burkinabè, ont décidé de faire de cette vallée un pôle d'accroissement de la production agricole. Ce faisant, le Burkina Faso à travers l'Autorité de Mise en Valeur de la Vallée du Sourou (AMVS) a réalisé dans la vallée de nombreux ouvrages hydrauliques (le barrage vanne de Lery et ses ouvrages annexes, le canal de dérivation du Mouhoun).

Cependant, le sous-bassin du Sourou est de plus en plus soumis aux conséquences des changements climatiques. En effet, dès 1970, la région est marquée par une phase de sécheresse prolongée, qui s'est surtout traduite sur le plan climatique par une baisse de la pluviométrie annuelle avec une descente en latitude des isohyètes interannuelles et une diminution du nombre de jours de pluie, surtout aux mois de juillet et août (BAGAYOKO. 2008). Ce fait a amené le Burkina Faso à intégrer la question des changements climatiques dans toutes ses politiques d'aménagements agricoles mais les fruits de ces efforts se sont avérés insuffisants. Face à cette situation, il nous paraît important de s'interroger sur l'avenir des ressources en eau de la vallée du Sourou

C'est dans cette perspective que ce présent travail d'analyse des « *impacts des Changements climatiques sur les ressources en eau de la retenue de Sourou au Burkina Faso* », en collaboration avec

³ Secrétaire Permanent du Conseil National pour la gestion de l'Environnement

⁴ Union Internationale pour la Conservation de la Nature.

l'Association of Consulting Engineering Companies (AECOM⁵) et Millénium Challenge Account (MCA) Burkina Faso, a été initié afin de fournir des éléments d'orientation sur l'évolution future de la vallée. De ce fait, cette étude se veut à la fois synthétique et complémentaire des études de contrôle des crues et de réhabilitation des aménagements hydro-agricoles situés dans la confluence Mouhoun-Sourou. Mais, aussi ambitionne-t-elle d'aider à guider les aménagements de cette vallée vers un futur plus viable en intégrant les changements climatiques dans les processus de gestion. Elle s'intéressera principalement aux questions suivantes:

Comment évoluera la ressource en eau de la retenue du Sourou d'ici 2050 ? Les changements climatiques ne peuvent-ils pas enrayer la volonté politique du gouvernement burkinabè de faire de cette vallée un des poumons agricoles du pays ?

Face à ces questions, notre hypothèse de recherche est la suivante : sans aucune action de résilience aux changements climatiques, le débit des eaux de surface du Sourou va fortement baisser.

L'objectif général de ce travail est d'assurer une exploitation à long terme des périmètres irrigués de la vallée en intégrant les préoccupations des changements climatiques dans la gestion quotidienne de la retenue du Sourou. De manière spécifique, il s'agit de : (i) identifier les indicateurs globaux qui permettront de suivre les changements climatiques dans le sous bassin-versant du Sourou; (ii) décrire le fonctionnement du bassin (débits, niveau de réservoir de production et de routage) à l'horizon 2050 en intégrant les scénarii climatiques du GIEC; (iii) et proposer des stratégies d'adaptation simples et efficaces pour une meilleure gestion de la ressource du bassin.

Compte tenu des objectifs de recherche, notre travail se structure en quatre chapitres. Le premier analyse l'état des lieux sur les changements climatiques et la vulnérabilité du Burkina Faso, de la vallée du Sourou plus particulièrement, face à ce phénomène. Le deuxième chapitre présente le contexte physique, hydrologique et climatique de la vallée du Sourou. Le troisième chapitre décrit dans un premier temps les données et outils nécessaires à la modélisation hydrologique et dans un second temps l'approche méthodologique adoptée. Enfin, le quatrième chapitre présente les résultats, suivis de discussions, des projections climatiques, ainsi que les éléments d'impacts des changements climatiques sur la ressource en eau du Sourou. Ce dernier chapitre aborde aussi les différentes stratégies d'adaptation pour une meilleure gestion du Sourou.

⁵ Bureau d'étude canadien chargé de la réhabilitation des ouvrages hydrauliques et hydro-agricoles du projet Agriculture-Développement/Millénium Challenge Account-BF.

Chapitre 1

LES RESSOURCES EN EAU DU BURKINA FASO FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

1.1. Définition de quelques concepts

1.2. Etats des lieux sur les Changements Climatiques et leurs impacts sur les ressources en eau

1.3. Vulnérabilité du Burkina Faso face aux Changements climatiques

1.4. Synthèses sur les stratégies d'adaptation du pays

Chapitre 1 : LES RESSOURCES EN EAUX DU BURKINA FASO FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Ce chapitre pose dans un premier temps les bases essentielles du sujet en terme conceptuel pour une meilleure compréhension des enjeux des changements climatiques. Elle est suivie ensuite d'une synthèse sur l'état des lieux sur les changements climatiques à l'échelle globale (Afrique de l'ouest) avec insistance sur la vulnérabilité du cas particulier du Burkina Faso et les dispositions mises en place par les autorités du pays pour y faire face.

1.1. Définition de quelques concepts

☞ Climat

C'est la condition moyenne (environ 30 ans d'après l'Organisation Mondiale de la Météorologie) des vents, des températures ou des précipitations et leurs variations les plus régulières sur une zone vaste.

☞ Changements climatiques

Cette notion est définie comme la modification durable (d'une décennie à un million d'années) des paramètres statistiques (paramètres moyens, variabilité) du climat global de la terre ou de ses divers climats régionaux (GIEC, 2007).

☞ Variabilité climatique

Par variabilité du climat, on entend généralement les variations de l'état moyen et d'autres variables statistiques (écarts-types, apparition d'extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles temporelles et spatiales autres que celles de phénomènes météorologiques particuliers (BAGAYOKO. 2008).

☞ Bassin versant

Le bassin versant en une section droite d'un cours d'eau. Il est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section. Il est entièrement caractérisé par son exutoire à partir duquel nous pouvons le délimiter (KARAMBIRI. 2006).

☞ Impact

Il se définit comme les résultats d'un programme ou projet appréciés par référence aux objectifs de développement ou aux buts à long terme de ce programme ou projet. C'est donc un changement, planifié ou non, positif ou négatif, qu'un programme ou projet cherche à introduire dans une situation donnée (PNUD, 1997).

☞ Effet

L'effet est le résultat d'un programme ou projet par référence à ses objectifs immédiats, que font apparaître les produits du programme ou projet (PNUD, 1997).

1.2. Etat des lieux sur les Changements Climatiques en Afrique de l'Ouest

1.2.1. Causes des changements climatiques

Actuellement, l'étude des variabilités et du changement climatique revêt une place importante parmi les problèmes environnementaux rencontrés. Les différents travaux effectués ces dernières années par la communauté scientifique ont permis de lever l'équivoque sur les causes de ce phénomène mondial qui est attribué à l'augmentation dans l'atmosphère des gaz à effet de serre (GES) résultant de l'activité humaine. Ce fait est confirmé par le 4^{ème} rapport du GIEC 2007 (AR4) qui montre bien que les changements climatiques sont dus aux gaz à effet de serre et aux aérosols anthropiques.

Par rapport au reste du monde, le Burkina Faso, dont l'économie est essentiellement basée sur les activités du secteur primaire, émet une quantité négligeable de ces GES responsables des Changements climatiques. Les émissions nationales sont estimées à 64% pour l'agriculture, 19% pour l'exploitation forestière, 12% pour l'énergie..., (SP/CONAGESE. 2001).

1.2.2. Evolution des ressources en eau ouest africaines

Les études menées dernièrement sur le continent africain mettent en relief une tendance générale à l'aridification depuis une période charnière. Pour ce qui concerne les conditions climatiques de l'Afrique de l'Ouest, NIASSE et al, (2004) démontrent que toute la partie sahélienne de la zone en particulier, connaît des variations chroniques et de grande ampleur, surtout depuis le début des années 1970. La région a connu une rupture nette de séries pluviométriques et hydrométriques autour des années 1968-1972, avec 1970 comme année charnière. La baisse de la pluviométrie moyenne avant et après 1970 va d'environ 15% à plus de 30% selon la zone. En plus de cela, on observe un glissement des isohyètes d'environ 200 km vers le sud avec une diminution du nombre d'évènements pluvieux. Cependant, la légère augmentation des précipitations est observée durant les années 90. Selon Ardoin-Bardin (2003) cette augmentation n'a jamais permis d'atteindre les valeurs "pré-rupture" caractérisant les années 50 et 60.

Tout comme pour les séries pluviométriques annuelles, une variation importante des débits moyens annuels est observée à partir des années 1970 pour la majeure partie des fleuves d'Afrique de l'Ouest. Et de manière générale, tous les grands fleuves de la zone connaissent une variation des séries chronologiques des débits concomitamment à celle de la pluviométrie. Cependant la baisse moyenne des écoulements depuis le début des années 1970 estimée à 40% voire 60% est plus importante que celle de la pluviométrie qui tourne autour de 15% à 30% (tableau 1).

Selon le quatrième rapport d'évaluation du GIEC (AR4), entre 75 et 250 millions de personnes seront exposées à un stress hydrique accentué par les changements climatiques en Afrique d'ici 2020. Depuis 1970, l'écoulement annuel des grands cours d'eau de certaines régions sèches du continent africain (tableau1) et la disponibilité en eau ont diminué de 10 à 30%. Cette baisse a eu des conséquences directes sur le remplissage de la plupart des retenues des barrages de l'Afrique de l'Ouest. En effet, la baisse des débits enregistrés s'est traduite par une régression significative de la superficie des zones

Chapitre 1 : Les ressources en eau du Burkina Faso face aux Changements Climatiques

humides concernées avec une perte importante de la biodiversité (NIASSE. 2004). Ces conséquences sont alors plus durement ressenties par les communautés pauvres surtout des zones rurales. Ces dernières sont fortement dépendantes des ressources naturelles à forte sensibilité climatique tels que les ressources en eau et les systèmes de production agricoles. Leur vulnérabilité est accentuée par leurs capacités organisationnelles limitées, l'accroissement démographique et des activités génératrices de revenus etc.

Tableau 1: Variation décennale de la pluviométrie et des débits moyens dans cinq grands ensembles hydrographiques de l'Afrique de l'Ouest : Déviation par rapport à la moyenne de 1951 à 1989 (en %)

Ensembles Hydrographiques		1951- 1960	1961- 1970	1971- 1980	1981- 1989	Cumuls 1971-1989
<i>Sénégal, Gambie, Corubal et Konkouré (Nord Guinée)</i>	Pluviométrie	+23,0	+13,0	-8,5	-16,5	-25,0
	Débits	+32,6	+23,6	-24,1	-35,7	-59,8
<i>Fleuve du Sud Guinée, Sierra Leone et Libéria</i>	Pluviométrie	+10,3	+5,2	-3,5	-13,3	-26,8
	Débits	+19,6	+15,7	-9,3	-28,8	-38,1
<i>Bas delta du fleuve Niger (Onitsha, Benué)</i>	Pluviométrie	+11,3	+3,1	-4,2	-11,2	-15,4
	Débits	+14,8	+13,4	-8,7	-21,5	-30,2
<i>Côte d'Ivoire, Ghana, Togo, Bénin</i>	Pluviométrie	+9,3	+4,6	-5,5	-9,4	-14,9
	Débits	+23,4	+21,8	-18,4	-29,9	-48,3
<i>Nigeria et du centre du Cameroun, : Wouri, Mungo, Sanaga</i>	Pluviométrie	+3,1	+7,4	-1,4	-9,6	-11,0
	Débits	+10,5	+12,6	-9,3	-15,3	-24,6

(Source : Mahé et Olivry, 1995)

1.3. Vulnérabilité du Burkina Faso face aux Changements Climatiques

Le changement climatique est une réalité depuis les années 1970 et ses effets sont visibles sur les ressources naturelles dans les pays en développement en général et les pays sahéliens en particulier. A ce titre, le Burkina Faso subit les impacts du changement climatique qui limitent son développement. Le Groupe d'Experts du Changement Climatique du Burkina Faso a montré que les phénomènes climatiques extrêmes liés aux changements climatiques (sécheresses, inondations, vents de sable, pics de température) sont devenus plus fréquents et plus intenses ces quatre dernières décennies. L'Hôte et Mahé (1996) quant à eux démontrent que les isohyètes se décalent vers le sud à partir de 1970 et que les pluies diminuent sur tout le pays avec un minimum pendant les années 80. Cependant, le constat naturel ainsi que l'analyse des données climatologiques sur la période 2000-2009 indiquent une reprise aléatoire de la pluviométrie dans tout le Burkina Faso.

Toujours, dans « la synthèse des études de vulnérabilité et d'adaptation aux changements climatiques en 2003 : étude de cas du Burkina Faso », le groupe d'experts du Plan d'Action National d'Adaptation (PANA) au changement climatique affirme que la pluviométrie moyenne annuelle a connu une baisse

Chapitre1 : Les ressources en eau du Burkina Faso face aux Changements Climatiques

sensible avec un déplacement latitudinal des isohyètes moyennes vers le sud sur une période de 30 années consécutives : 1951-1980, 1961-1990 et 1971-2000. De même, les températures connaissent une forte variabilité spatio-temporelle. Sur la période 1960-1990, l'évolution des températures est marquée par une légère tendance à la hausse dans le temps.

Les dégâts causés par les événements extrêmes observés durant ces dernières décennies (Tableaux 2 et 3) sont préjudiciables à l'économie burkinabè.

Tableau 2: Dégâts causés par les sécheresses

Crise climatique	Population touchée		Déficit céréalier (%)	Déficit céréalier (t)	Nombre de provinces
	Total touche	Groupe vulnérable			
1983/1984	2500000	500000		160000	10/30
1990/1991	692 000			127250	24/30
1995/1996	910 000		14%	24 000	
1997/1998	436 013			160000	17/45
2004/2005				436 013	

(Source : PANA BF 2006)

Tableau 3: Dégâts causés par les inondations

Années	Nombre de sans abri	Nombre de décès	Nombre de blessés	Nombre de maisons ébouleées	Superficie inondée (ha)	Nombre de barrages détruits
1992	5 485	6		3133		14
1994	74 080	22	4	21 000	106 164	18
1999	51 342	6	18	2 188		Inconnu
Totaux	130 907	34	> 22	26 321		>32

(Source : PANA BF 2006)

Ainsi, l'analyse des tableaux (2 et 3) indique que la sécheresse des années 1970 a provoqué un manque d'eau et une famine qui ont entraîné de nombreuses pertes en vies humaines, la décimation du cheptel et de la faune, aggravant ainsi la pauvreté. Le déséquilibre environnemental (la désertification et la dégradation du milieu biophysique, perte de la biodiversité...) ainsi causé ne fait que s'accroître avec les sécheresses récentes, en dépit des gros efforts de lutte déployés. D'ailleurs, les estimations sur la biodiversité montrent, qu'aux horizons 2025 et 2050, le potentiel de biomasse (qui représente près de 90% des besoins énergétiques) sera en nette régression passant de près de 200 millions de m³ en 1999 à seulement un peu plus de 110 millions de m³ en 2050 (PANA-BF.2006).

Les inondations, quant à elles, ont provoqué des pertes en vie et des dommages sur la santé humaine et animale, des dégâts matériels, la perte de moyens de subsistance et de services et des dégâts environnementaux etc. Les dommages causés par les inondations de 2007 et de 2009 sur les cultures sont très importantes. Ils sont estimés par le Centre Régional AGRHYMET/CILSS à :

- ☞ plus de 9300 ha de cultures inondées en 2009.

- ☞ 17 689 ha de cultures inondées, 13 500 tonnes de perte de production, 55 barrages cédés dont les digues lors des inondations de 2007 (OUAGA. 2011). Les aides aux populations sont estimées à 500 millions de francs CFA;

L'ensemble de ses dégâts est estimé dans le PANA à 1 803 000 000 FCFA en 1992 et à 63 937 680 000 FCFA en 1994. Le coût de la réfection des barrages endommagés en 1994 a été évalué à 192 776 576 FCFA (GIRE, 2000).

Ces impacts au niveau de la vallée du Sourou sont particulièrement importants. En effet, ils ont été accentués par la réalisation d'un certain nombre d'ouvrages hydrauliques dont le canal de dérivation (figure 1) du Mouhoun dans le Sourou en amont de la confluence Sourou-Mouhoun (au village de Lery) suite aux sécheresses des années 1970.

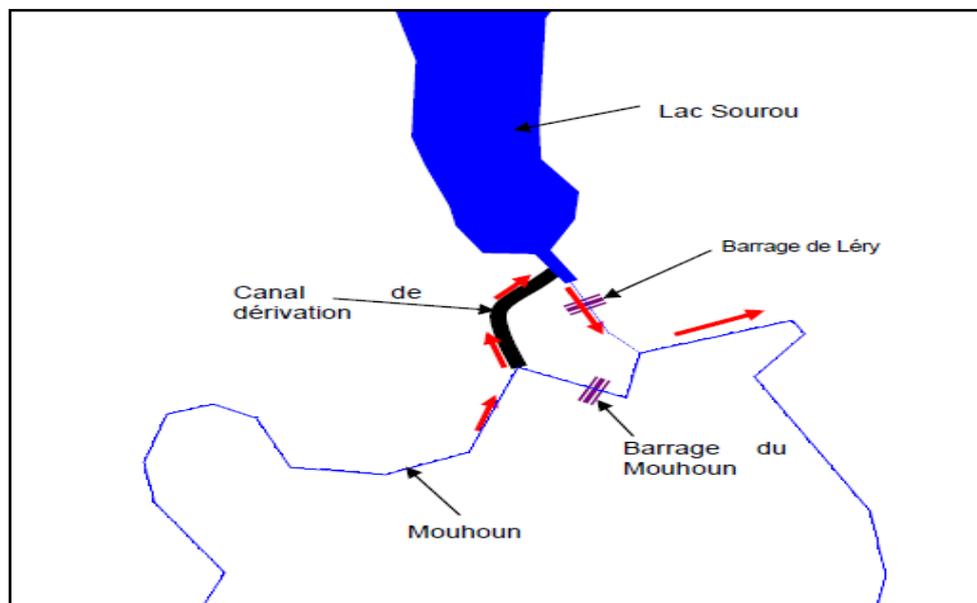


Figure 1: Aménagement d'un radier sur le Mouhoun et ouverture d'un canal de dérivation
(Source : GEF Volta 2008)

Ces ouvrages sur le Sourou ont posé d'énormes problèmes liés surtout à leurs mauvais calages dont les plus importants sont, entre autres,

- les inondations fréquentes des terres cultivables et la perte des cultures dans la vallée du Sourou - notamment lors de la crue de 1994 - résultant de l'inadéquation des infrastructures de contrôle des crues constituées des vannes de Léry, de l'évacuateur de crue du Mouhoun et des digues de protection dont les capacités et/ou le calage ne sont pas appropriés;
- le mauvais état des ouvrages et équipements hydrométriques en raison du manque d'un programme de maintenance et d'entretien adéquat ;

Selon les experts du PANA, cette situation s'accroîtra davantage dans le futur. En effet, l'analyse des tendances climatiques à travers l'utilisation des modèles de circulation et des scénarii climatiques du MAGICC/SCENGEN montre une augmentation de 0,8 à 1,7°C de la température et une diminution des précipitations de 3,4 à 7,3 mm entre 2025 et 2050 (tableau 4). Cette réduction des précipitations aura

Chapitre1 : Les ressources en eau du Burkina Faso face aux Changements Climatiques

comme conséquence majeure la baisse des volumes des cours d'eau qui peut aller jusqu'à -73 % en 2050 (tableau 5). Les travaux des experts du PANA sur le grand bassin versant du Mouhoun ont donné les résultats suivants :

Tableau 4: Scénarii pour la température et la pluviométrie de 2025 et 2050 au Burkina Faso

Horizon	Température (°C) moyenne	Pluviométrie (mm) moyenne
2025	0,8	-3,4
2050	1,7	-7,3

(Source : PANA-BF. 2006)

Les impacts sur les ressources en eau du Mouhoun sont représentés dans le tableau 5.

Tableau 5: Estimation des volumes d'eau de 2025 et 2050 du bassin versant de Mouhoun au Burkina Faso

Bassin Versant	Nom de la Station	Volume annuel (milliers de m ³) 2025	Volume annuel (milliers de m ³) 2050	Volume interannuel (milliers de m ³) 1961-1990
Mouhoun	Boromo	442 (-54.7%)	263 (-73%)	975

• (Source : PANA BF. 2006)

Dans ce contexte de raréfaction, les ressources en eau disponibles n'arriveront plus à satisfaire les besoins des principaux usagers qui sont estimés dans le rapport l'étude de faisabilité du schéma directeur d'aménagement et de mise en valeur du Sourou (GERSAR, 1980) à plus de 470 798 millions de m³ en 2025 (tableau 6).

Tableau 6: Tableau des besoins en eau dans le sous-bassin du Sourou

Année	Besoins en eau (x1 000 m ³)		
	Agriculture	Elevage	Consommation humaine
1990	125 900	4 132	5 472
2000	179 550	34 281	9 000
2010	219 270	74 078	12 672
2020	291 330	122 659	16 416
2025	310 560	142 094	18 144

Source : Projet PNUE / FEM – PDF/B « Gestion Intégrée du Bassin du Fleuve Volta » mars 2002

1.4. Synthèses sur les politiques d'adaptation du pays : secteur de l'eau

L'adaptation aux changements climatiques correspond au degré d'ajustement à des événements extrêmes afin d'atténuer les dommages potentiels et de tirer des opportunités ou de faire face aux conséquences. Dans le secteur de l'eau, l'adaptation ou l'atténuation des effets néfastes du changement climatique sur les stratégies de développement national, passe par la prise de mesures radicales pour une gestion rationnelle des réserves disponibles. Ces mesures sont de deux ordres:

- ☞ la revitalisation du réseau hydrographique existant ;
- ☞ et la protection des réserves disponibles surtout de la pollution et de l'ensablement, un phénomène très pesant dans la vallée du Sourou.

En effet, dans la vallée du Sourou, l'ensablement du lit du fleuve, causé principalement par le ruissellement et la surexploitation des ressources naturelles, commence à prendre une ampleur

extraordinaire. Selon Rosillon (2007), la situation est d'autant plus préoccupante que si aucune mesure n'est prise à l'horizon 2020-2025, le Sourou (une des rares rivières encore permanente au Burkina Faso) risque de se transformer en marigot avant de disparaître complètement suite à l'ensablement du lit. Dans cette perspective, une protection et une gestion rationnelle de la ressource partagée par divers usagers (agriculteurs, éleveurs, pêcheurs...), par l'implication des communautés à travers une bonne communication, la sensibilisation, l'information, sont déterminantes. C'est d'ailleurs dans ce cadre que les experts du CC du Burkina Faso ont identifié des stratégies d'adaptation en tenant compte des pratiques passées (savoirs locaux) et actuelles. Ces mesures d'adaptation par secteur d'activités dépendant surtout de l'eau sont récapitulées dans le tableau 7 :

Tableau 7: Pratiques passées et pratiques actuelles d'adaptation aux CC dans le secteur de l'eau

Secteur	Domaine	Pratiques actuelles	Pratiques passées
Ressource en eau	Agriculture Elevage AEP	<ul style="list-style-type: none"> - Construction de puits modernes, de forages à grand débit, - Construction barrages ; - Aménagements de mares ; - dérivation de cours d'eau ; - aménagement de périmètres irrigués et aquacoles ; 	Exécution de puits maraîchers ; Exhaure (motopompes et arrosoirs) de l'eau des cours d'eau, des mares et lacs naturels
	Couverture des besoins en eau de la faune et de la flore	<ul style="list-style-type: none"> - Création d'un barrage souterrain – test - Adoption de la GIRE comme mode de gestion appropriée 	Création de lacs artificiels d'eau pour la faune

(Sources PANA, 2006)

Les liens entre les pratiques d'adaptation et les changements climatiques toujours dans le secteur de l'eau sont récapitulés dans la figure 2 :

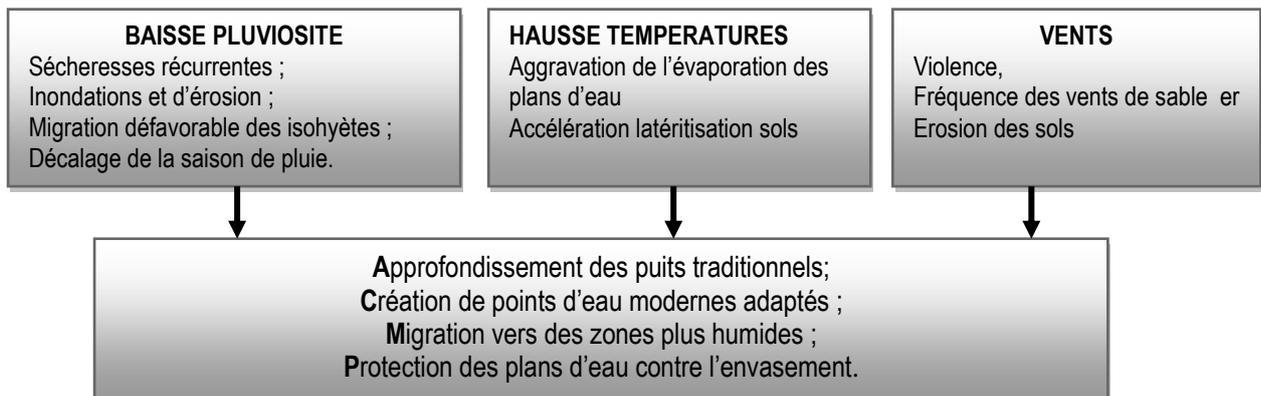


Figure 2: Liens entre pratiques d'adaptation et changements climatiques

(Sources PANA, 2006)

Ce chapitre a permis de déceler la vulnérabilité de la zone d'étude face aux changements climatiques. Dans le cas précis de la vallée du Sourou, ces impacts sont surtout aggravés par les actions anthropiques avec notamment, l'installation de périmètres irrigués, l'occupation des sols jusqu'en crête de berge du cours d'eau comme l'a si bien démontré Rosillon (2007).

Chapitre 2

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

- 2.1. *Burkina Faso : Fondements humain et physique*
- 2.2. *Etude et présentation de la vallée du Sourou*
- 2.3. *Caractéristiques du réservoir du Sourou*

Chapitre 2 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

L'objectif de ce chapitre est de présenter dans un premier temps, les facteurs physiques, hydrologiques et climatiques de la zone d'étude, en particulier les facteurs potentiellement liés à la variabilité climatique. Ce chapitre décrit également les ouvrages associés aux aménagements hydro agricoles et l'intérêt du fleuve Sourou pour les populations de la localité.

2.1. Burkina Faso : Fondements humains et physiques

Le Burkina Faso est un pays sahélien enclavé. Il a une superficie de 274 200 km² et partage ses frontières avec la Côte d'Ivoire au sud-ouest, le Ghana et le Togo au sud, le Bénin au sud-est, le Mali au nord-ouest et le Niger à l'est et au nord-est. Il s'étend sur 625 km du nord au sud et sur 850 km de l'est à l'ouest.

La population du pays était de 14 017 262 habitants en 2006 d'après le Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH). Elle est en croissance rapide et est extrêmement jeune. La population est à environ 80% rurale (figure 3). Les femmes représentent 51,7% de la population globale et les hommes 48,3%.

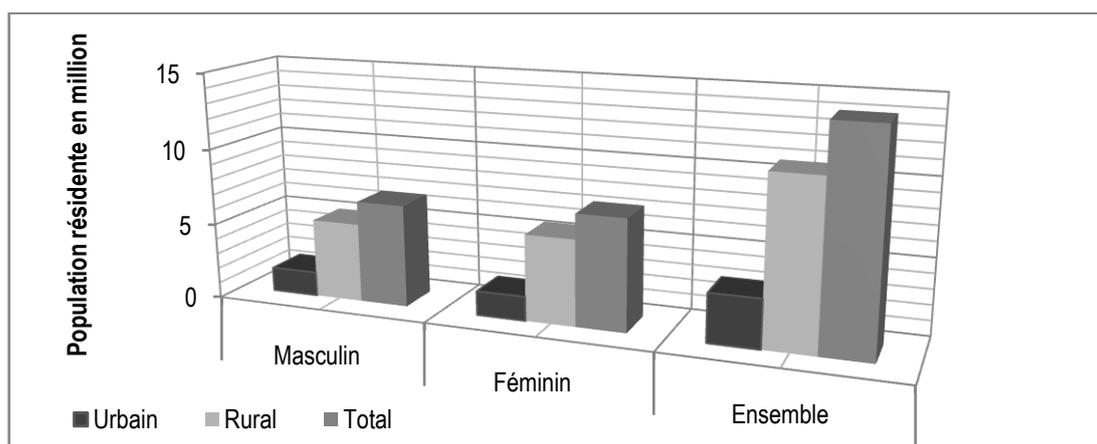


Figure 3: Répartition de la population résidente par sexe selon le milieu de résidence
(Réalisée avec les données brutes du RGPH-2006)

Cette population, majoritairement rurale, avait une densité de 51,8 habitants au Km² en 2006 (RGPH. 2006) et une espérance de vie qui tourne autour de 53 ans. Avec un PIB par tête d'habitant estimé à 345 US \$, le pays fait partie des Pays les Moins Avancés (PMA) avec une croissance démographique forte (supérieure à 5%).

Le pays se subdivise en trois grandes zones agro-climatiques: une zone sahélienne de pluviométrie 300 à 600 mm, une zone soudano-sahélienne de pluviométrie comprise entre 600 et 900 mm et une zone soudanienne de 900 à 1100 mm de moyennes annuelles de précipitations.

Au Burkina Faso, on distingue deux types de végétation : le nord et le centre sont recouverts de savanes arbustives et le sud d'une savane arborée et de forêts sèches.

Les ressources en eau du Burkina Faso (figure 4) sont presque exclusivement tributaires des pluies qui assurent la recharge des nappes d'eau souterraine et le remplissage à des degrés divers, des lacs d'eau de surface (PANA; 2006). Selon, les experts du CC du Burkina, en année moyenne, le pays reçoit environ 206,9 milliards de m³ d'eau répartis en volumes écoulés (4,16%), infiltrations (15,66%) et évaporation (80,18%). Les réserves en eau souterraine sont évaluées à environ 402 milliards de m³ en année moyenne mais elles peuvent chuter jusqu'à 268 milliards de m³ en année de sécheresse sévère. La capacité de stockage des lacs d'eau de surface est estimée à un peu plus de 5 milliards de m³ ; cependant, en année moyenne, ces ouvrages n'en stockent qu'environ 2,66 milliards (PANA, 2006).

Le Burkina Faso est drainé par trois grands fleuves internationaux : (i) la Comoé (bassin: 17 590 km² au BF); (ii) le Niger (bassin: 5 441 km² au BF) (iii) et la Volta (bassin: 172 968 km² au BF). Et c'est la Volta qui abrite le bassin national du Mouhoun dont le Sourou est un affluent/ défluent.



Figure 4: Réseau hydrographique des bassins versant nationaux du Burkina Faso
(Source PANA Burkina Faso, 2006)

2.2. Étude et présentation de la vallée du Sourou

Le sous-bassin national du Sourou appartient au bassin versant du fleuve Mouhoun (un des plus grands des quatre bassins hydrographiques nationaux du Burkina Faso). Il est drainé par le fleuve "Bagouè" ou Sourou et le Mouhoun. Ce dernier se compose de trois (03) sous bassins notamment, le Sourou, le Mouhoun Supérieur, le Mouhoun Inférieur (tableau 8).

Tableau 8: Bassin versant du Mouhoun au Burkina et ses sous-bassins

Bassin international	Bassin national	Sous-Bassin national	Superficie (km ²)
VOLTA	MOUHOUN	Mouhoun supérieur	20 978
		Mouhoun inférieur	54 802
		Sourou au Burkina	15 256
		Mouhoun	91 036

(Source : Lamine et al⁶, 2007)

⁶ Projet technique EIR sur le barrage de Kambienga

Le sous-bassin versant est presque entièrement situé au Mali (couvre 15 322 km²). Au Burkina Faso, le bassin versant du Sourou couvre 15 256 km². Il est essentiellement caractérisé par un climat sahélien, qui ne produit généralement que de faibles écoulements.

2.2.1. Situation géographique de la vallée du Sourou

La vallée du Sourou est située au Nord-Ouest du Burkina Faso (figure 5). Elle est drainée par la rivière du Sourou (120 km de long) qui est un cours d'eau orienté nord-est vers sud sur une distance d'environ de 120 km avec une superficie totale d'environ 30 000⁷ Km². Il s'étale de Mondoro dans le cercle de Douentza au Mali jusqu'à Léré dans la province du Sourou au Burkina Faso.

Sa partie amont marque la frontière naturelle entre la République du Mali et le Burkina Faso. Elle est limitée au sud par la province du Nayala et à l'ouest par la province de la Kossi. Sa vallée couvre une superficie de 995 km² soit 3% du territoire national et environ 12 % de la région. Sur le plan administratif, la vallée du Sourou est située dans la province du même nom et son emprise couvre cinq (05) communes rurales appartenant à trois provinces :

- la province du Sourou, avec les communes (de Di et de Lanfiéra);
- la province de la Kossi avec les communes (de Barani et de Sono) ;
- la province du Nayala avec la commune de Gassan.

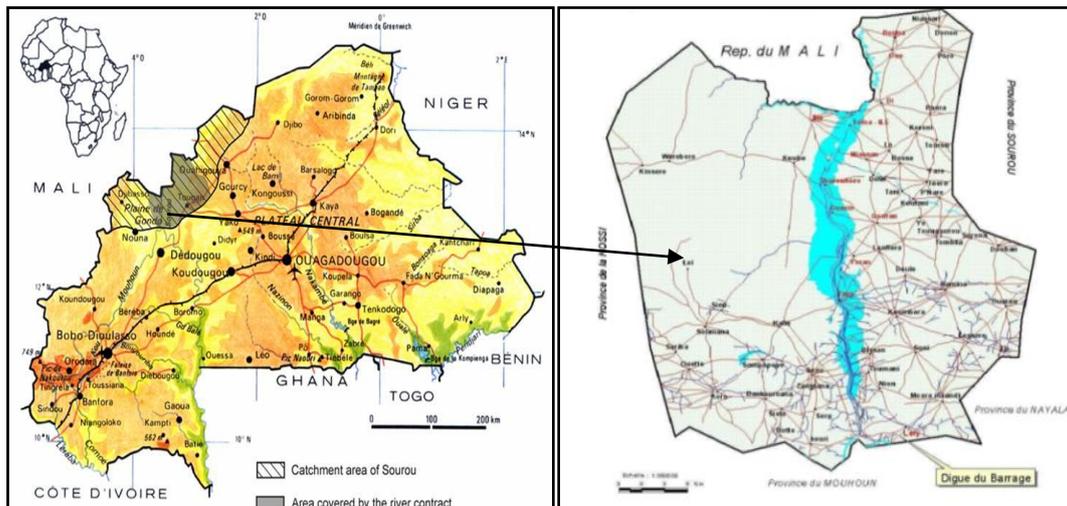


Figure 5: Carte de Burkina : localisation du Mouhoun et du sous-bassin du Sourou (i) et (ii)
(i) (Source : ROSILLON, F, 2007) (ii) (Source : BNDTAGB, 2008)

2.2.2. Cadre naturel et physique

2.2.2.1. Relief et condition géologique

La vallée du Sourou est une vaste plaine alluviale à sols argilo-limoneux, caractérisée par une topographie quasi plane, peu accidentée avec une pente très faible descendant vers le fleuve. Elle draine le bassin versant de la plaine du Gondo, à cheval entre le Burkina Faso et le Mali, et est limitée

⁷ Superficie sous bassin du Sourou

dans la zone de Goundam par des dunes et de petites collines rocheuses et par le plateau Dogon. La plaine du Gondo est bordée à l'ouest par le plateau de Bandiagara (AECOM, 2008).

Au plan géologique, c'est une zone caractérisée par des formations rocheuses sédimentaires datant du précambrien, composées d'une formation dominante gréseuse en alternance avec des formations hétérogènes de schistes argileux et calcaire-dolomitiques (AECOM, 2008). La série sédimentaire est recouverte sur la majeure partie du bassin du Sourou, par le continental terminal constitué de sédiments alluviaux argileux à sablo-argileux du quaternaire. L'épaisseur de cette couverture argileuse peut atteindre par endroit 60 m.

2.2.2.2. Sols et végétation

Les sols sont de types bruns eutrophes, modaux, ferrugineux et hydromorphes, avec un caractère vertique prononcé vers le fleuve. On dénombre particulièrement deux types de sols : i) le sol argileux (argile noire et lourde) dans la vallée du Sourou sur les deux rives de la rivière et ii) le sol sablonneux, en surface, de la plaine du Seno formée d'anciennes dunes de sable aplaties. Ces sols sont généralement de texture fine avec une forte capacité de rétention hydrique, une perméabilité basse, une faible aération des horizons subsuperficiels, un fort compactage, un ph moyen, un degré élevé de saturation en bases : Ca, Mg (FAGGI et al, 2000 in OUEDRAGO. 2009). Sous la couche de sable, se trouve de l'argile qui occasionne des inondations temporaires dans certaines régions pendant la saison des pluies.

Ces terrains modérément imperméables portent une couverture végétale très pauvre. Pourtant, elle est la plus importante de la région Nord-ouest du pays et est caractérisée par une steppe d'épines de type sahélien dans sa partie Nord tandis que dans sa partie Sud en zone soudano-sahélienne, la végétation est dense et est caractéristique de la savane arborée. On y trouve dans les terres inondables, des *Acacia* et des *Mitragyna* qui constituent des réserves fourragères (UICN, 2008).

2.2.3. Cadre climatique

Sur le plan climatique, la vallée du Sourou est très hétérogène. Elle est à cheval entre les zones soudanienne et soudano-sahélienne avec une pluviométrie de 600 à 800 mm. Son régime hydrologique subit l'influence dominante d'un climat qui oppose partout saison des pluies et saison sèche (une saison sèche longue de 8 mois et une saison pluvieuse de 4 mois).

2.2.3.1. Pluviométrie

La saison des pluies dure de juin à septembre seulement (figure 6), avec un maximum en août (209mm à Di et 237mm à Dédougou). Les pluies de début et de fin d'hivernage sont des averses orageuses accompagnées de vents forts. Les pluies d'août sont par contre de type mousson, en général de faible intensité mais de longue durée. Cependant, ces pluies sont assez localisées et ne s'étendent que très rarement sur de grandes superficies. D'une année à l'autre, la pluviométrie peut présenter des différences importantes.

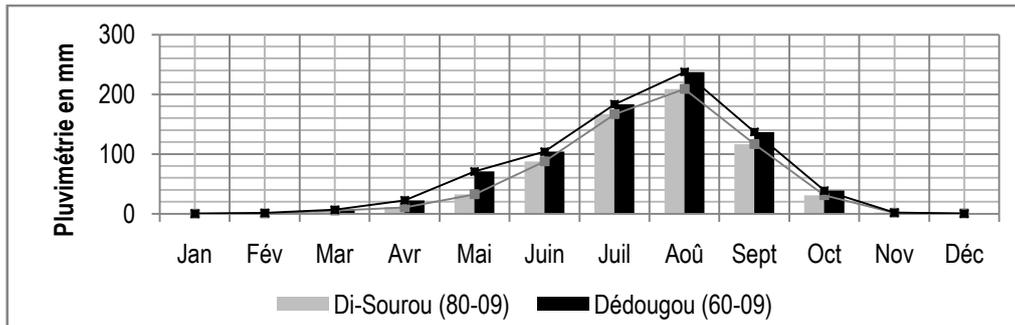


Figure 6: Moyenne mensuelle de la pluviométrie des stations de Di et de Dédougou en mm
(Source : construite à partir des données brutes de la station de Di et Dédougou)

2.2.3.2. Température

Selon la direction nationale de la météorologie du Burkina Faso (2009), les températures moyennes minimales oscillent entre 18°C et 27,5°C pour les mois frais (novembre-février) et de 32°C et 41°C pour les mois chauds. L'amplitude thermique est importante en saison sèche avec un maximal de 16°C.

2.2.3.3. Vent

En saison des pluies, la retenue du Sourou est sous l'influence des vents humides (tableau 9) du secteur sud-ouest à sud (mousson). En saison sèche, ce sont les vents secs du secteur nord-est à Est (harmattan) qui prévalent. L'amplitude de la variation est plus marquée en saison sèche qu'en saison pluvieuse.

Tableau 9: Vitesse moyenne du vent (m/s) – Dédougou

Vitesse moyenne du vent	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moyenne
Dédougou	2,9	3,0	2,7	2,8	3,3	3,0	2,5	1,7	1,4	1,7	1,9	2,6	2,4

(Source : Tecsubt AECOM, 2008)

2.2.3.4. Evaporation

L'évaporation est à son degré maximum juste avant le début de la saison des pluies et augmente progressivement vers le nord où la couverture végétale est plus rare. Elle est en moyenne de 2858 mm par mois.

2.2.3.5. Insolation

Comme le montre la figure 7, l'insolation mensuelle passe par un minimum au mois d'août (mois le moins ensoleillé) à un maximum aux mois de janvier et février. Ainsi, les variations de l'insolation sont faibles d'un mois à un autre.

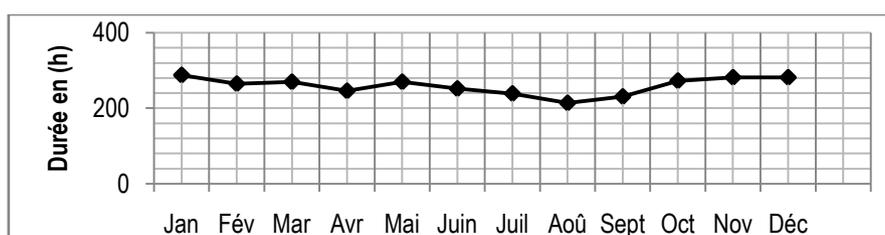


Figure 7: Isolation en heures
(Source : Tecsubt AECOM, 2008)

2.2.3.6. Humidité relative

L'humidité relative de l'air est élevée en août-septembre. Elle représente environ 80 % pendant la saison des pluies et peut atteindre 20 % pendant les mois les plus secs. La figure 8 présente la variation mensuelle de l'humidité.

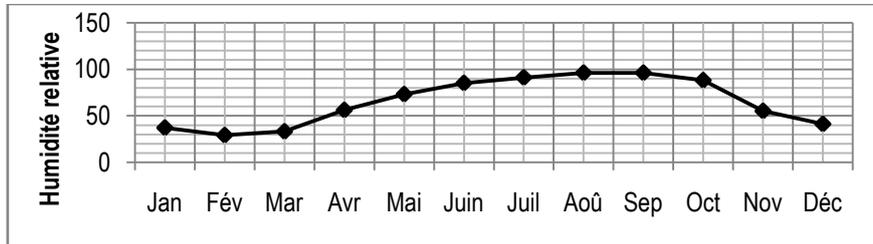


Figure 8: Humidité relative de l'Air dans la station de Dédougou
(Source : Tecsalt AECOM, 2008)

2.2.4. Caractéristiques hydrauliques

Sur le plan hydrographique, le Sourou est un affluent/défluent du Mouhoun qui prend sa source à 70 km au sud-ouest de Bobo-Dioulasso à l'altitude de 500 m sur le versant nord des falaises de Banfora. Le Mouhoun coule alors vers l'est nord-est, passe à la station hydrométrique de Banzo à partir de laquelle il prend le nom local de Bafing, passe à la station de Samendéni au km 1 752 et poursuit son cours dans la même direction jusqu'à recevoir sur sa gauche le Kou ou Baoulé, premier affluent important en rive droite (AECOM, 2008).

Le cours du Bafing prend alors la direction nord-est, laissant sur sa droite un ancien lit au tracé parallèle au tracé actuel et qui décrit des méandres resserrés dans des zones marécageuses et inondables. La pente moyenne du lit est de 0,175 m/km.

Le Mouhoun passe à la station de Nwokuy au km 1 509. Après Nwokuy, il reçoit le Voun Hou, deuxième affluent important en rive gauche, en provenance de la frontière malienne et du plateau Dogon, mais hydrologiquement peu actif voire absorbant. Puis, il passe à la station de Kouri au km 1 471 et conflue enfin avec le Sourou au km 1 458 km. La pente moyenne en amont de la confluence est de 0,063 m/km (AECOM, 2008).

Le Sourou, affluent de la rive gauche du Mouhoun, draine la Plaine du Gondo, une grande dépression enjambant partiellement le Mali où il prend sa source. Actuellement, la totalité du débit du Mouhoun est détournée vers le Sourou via un canal de dérivation. La pente moyenne du Sourou est de 0,027 m/km entre Baï au Mali et Léry. En aval de la confluence du Sourou, le Mouhoun coule vers le Sud-est.

2.2.5. Cadre socio économique et intérêt du fleuve Sourou

La vallée du Sourou couvre une population estimée environ à 1 500 000 soit 12 % de la population totale du pays (UICN, 2008) qui dépend essentiellement des ressources naturelles (terre, flore et faune).

Sur le plan économique, les différentes activités traditionnellement pratiquées dans la région et qui dépendent de la retenue sont: l'agriculture pluviale et de décrue, l'élevage et la pêche. Elles favorisent

ainsi la concentration d'activités agricoles qui constituent l'activité principale des populations à Di-Sourou (environ 80 % des terres de la vallée). Les rendements peuvent atteindre 5,5 tonnes à l'hectare. Diverses spéculations dont le maïs, le riz, le blé (introduit depuis 2005), la tomate, la banane, l'oignon sont produites sur le site. Par contre, le maraîchage est développé en amont sur les berges de la rivière. En période de décrue, des herbacées comme le Bourgou, servent de pâturages aux nombreux troupeaux de bovins. Cette activité occupe plus de la majorité de la population active avec quelques villages de pêcheurs le long du Sourou.

La pêche dans la rivière du Sourou est aussi très intense. Elle s'est surtout accrue avec le rehaussement des niveaux d'eau dû essentiellement à la construction des différents ouvrages hydrauliques sur le Mouhoun et le Sourou. Les prises sont estimées à 800 tonnes, soit 10% de la production totale nationale de poissons (UICN, 2008). Cela fait du Sourou, la troisième zone de production de poissons du Burkina Faso après les zones de pêche de la Kompienga et de Bagré.

2.3. Caractéristiques de la retenue de Sourou

2.3.1. Historique du système Mouhoun - Sourou

Le barrage-vannes de Léry est situé sur la rivière Sourou à 3,3 km de sa confluence avec la rivière Mouhoun. Le Mouhoun et le Sourou constituent le complexe Mouhoun-Sourou dont le fonctionnement hydraulique a évolué en fonction des aménagements successifs réalisés pour stocker et bénéficier au maximum des eaux de la crue saisonnière du Mouhoun.

Avant la construction du barrage-vannes de Léry, à l'arrivée de la crue saisonnière du Mouhoun, une partie du flot s'engouffrait et remontait la rivière du Sourou. L'autre partie du flot poursuivait sa course vers l'aval. Les eaux stockées dans la plaine inondable du Sourou s'évaporaient ou étaient restituées au Mouhoun à la décrue.

Le barrage-vannes de Léry a été construit en 1977 sur la rivière Sourou pour réguler la restitution des eaux du Sourou au Mouhoun (trop rapide auparavant). Il permet donc de contrôler le débit du Sourou vers le Mouhoun-aval en ne laissant passer que le débit nécessaire, sécurisant par là l'alimentation en eau des périmètres irrigués et protégeant la vallée du Sourou des crues du Mouhoun par simple fermeture des vannes.

En 1984, un barrage en terre a été construit sur le Mouhoun pour détourner, via un canal de dérivation, la totalité de l'écoulement du Mouhoun et pour stocker une réserve d'eau maximum dans le réservoir du Sourou (figure 9). Ces deux barrages permettent le contrôle total de l'écoulement d'eau dans le bassin du système Mouhoun-Sourou dans la perspective d'un développement hydro-agricole maximal : environ 15 000 ha de terres sont potentiellement irrigables dans la vallée du Sourou. Cependant, le barrage et le détournement total des eaux du Mouhoun dans le Sourou ont exacerbé la situation naturelle d'inondation à la suite d'un mauvais calage des ouvrages.

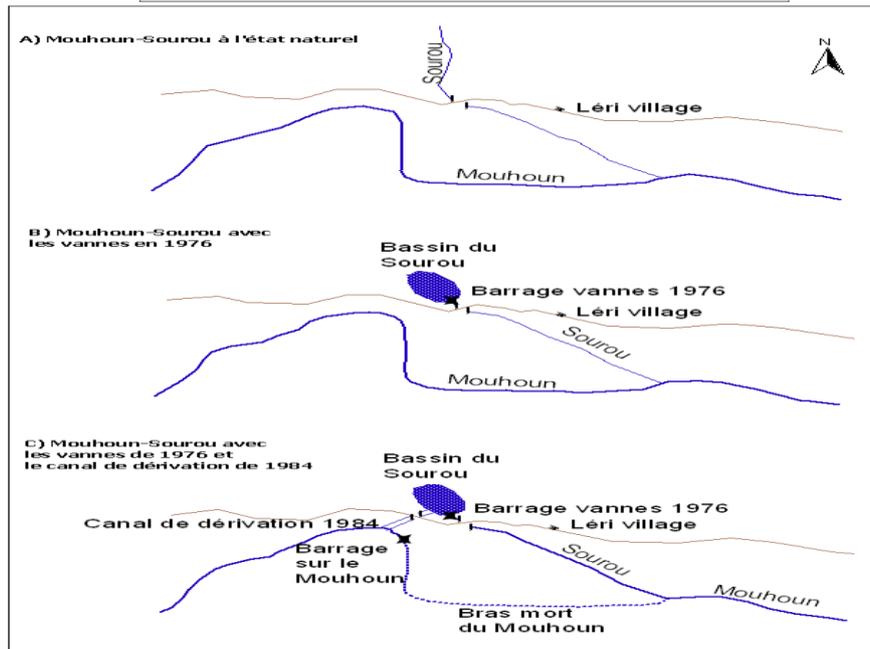


Figure 9: Ouvrage du Mouhoun -Sourou et son évolution
(Source : fiches technique Sourou, Ramsar 2006-2008)

2.3.2. Description du réservoir de Sourou

La retenue du Sourou est le troisième réservoir du Burkina Faso en termes de capacité de stockage après les réservoirs de Bagré et Kompienga. Sa capacité de stockage est significative. Elle est de l'ordre de 580 millions de m³ à la cote maximale de 252,50 m.

Le barrage du Sourou se caractérise par une faible hauteur de stockage (ne dépassant qu'exceptionnellement les 10m) mais sa superficie et sa capacité de stockage sont importantes car situé dans une vallée peu encaissée. Les courbes Hauteur-Volume et Hauteur-Surface (figure 11 et 10) montrent les volumes et les surfaces noyées pour différentes cotes du plan.

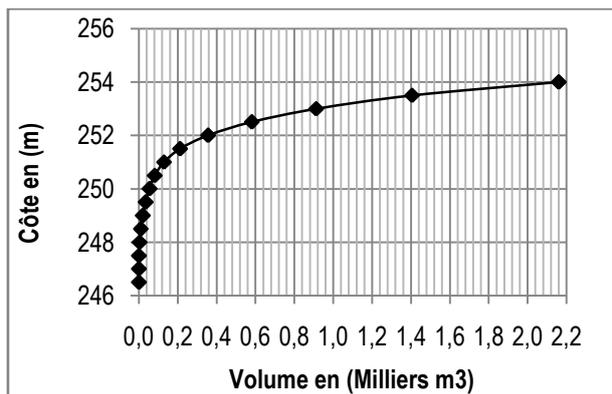


Figure 11: Courbe hauteur - volume stocké du Sourou
(Source : Tecsubt AECOM, 2008)

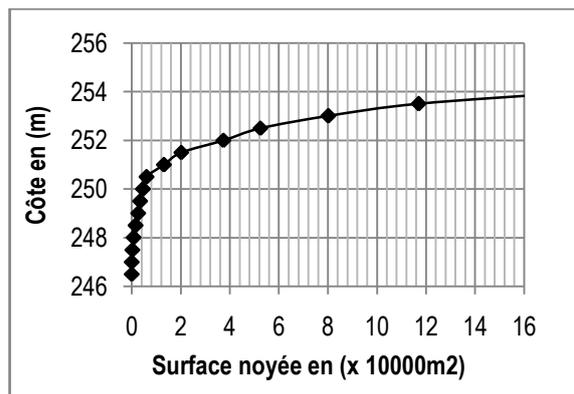


Figure 10: Courbe hauteur - surface noyée du Sourou
(Source : Tecsubt AECOM, 2008)

De plus, on constate que la pointe de crue (figure 12), qui se présente au début de septembre dans le haut bassin de Mouhoun (Nwokuy), arrive au niveau de Sourou fin d'octobre : le délai de propagation de l'onde de crue entre ces deux stations est en moyenne de 1 mois et demi. Cette pointe de crue qui s'est suffisamment écrêtée, est assez rare au niveau de Sourou. Signalons que les effets d'écrêtage de

pointe de crue entre Samendéni et Sourou sont en moyenne de 30 %. On peut aussi noter que la retenue du Sourou qui dispose d'un réservoir de grande surface, a un effet de laminage considérable sur la crue entrante.

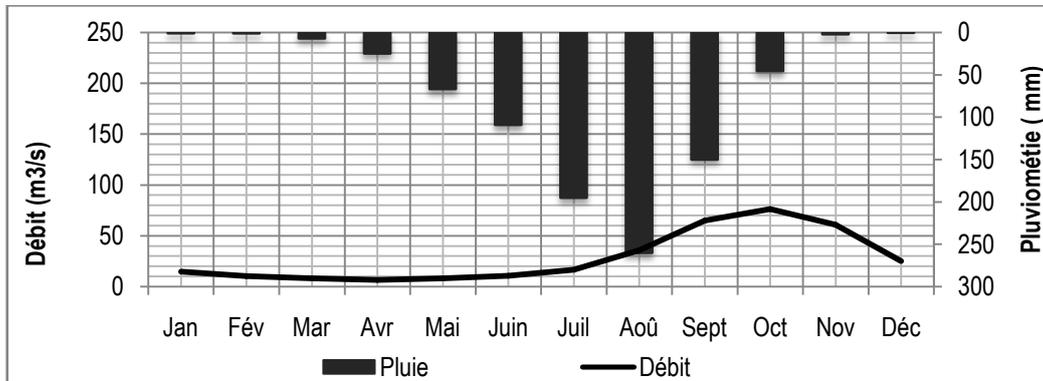


Figure 12: Hydrogramme des crues et hyetogramme 1985-2009
(Réalisée d'après les données brutes de la station de DI et de Nwokuy)

Le Sourou est une rivière saisonnière dont l'écoulement dure de mai, juin à octobre de chaque année, ne laissant que quelques mares permanentes çà et là (figure 12).

Le circuit hydraulique Mouhoun-Sourou comprend les ouvrages suivants :

- le barrage-vannes de Léry comportant : quatre pertuis vannés, une digue de raccordement en rive gauche, une fosse de dissipation en aval des vannes, le pont de Léry ;
- la digue du Mouhoun et un évacuateur de crue;
- le canal de dérivation du Sourou comportant un canal d'une longueur de 700 m et un pont sur le canal d'une longueur de 52 m ;
- l'ancien pont en aval de vannes de Léry situé à 260 m en aval des vannes de Léry ;
- la confluence du Mouhoun et du Sourou qui génère un effet d'obstruction important dans une courbe en S prononcée, liée à l'inversion de la direction de l'écoulement entre le Mouhoun et le Sourou ;
- l'échelle de crue de Manimenso située à 1,4 km en aval de la confluence du Mouhoun et du Sourou.

En somme, la vallée du Sourou constitue une zone humide très importante pour l'économie burkinabè. Les aménagements hydrauliques décrits dans ce chapitre ont permis l'augmentation des possibilités d'irrigation et l'accroissement de la production agricole de la région. Cependant, les changements climatiques selon de nombreuses études réalisées sur le Burkina Faso sont susceptibles d'aggraver les défis en termes d'aménagements des ressources en eau et l'amélioration des moyens d'existence surtout que ce pays dispose d'un faible niveau de résilience face à ce problème.

Chapitre 3

DONNEES, OUTILS ET APPROCHE METHODOLOGIQUE ADOPTEE

- 3.1. *Données utilisées dans la modélisation*
- 3.2. *Outils et Cadre méthodologique*

Chapitre 3 : DONNEES, OUTILS ET APPROCHE METHODOLOGIQUE

Ce chapitre a pour objectif de présenter les données météorologiques et hydrologiques utilisées pour l'étude de la variabilité pluviométrique et hydrologique mais aussi, pour la modélisation pluie-débit et pour l'impact potentiel du changement climatique sur la disponibilité de la ressource en eau du Sourou. Il définit également leur source et leur qualité en distinguant les données observées sur le terrain (données secondaires) et les données projetées avec les modèles climatiques.

La station pluviométrique de Dédougou et la station hydrométrique de Nwokuy sont retenues comme stations de référence pour cette étude. Ce choix s'est fait en fonction de la position géographique des stations par rapport au bassin, de la disponibilité des données sur la zone d'étude et de la qualité des données (faiblesse des lacunes dans les séries observées). Les deux stations se trouvent dans la confluence Mouhoun-Sourou en amont de la retenue. La répartition spatiale de ces stations est donnée dans la figure 13. Par ailleurs, ce chapitre expose les méthodes et outils retenus pour évaluer l'évolution future de la retenue du Sourou dans un contexte de changements climatiques.

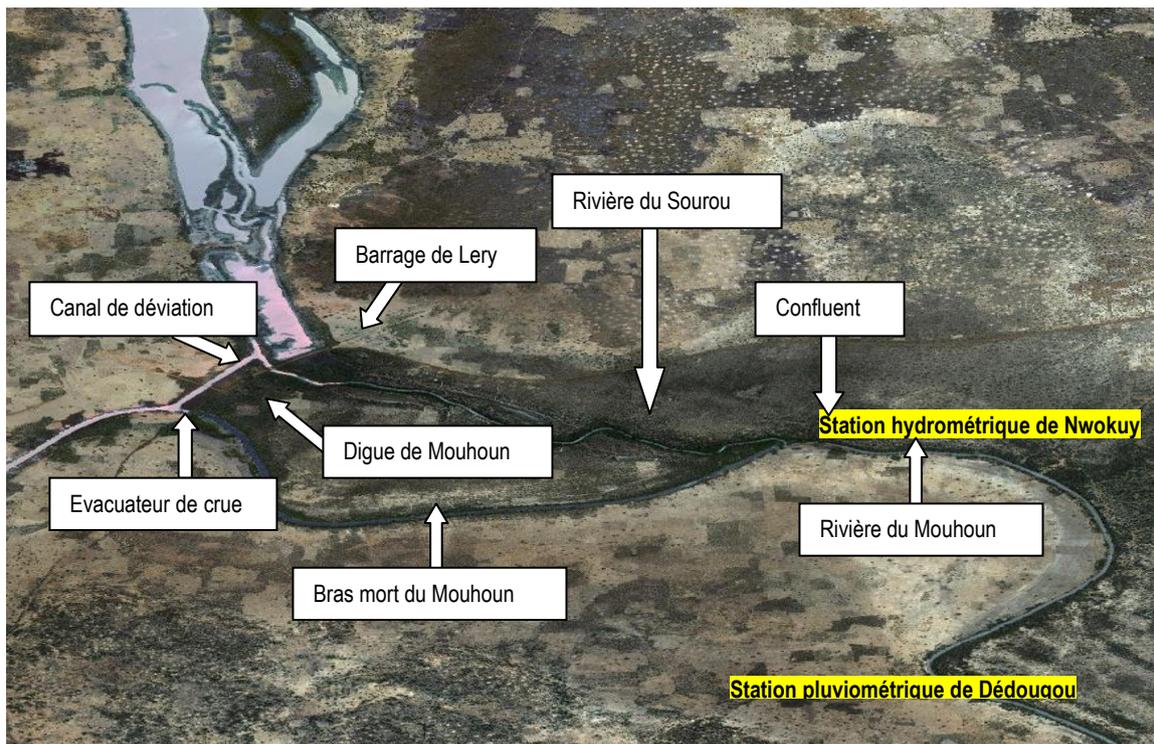


Figure 13: Ouvrages et position des stations pluviométriques et hydrométrique dans le sous bassin du Sourou
(Source : AECOM, 2008)

3.1. Données disponibles pour cette étude

3.1.1. Données observées sur le terrain

Les données disponibles pour cette étude sont résumées dans le tableau 10. Elles sont de qualité variable. Elles ont été recueillies sur place à AECOM et sont complétées par des interviews directes par Internet ou par téléphone auprès de personnes ressources du Centre National de Recherche Scientifique et Technologique (INERA), de la Direction de Gestion des Ressource en Eau (DGRE) et de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) du Burkina Faso.

Ces données sont surtout d'ordre climatique (température, pluviométrie, Évapotranspiration Potentielle (ETP Penman), insolation...) de la station pluviométrique de Dédougou. Elles couvrent, à l'exception de la température, toute la période d'étude 1961 à 2009. Les lacunes sur la période 1982 à 1984 de la chronique des ETP Penman ont été complétées par la moyenne mensuelle sur la période sans lacunes.

Tableau 10: Données observées dans la station pluviométrique de Dédougou

Données	Station	Année	Source
Evapotranspiration			
Evaporation moyenne mensuelle bac A (mm)	DEDOUGOU	1994 – 2009	APD Samendéni
ETP Penman (mm)	DEDOUGOU	1961 – 1993	DMN, INERA
Précipitations (mm)			
Précipitations moyennes mensuelles	DEDOUGOU	1998 – 2009	DMN
Précipitations moyennes mensuelles	DEDOUGOU	1934 – 2005	APD Samendéni
Températures			
Température moyenne (°c)	DEDOUGOU	1994 – 2009	DMN

En plus de ces données climatiques, les fiches techniques des stations hydrométriques de Mouhoun à Nwokuy (avec quelques lacunes) et de Mouhoun à Samendéni ont été exploitées. Le tableau 11 récapitule ces données.

Tableau 11: Données hydrométriques des stations de Nwokuy et de Samendéni

Données	Station	Année	Sources
Débit (Q) en m ³ /s	Nwokuy	1956 – 2009	APD Samendéni
Débit (Q) en m ³ /s	Samendéni	1956 – 2009	DGRE
Données limnigraphes des crues	Nwokuy et Manimenso	1985– 2008	DGRE

Les caractéristiques, situation et équipements de la station hydrométrique de Nwokuy sont donnés dans le tableau 12 suivant :

Tableau 12: Caractéristiques de la station de Nwokuy

Station de Nwokuy	Caractéristiques	
Code	20. 27. 02. 29	
Coordonnées	Latitude 12°31' N	Longitude 03° 33' W
Superficie du bassin versant	14800Km ²	
Repère	Station amont : IGN sur le pont ; altitude 259, 656 m	
	Station aval : Borne SH	

(Source DMN Burkina Faso)

3.1.2. Scénarii climatiques (2010 à 2050)

Les scénarii climatiques (www.climatexplorer.com) de température, d'évapotranspiration et de pluviométrie sur notre zone d'étude sont déterminés à l'aide des projections effectuées dans le cadre du projet CMIP5 (Projet d'Inter-comparaison de Modèles Couplés ; phase 5) avec les Modèles de Circulation Générale Couplés Océan-Atmosphère du CNRM (du Centre National de la Recherche Météorologique, France) et du modèle CM5 (de l'Institut Pierre Simon Laplace, Paris, France). Ces deux modèles sont assortis des scénarii d'évolution RCP⁸ 2.6 (avec une politique d'atténuation des émissions des gaz à effet de serre intégrant le concept du développement durable) et RCP 8.5 (sans politique de réduction des GES).

En effet, les RCP sont des scénarii d'évolution du forçage radiatif sur la période 2006-2300 associés à des trajectoires d'évolution des concentrations des gaz à effet de serre mais également d'information sur les options d'évolution de paramètres socioéconomiques (population, croissance, etc.) ou sur la vulnérabilité des systèmes naturels. Project (CMIP) quant à lui permet de procéder à une évaluation et à une comparaison plus complètes et systématiques des modèles couplés utilisés dans une configuration normalisée et réagissant à des forçages normalisés (BAGAYOKO. 2008)

Le choix des modèles du CMIP5 se justifie par le fait que ces outils présentent beaucoup d'avantages, entre autres,

- ☞ la complexification avec prise en compte de composantes supplémentaires pour certains modèles (carbone couplé au climat, aérosols interactifs...);
- ☞ la résolution augmentée parfois avec un accroissement du nombre de niveaux verticaux mais le plus souvent le nombre de points de maillage sur l'horizontale⁹.

Cependant, ces outils présentent des faiblesses dans la mesure où (i) ils « combinent une base physique très forte avec des éléments d'empirisme inévitables qui reflètent la complexité des milieux naturels et génèrent une incertitude sur les résultats ; (ii) ils surestiment surtout la pluie du sahel. Malgré tout, les modèles laissent très peu de doutes sur la réalité du risque climatique. »¹⁰. Il sera retenu, par la suite, le modèle qui reflète le plus la réalité sur le terrain et les projections comme données entrées du Modèle du Génie Rural à 2 paramètres Mensuel (GR2M).

Dans cette étude, les anomalies issues des modèles climatiques ou les variations par rapport à la normale ont été considérées. Ainsi, les transformations suivantes proposées par BAGAYOKO, a été effectuée pour obtenir les températures, les pluviométries et ETP de chaque année par rapport aux moyennes mensuelles de 1961 à 2009.

$$\Delta P = \frac{Px - P_{moy(1961-2009)}}{P_{moy(1961-2009)}} \times 100 \Rightarrow Px = P_{moy(1961-2009)} \times \left(1 + \frac{\Delta P}{100}\right)$$

⁸ Representative Concentration Parthway

⁹ http://www.gipecofor.org/doc/drupal/gicc/liens_article_gicc/evenement/Seminaire_23_novembre_v4.1.pdf

¹⁰ <http://www.cnrs.fr/publications/imagesdelaphysique/couv-PDF/IdP2005/05Letreut.pdf>

$$\Delta T = \frac{T_x - T_{moy(1994-2009)}}{T_{moy(1994-2009)}} \times 100 \Rightarrow T_x = T_{moy(1994-2009)} \times \left(1 + \frac{\Delta T}{100}\right)$$

$$\Delta ETP = \frac{ETP_x - ETP_{moy(1961-2009)}}{ETP_{moy(1961-2009)}} \times 100 \Rightarrow ETP_x = ETP_{moy(1961-2009)} \times \left(1 + \frac{\Delta ETP}{100}\right)$$

P_x : Pluviométrie du mois considéré de l'année considérée ;
 T_x : Température du mois considéré de l'année considérée ;
 ETP_x : Evapotranspiration du mois considéré de l'année considérée ;
 Δ : les anomalies projetées sur les modèles climatiques (mm/mois pour P et ETP).

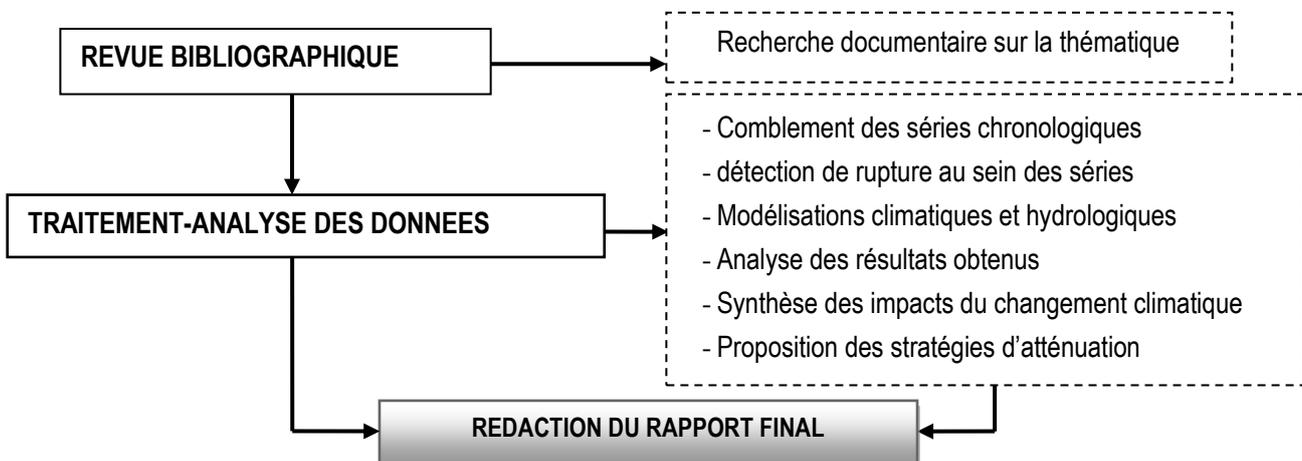
3.2. Outils utilisés dans cette étude

Un certain nombre d'outils ont été utilisés pour évaluer les impacts des changements climatiques sur les ressources en eau à l'horizon 2050 :

- Khronostat (IRD, 1998) pour la détection de ruptures dans la série chronologique,
- les modèles climatiques globaux du GIEC ;
- le modèle hydrologique du Génie Rural à 2 paramètres Mensuel (GR2M) ;
- le tableur Excel pour le traitement des données.

3.3. Approche méthodologique adoptée

La démarche adoptée pour répondre à nos objectifs de recherche peut se résumer suivant les points essentiels suivants :



3.3.1. Méthode de comblement des lacunes

Les lacunes de la série chronologique des débits de Nwokuy sont reconstituées par la méthode de régression linéaire entre cette station et la station de Samendéni. Cette corrélation doit se faire entre 2 stations proches et des stations situées sur le même bief donc de même zone climatique pour voir ce qui est plus probant (Roudier et al, 2011). Il s'agit de faire alors une multi-corrélation mois par mois entre les 2 stations.

Le tableau 13 suivant récapitule les années et mois à combler, la période d'étude choisie et la méthode de comblement.

Tableau 13: Période choisie et lacunes à combler au niveau de la série chronologique des débits

Station à combler	Période choisie	lacunes à combler	
		Année	Mois à combler
Nwokuy	1961-2009	1989	Janvier à décembre
		1993	Avril à décembre
		1994	Mai et Août à décembre
		1995	Janvier à décembre
		1996	Mars à décembre
		1999	Janvier à décembre
Station utilisée pour le comblement		Période choisie	Type de régression
Samendéni		1961-2009	Régression linéaire

3.3.2. Détection des ruptures de stationnarité

La détection de cette rupture est réalisée avec le logiciel d'analyse statistique de série chronologique dénommé Khronostat 1.01 (IRD, 2002). Elle a été appliquée sur la période 1961 à 2009 sur la série pluviométrique. Ces ruptures sont essentiellement liées à une non stationnarité. Ainsi, les tests suivants ont été appliqués :

- ☞ test de PETTITT (1979), ellipse de contrôle de PETTITT. BOIS (1971, 1986) qui donne un signal de changement de régime pluviométrique ;
- ☞ procédure de LEE et S.A. HEGHINIAN (1977) qui donne la date exacte de rupture ;
- ☞ Segmentation d'Hubert (1989) pour permettre d'extraire les éléments les plus représentatifs de ce changement de régime pluviométrique.

Ces tests consistent à définir une règle de décision concernant la validité d'une hypothèse sur un échantillon de données (Bodian, 2011). L'hypothèse nulle H_0 correspond à l'absence de rupture. Le principe de fonctionnement d'une manière générale repose sur leur sensibilité à d'éventuels changements de moyenne. Si l'hypothèse nulle H_0 d'homogénéité de la série est rejetée, ils proposent une estimation de la date de rupture.

3.3.3. Modélisation GR2M

Cette étude a été réalisée avec les données de la station de Dédougou. Pour ce faire, les sorties des modèles climatiques CNRM, CM5 et CMIP5 mean (moyenne d'un ensemble de 12 modèles impliqués dans CMIP5) qui s'approchent plus de la réalité (études antérieures, PANA) et des prévisions des Modèles de Circulation Régionaux (RCM) visualisés avec le logiciel OpenGrADS¹¹ version 2.0.1 (voir Annexe 2) sont utilisées en entrée du modèle hydrologique GR2M afin de simuler les écoulements en 2050.

¹¹ **Grid Analysis and Display System**: « est un outil d'analyse et de visualisation interactif de données en sciences de la Terre. Les données sont généralement 4D (latitude, longitude, niveau et temps) ». Source : <http://www.idris.fr/su/Frontale/ulam/grads.html>

3.3.3.1. Présentation et justification du choix du modèle hydrologique GR2M

Le GR2M est un modèle conceptuel et empirique à réservoirs simples développé au CEMAGREF-UR Hydro-systèmes et Bioprocédés, Antony. La version utilisée dans cette étude est celle présentée par Mouelhi (2003) et Moulehi et al. (2005). Le modèle permet de reproduire le fonctionnement hydrologique d'un système de bassin versant par une simulation du débit à l'exutoire. Il renseigne aussi sur l'évolution du taux de remplissage du réservoir de production et de routage du bassin-versant afin d'en déduire l'influence de la dynamique des états de surface (Amoussou, 2010). Il permet aussi de simuler les écoulements en fonction de différentes hypothèses climatiques (simulation de l'écoulement observé au pas de temps mensuel et des écoulements futurs).

Notre choix pour le modèle conceptuel GR2M réside d'une part dans sa simplicité d'utilisation avec seulement deux paramètres à caler (X_1 et X_2), d'autre part dans sa robustesse sur plusieurs bassins versants de l'Afrique centrale et de l'ouest, en particulier en zone sahélienne (Servat et al. 1998 ; Ouedraoga. 2001 ; Lelay 2002 ; Ardoïn-Bardin. 2004 et Vissin. 2007, Amoussou, 2010). Il fonctionne à pas de temps mensuel et exige deux paramètres d'entrée à savoir la pluie (P) et l'évapotranspiration potentielle (ETP). La sortie correspond aux débits moyens.

Le schéma conceptuel de la dernière version mise au point par Mouelhi en 2003 du modèle hydrologique est présenté dans la figure 14.

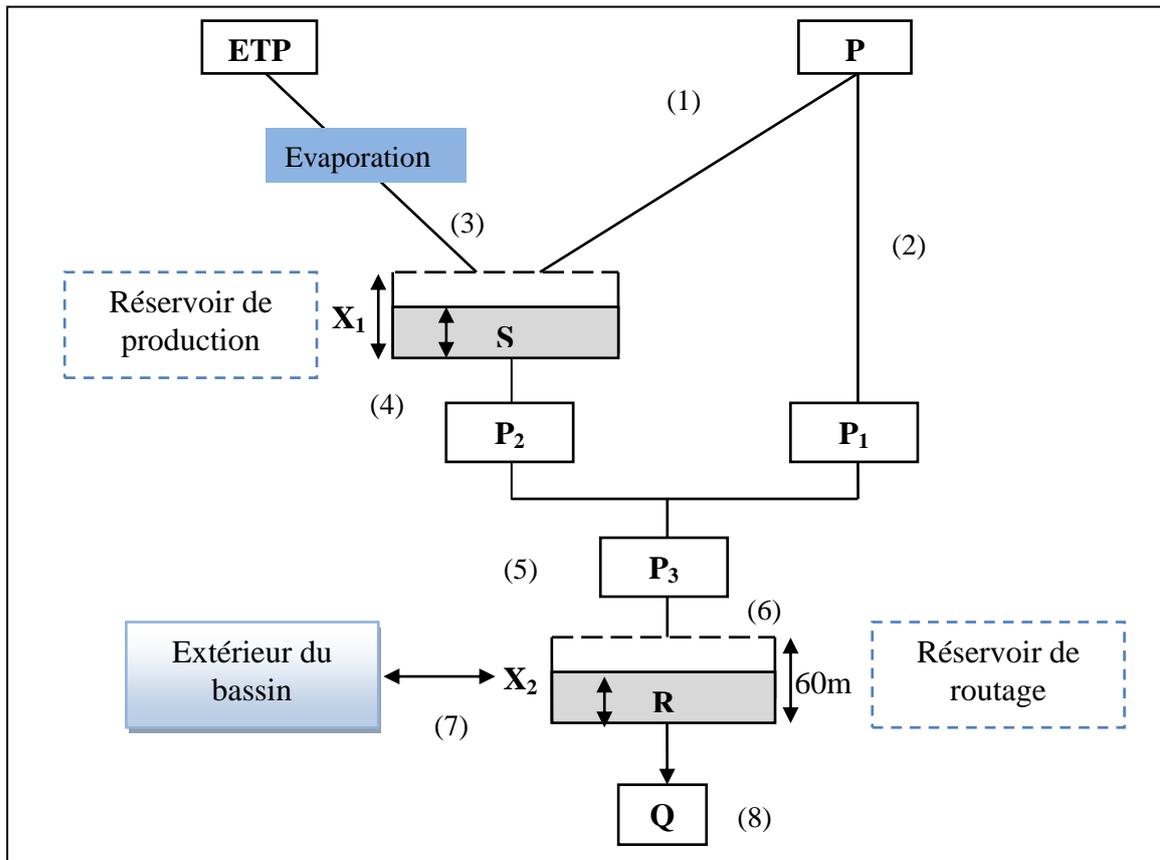


Figure 14: Schéma conceptuel du modèle GR2M
(Source : Mouelhi, 2003)

3.3.3.2. Principe de fonctionnement du modèle pluie-débit GR2M

3.3.3.2.1. Composition du modèle

Le modèle conceptuel global GR2M est constitué de trois fonctions : i) un réservoir de production (S) ; ii) un réservoir de routage (R) et iii) une ouverture sur l'extérieur. Ces trois fonctions permettent de simuler le comportement hydrologique d'un bassin versant (Perrin. 2001)

Le réservoir de production (S) ou réservoir « sol » qui régit la fonction de production et qui est caractérisé par sa capacité maximale X_1 , correspondant à la capacité de rétention en eau du sol. Il gère le bilan du bassin-versant par un facteur multiplicatif des débits de chaque mois (Lavabre *et al.* 1999).

Le réservoir « eau » gravitaire qui régit la fonction de transfert (ou routage) caractérisée par un coefficient d'échange souterrain X_2 . Il rend compte du décalage dans le temps entre la pluie et les écoulements (Cemagref et Diren. 1996 ; Lavabre *et al.* 1999, Kodja. 2011). Il permet aussi d'estimer le temps moyen nécessaire à une quantité de pluie tombée sur un bassin pour atteindre l'exutoire.

3.3.3.2.2. Données nécessaires pour GR2M

Pour une utilisation dans un bassin, le modèle nécessite hormis la superficie de celui-ci en km², la chronique des pluies mensuelles (P) en mm, la chronique des évapotranspirations potentielles mensuelles (ETP) en mm et la chronique des débits mensuels en (mm) correspondant aux écoulements. La pluie et l'ETP sont utilisées comme entrées du modèle et le débit est utilisé pour le calage des paramètres et l'évaluation des performances (le Critère de Nash). En plus de ces données, le modèle nécessite aussi les valeurs initiales des taux de remplissage du réservoir production (X_1).

3.3.3.2.3. Effet du réservoir sol

Soit S le niveau du réservoir sol au début du mois, la valeur du stock d'humidité du réservoir sol avec ce niveau initial prend successivement différentes valeurs. Il reçoit une partie de la pluie nette P et le niveau S du réservoir devient S_1 :

$$(1) \quad S_1 = \frac{S + X_1 \times \varphi}{1 + \varphi \frac{S}{A}} \quad \text{Avec} \quad \varphi = \tanh\left(\frac{P}{X_1}\right)$$

Le paramètre X_1 correspondant à la capacité maximale du réservoir, est positif et exprimé en millimètres. La pluie P_1 en excès est donnée par :

$$(2) \quad P_1 = P + S - S_1$$

En raison de l'évapotranspiration nette E , S_1 devient S_2 :

$$S_2 = \frac{S_1 \times (1 - \phi)}{1 + \phi \times \left(1 - \frac{S_1}{X_1}\right)} \quad \text{Avec} \quad \phi = \tanh\left(\frac{E}{A_1}\right) \quad (3)$$

E étant l'évapotranspiration potentielle, le réservoir sol se vidange.

Ensuite en une percolation P_2 . P_2 et son niveau S , prêt pour les calculs du mois suivant, est alors donné par les formules :

$$(4) \quad S = \frac{S_2}{\left[1 + \left(\frac{S_2}{X_1}\right)^{2.5}\right]^{0.4}} \quad \text{Et } P_2 = S_2 - S$$

La pluie totale P_3 qui atteint le réservoir de routage est donnée par $P_3 = P_1 + P_2$ (5)

Le niveau R dans le réservoir de routage devient alors $P_2 = P_1 + R$ (6)

Un terme d'échange en eau est alors calculé par $F = (X_2 - 1) \times R_1$

3.3.3.2.4. Effet du réservoir gravitaire

Le paramètre X_2 est positif et adimensionnel. Le niveau dans le réservoir devient:

$$R_2 = X_2 + R_1 \quad (7)$$

Le réservoir, de capacité fixe égale à 60 mm, se vidange suivant une fonction quadratique. Le débit est donné par :

$$Q = \frac{R^2}{R_2 + 60} \quad \text{et le niveau du réservoir est enfin mis à jour par : } R = R_2 - Q \quad (8)$$

3.3.3.3. Mise en œuvre du modèle

Elle se fait en deux phases :

- La phase de calage qui consiste à déterminer les paramètres du modèle qui restituent le mieux la réponse du bassin aux sollicitations (DEZETTER. 2011). Ce calage passe par une optimisation des paramètres afin d'obtenir le meilleur critère de Nash c'est-à-dire sensiblement égale à 100. Comme le préconise Mouelhi en début d'optimisation, on choisit les valeurs initiales suivantes pour les paramètres transformés: $X_1=6$, $X_2=1$;
- La phase de validation qui permet d'évaluer la performance du modèle (muni des paramètres déterminés en calibration) à décrire fidèlement le processus hydrologique au sein du bassin versant (DEZETTER. 2011). Pour ce faire, on fait tourner le modèle pendant la période retenue qui est autre que la période ayant servi à la calibration.

Les paramètres doivent être par la suite optimisés. La méthode utilisée est le plus souvent la méthode d'optimisation avec la fonction "solveur" de Microsoft Excel. Cette fonction permet une rapide recherche de la valeur optimale de la fonction de critère de Nash localisée dans une cellule appelée cellule cible.

3.3.3.3.1. **Choix des périodes de calage et de validation**

La disponibilité des données de l'ETP nous oblige à travailler sur la période de 1961-2009 pour la modélisation hydrologique. Connaissant cette période, notre premier critère de choix pour la période de calage est de nous placer au-delà de la rupture climatique qui sera déterminée à l'aide de Khronostat. Ensuite, le modèle est tourné sur toute la période d'observation et sur les périodes avant et après rupture. La première année de la série chronologique est prise comme année de mise en route.

3.3.3.3.2. **Critère d'optimisation et de qualité de l'ajustement de modèle**

Pour apprécier la qualité du calage ou de la validation des paramètres X_1 et X_2 , nous avons retenu les fonctions de critères numériques de calage qui permettent d'estimer l'écart entre les débits calculés et les débits observés. La fonction de critère numérique utilisée ici est celle de Nash et Sutcliffe (1970) appelée «Critère de Nash ». Il est égal à sa valeur maximale quand les valeurs calculées tendent vers les valeurs observées (Ardoin-Bardin, 2004) et est donnée par l'expression suivante :

$$Critère.de.Nash = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q^i_{Cal} - Q^i_{Obs})^2}{\sum_{i=1}^N (Q^i_{Cal} - Q_{Obs-moy})^2} \right] \text{ (en \%) ; avec}$$

Qcal : Débit calculé ;
 Qobs : Débit observé ;
 Qobs-moy : Débit observé moyen.

Le modèle est dit performant pour le critère de Nash $\approx 100\%$

3.3.4. **Analyse des résultats et synthèse sur les Changements Climatiques**

Cette étape consistera d'abord à analyser les résultats des projections climatiques avec les 2 variantes retenues à savoir avec et sans politiques d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre. Il s'agira ensuite d'analyser les résultats du modèle hydrologique alimenté avec les sorties du modèle climatique le plus adapté à la zone d'étude.

A la suite des simulations, les débits des deux variantes (avec et sans réduction de GES) seront comparés pour estimer l'impact des changements climatiques sur la retenue du Sourou.

3.3.5. **Proposition de stratégies d'adaptation**

Cette étape est basée surtout sur les résultats des simulations et sur la bibliographie. Elle s'inscrit également dans la dynamique du Plan d'Action National d'Adaptation au changement climatique (PANA) qui est constitué d'un ensemble d'activités prioritaires définies à l'intérieur des Pays Moins Avancés (PMA) pour faire face aux effets néfastes des changements climatiques.

En somme, dans ce chapitre, les données collectées (observations et projections climatiques) ont été décrits. Cette description porte sur la source de collecte, la qualité et la quantité des données. Les méthodes d'analyses statistiques, de comblement et de modélisation des séries chronologiques y sont également présentées. Le choix de la période de référence 1961-2009 s'est fait dans le but de capter l'ensemble des processus présents dans le sous bassin du Sourou.

Chapitre 4

RESULTATS ET DISCUSSIONS

- 4.1. Détection des ruptures des séries chronologiques ;*
- 4.2. Indicateurs des changements climatiques et leurs projections climatiques ;*
- 4.3. Modélisation : Evolution de la ressource en eau à l'horizon 2050 selon les scénarii climatiques ;*
- 4.4. Propositions de stratégies d'adaptation.*

Chapitre 4 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Dans ce chapitre, il est question de décliner les résultats (suivis de discussions) des tests de rupture de Khronostat des séries chronologiques des pluies, des projections climatiques (horizon 2050) et du modèle GR2M calé et validé. Les indicateurs choisis sont ceux qui sont importants pour la quantification des ressources en eau. Leurs impacts climatiques sur les ressources en eau et sur les principaux secteurs d'activités sont importants. Les séries observées couvrent une période suffisamment longue de 1961 à 2009. Ce chapitre présente également les stratégies d'adaptation aux changements climatiques identifiées pour la zone.

4.1. Analyse des résultats des tests de rupture avec Khronostat

4.1.1. Evolution de la variable U du test de PETTITT et ellipse de bois

Ce test a été proposé dans un premier temps par MANN WHITNEY (1947) et modifié par la suite par A.N. PETTITT (1979). Il se caractérise par sa robustesse et son adaptabilité à l'étude de stationnarité (Lemaitre. 2002). Selon toujours Lemaitre, il est basé sur les écarts cumulés et sur les signes des différences entre valeurs qui forment l'échantillon. Le maximum observé sur la série des précipitations, correspond vraisemblablement à la date de rupture. L'analyse de la figure 15 montre, qu'avant la rupture, les valeurs de la variable U du test de PETTITT ont tendance à devenir significativement positives. Ainsi, la série des écarts cumulés croît jusqu'à la période de rupture qui se situerait entre 1962 et 1972. On obtient de ce fait une probabilité de dépassement de la valeur critique $1,62E-02$ à partir 1971.

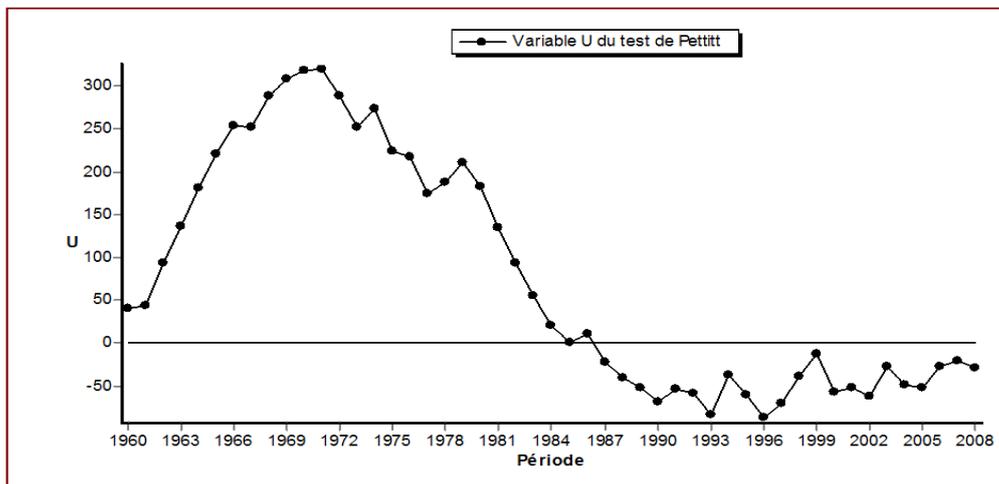


Figure 15: Variable critique U du Test de Pettitt

En intégrant l'ellipse de contrôle de Pettitt BOIS (1971, 1986), on constate un nombre maximal de points admissibles situés en dehors de l'ellipse sur la période 1962 à 1972 (figure 16), confirmant ainsi que la rupture se situerait bien sur cette période.

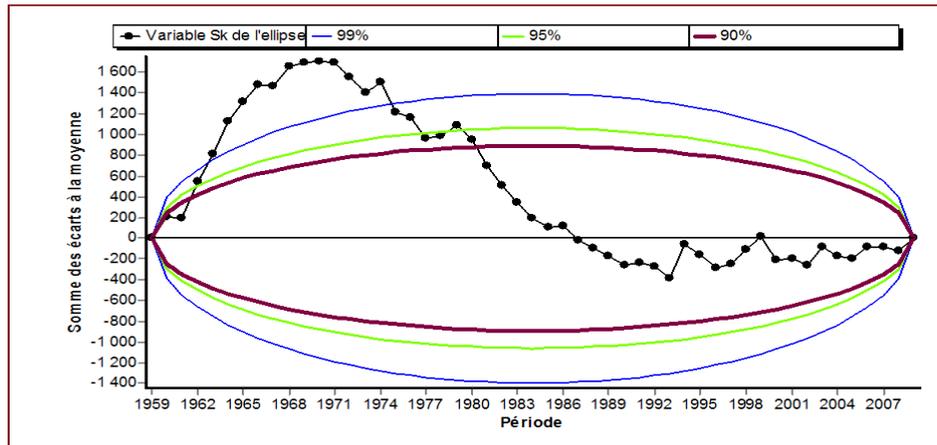


Figure 16: Ellipses de BOIS (1961-2009) : sommes des écarts cumulés et son intervalle de confiance

4.1.2. Procédure de Lee et Heghinian

La procédure de A.F.S. LEE et S.A. HEGHINIAN (1977) permet de faire une estimation ponctuelle de l'année exacte de rupture et son amplitude (Lemaitre. 2002). Les résultats obtenus avec les tests de PETTITT mettaient en évidence la présence d'une rupture qui se situerait sur la période 1962-1972.

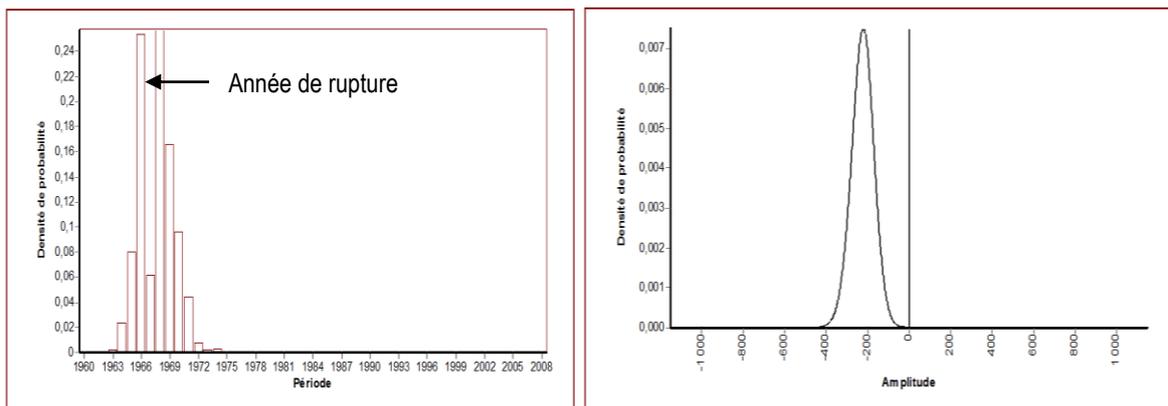


Figure 17: Densité de probabilité à posteriori de l'amplitude et de l'année de la rupture

L'analyse des figures ci-dessus montre que l'année de rupture de notre série chronologique correspond à 1968. Le mode de la fonction densité de probabilité à posteriori de la position du point de rupture est de 0,2574 en 1968.

4.1.3. Segmentation de Hubert

Le test d'Hubert permet de décomposer la série temporelle de la pluviométrie en deux sous périodes. Il utilise la technique des moindres carrés qui « est une des méthodes pour obtenir un ajustement affine d'une série statistique double. C'est celle qui donne le « meilleur » ajustement. Elle consiste à calculer, pour chaque point du nuage, sa « distance » par rapport à une droite donnée puis à rendre minimale la somme de ces distances »¹². Le test de Scheffe intervient dans le but d'assurer que la différence entre les moyennes de deux sous périodes consécutives ne soit pas négligeable. Les résultats de ce test sont représentés dans le tableau ci-dessous avec un niveau de signification du test de Scheffe de 1%.

¹² <http://www.assistancescolaire.com/eleve/TS/maths/lexique/M-moindres-carres-methode-des-mx240>

Tableau 14: Résultats du test de segmentation d'Hubert

Début	Fin	Moyenne	Ecart	Ecart type
1961	1968	980,722	217,751	125,990
1969	2009	762,971		127,655

Ainsi, nous avons 2 sous périodes : (i) 1961 à 1968 et (ii) 1969 à 2009. Pour la quasi-totalité des mois, les précipitations ont diminué entre les deux sous périodes (Tableau 14). La diminution des précipitations est particulièrement nette pour tous les mois à l'exception des mois d'octobre et de décembre comme le montre la figure 18. Les mois les plus secs sont décembre, janvier, février et mars aussi bien sur la période humide que sur la période sèche. La période d'étude se décompose alors en une période humide avec une pluviométrie moyenne de 981 mm et une période moyenne sèche avec une moyenne de 763 mm soit une diminution en moyenne de 22 % des précipitations de 1969 à 2009.

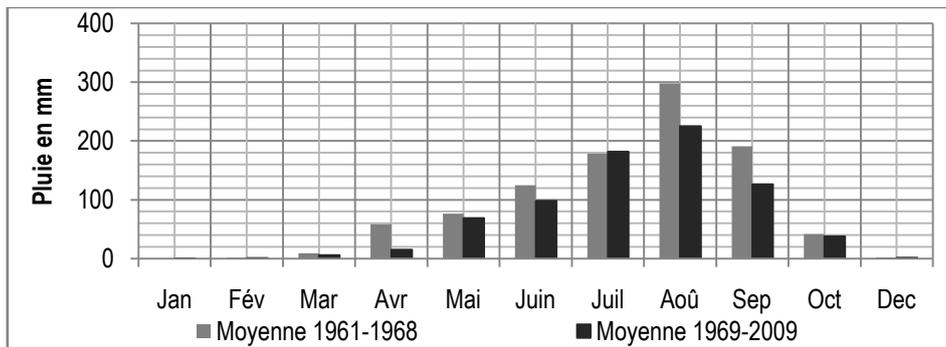


Figure 18: Précipitations mensuelles moyennes avant et après rupture

Cette diminution de la pluviométrie des deux sous périodes a eu de fortes répercussions sur les autres termes du bilan hydrologique dont l'écoulement et sur la disponibilité de la ressource en eau du Sourou.

4.2. Indicateurs globaux des changements climatiques et projections à l'horizon 2050

Un indicateur est une information, associée à un phénomène, permettant d'en indiquer l'évolution dans le temps, de façon objective, et pouvant rendre compte des raisons de cette évolution¹³. Dans cette étude, la pluie, la température donc l'ETP, du fait de leur tendance évolutive et surtout de leur variabilité inter annuelle et intra saisonnière, constituent les trois indicateurs de changement climatique retenus.

4.2.1. Température

4.2.1.1. Tendances historiques de la température

Les variations saisonnières des températures sont décrites dans la figure 19. L'amplitude thermique (écart entre les températures maximales et minimales) est très élevée : Elle est en moyenne de 13°C avec un maximum de 16°C aux mois de janvier et de novembre. On notera le contraste entre la saison des pluies (juin à septembre) où cette amplitude, relativement faible, tourne autour de 10°C et la saison sèche où elle dépasse 15°C. La température moyenne mensuelle minimale varie dans l'année entre 18 et 27,5°C tandis que la température moyenne maximale varie entre 32,1°C et 40,7°C.

¹³ <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Indicateurs-du-changement,29789.html>

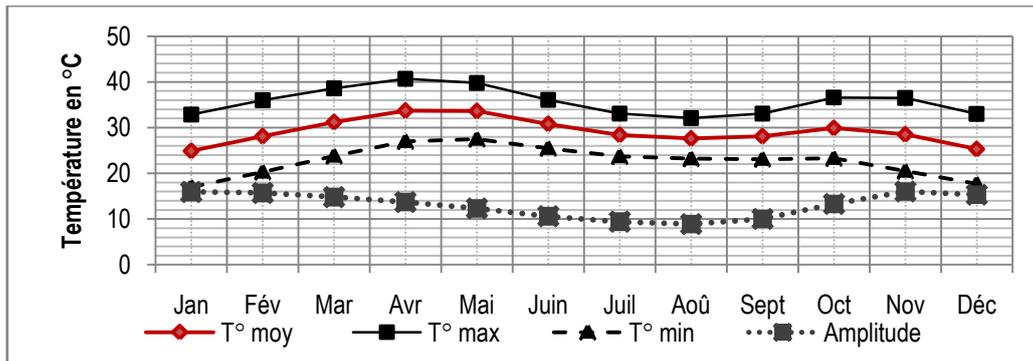


Figure 19: Température moyenne mensuelle de la station de Dédougou

Les températures minimales les plus faibles sont observées de novembre à février tandis que les plus élevées le sont d'avril à juin. Quant aux températures moyennes maximales, elles observent leurs minima de juillet à septembre et leurs maxima de mars à juin.

La variation interannuelle des températures est représentée dans la figure 20. L'analyse de cette figure montre que les températures maximale et minimale dans le Sourou sont restées relativement stables entre 1994 et 2009.

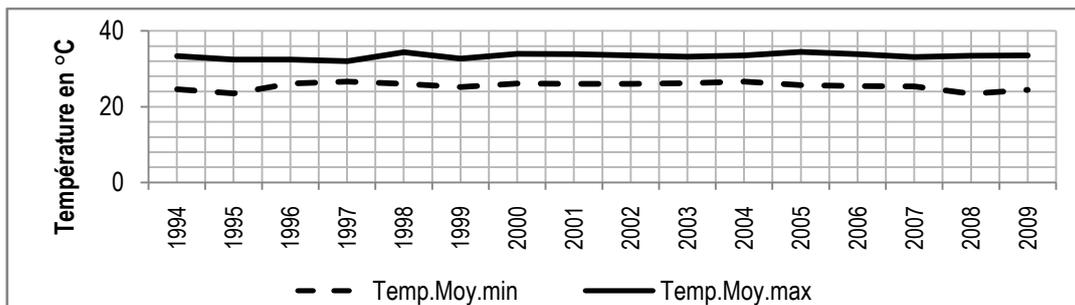


Figure 20: Variation interannuelle des températures dans le Sourou (1994 à 2009)

4.2.1.2. Validation des modèles sur la période 1994-2009 pour la température

Il s'agit ici (tableau 15) de comparer les simulations de la période de référence (1994-2009) effectuées avec les modèles climatiques et les observations sur la même période. Les résultats ainsi obtenus montrent que les modèles donnent pratiquement les mêmes moyennes sur la période de référence. Cependant, ces températures sont légèrement surestimées par rapport aux températures de la moyenne d'ensemble de CMIP5 mean. Ces données montrent qu'il y'a une bonne concordance entre les simulations de la période de référence et l'observation sur le terrain. Ainsi, les modèles climatiques retenus devraient être capables de refléter la température de l'année de projection (2050).

Tableau 15: Températures (°C) observées et celles obtenues avec les modèles climatiques entre 1994-2009

Modèles	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
Observations	24,9	28,1	31,2	33,7	33,6	30,8	28,4	27,6	28,1	29,9	28,5	25,3	29,2
CMIP5 RCP 2.6_61-09	24,6	27,8	30,9	33,4	33,3	30,5	28,1	27,4	27,9	29,6	28,2	25,0	29,1
CMIP5 RCP 8.5_61-09	24,5	27,6	30,7	33,2	33,1	30,3	28,0	27,2	27,6	29,4	28,0	24,8	29,1
CNRM RCP 2.6_61-09	24,9	28,1	31,2	33,8	33,6	30,8	28,4	27,6	28,0	29,9	28,4	25,3	29,2
CNRM RCP 8.5_61-09	24,9	28,1	31,2	33,8	33,6	30,8	28,4	27,6	28,1	29,8	28,4	25,3	29,2

4.2.1.3. Evolution de la température entre 1961-2050 selon les modèles climatiques

Les anomalies de température obtenues avec les modèles climatiques du projet CMIP5, assortis des scénarii d'évolution RCP2.6 et RCP 8.5, sont représentées dans les figures suivantes :

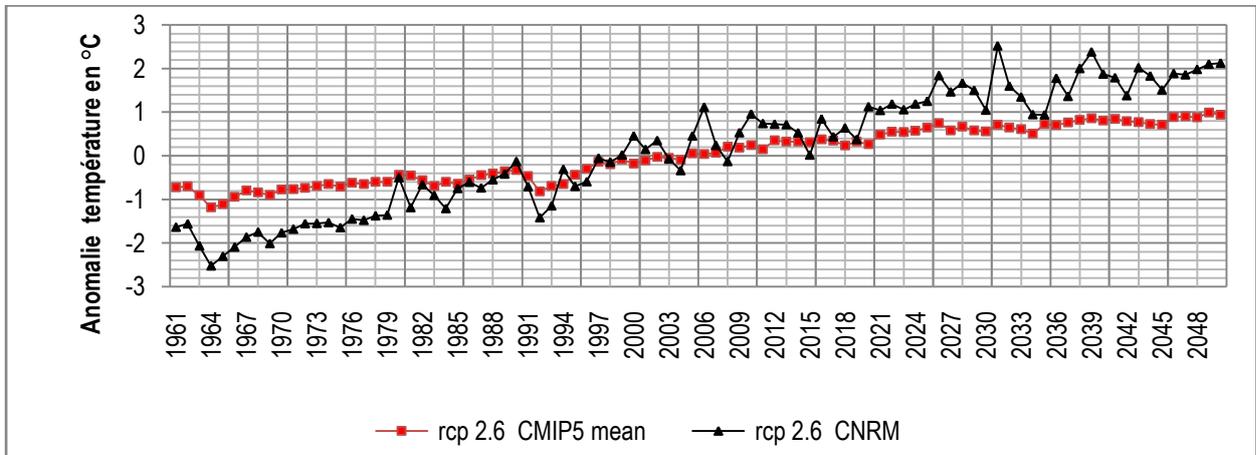


Figure 21: Anomalies des températures moyennes projetées avec les modèles climatiques CNRM et CMIP5 mean assorties du scénario d'évolution RCP 2.6

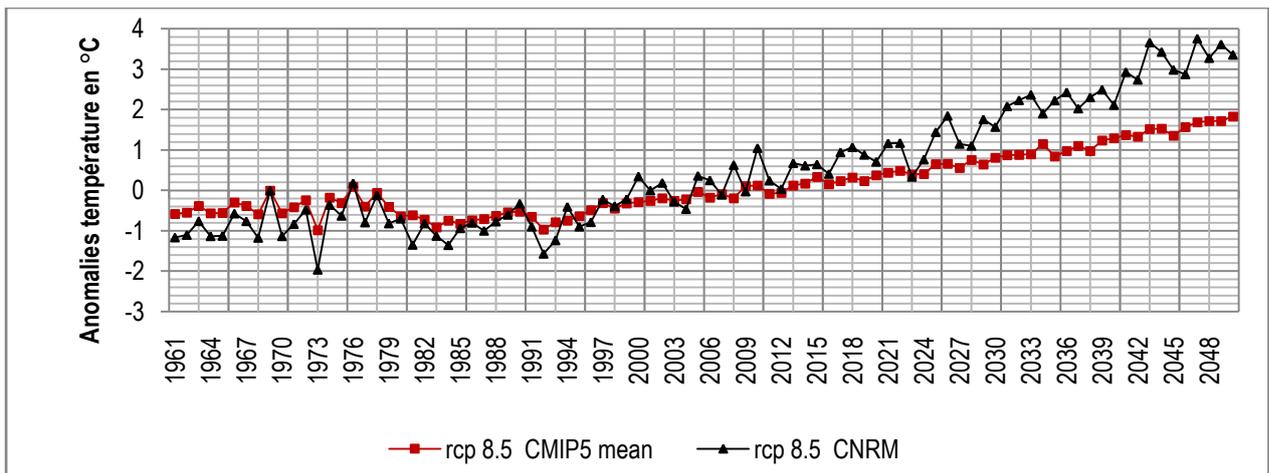


Figure 22: Anomalies des températures moyennes projetées avec les modèles climatiques CNRM et CMIP5 mean assorties du scénario d'évolution RCP 8.5

L'analyse des figures 21 et 22 montre une augmentation nette de la température. En effet, le scénario RCP 2.6 où une politique d'atténuation des émissions des gaz à effet de serre est mise en place, prévoit une augmentation moyenne de 0,939°C de la température pour CMIP5 mean et 1,19°C pour CNRM en 2050 alors que le scénario RCP 8.5 où aucune politique de réduction des GES n'est mise en place, prévoit sur la même période une augmentation de la température de 1,83°C pour CMIP5 mean et 1,52°C pour CNRM. Cependant, le modèle CNRM annonce un pic de 3,66°C au mois de février 2050 (voir annexes).

Les modèles convergent sur le fait que l'augmentation de la température devrait être moindre avec la mise en place d'une politique de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

La reconstitution des températures avec la moyenne sur la période 1994-2009 permet d'obtenir les figures suivantes.

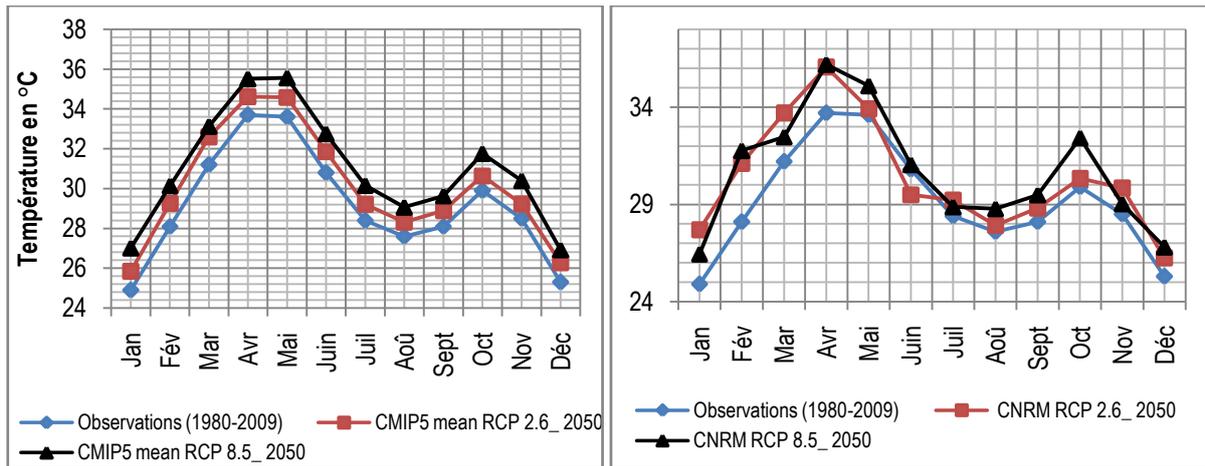


Figure 23: Augmentation de la température selon les modèles climatiques

Les projections donnent sur l'ensemble du territoire, une augmentation des températures moyennes. Les mois de décembre, janvier deviennent nettement plus chauds que d'habitude tandis que les mois de novembre et de mars connaissent de faibles augmentations de la chaleur (Figure 23).

4.2.2. Evaporation

4.2.2.1. Tendances historiques de l'ETP

La figure 24 illustre les variations saisonnières de l'évaporation de la retenue de Sourou¹⁴. Les valeurs maximales (autour de 288mm) sont observées en saison sèche de décembre à mai avec un pic en mars (345mm) ; Les valeurs minimales sont observées en saison des pluies (dus à la couverture nuageuse plus fréquente du ciel et de l'humidité élevée de l'air) de juin à novembre, avec un minimum en août (159mm).

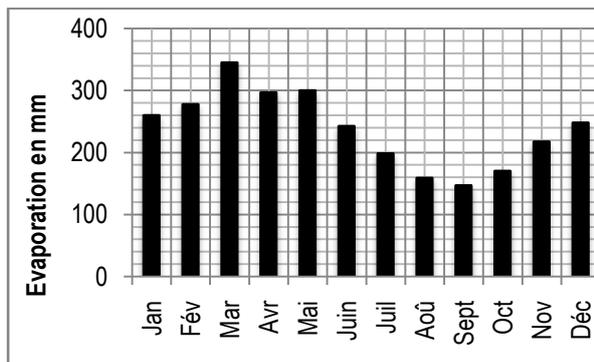


Figure 24: Variation de l'évaporation du Sourou

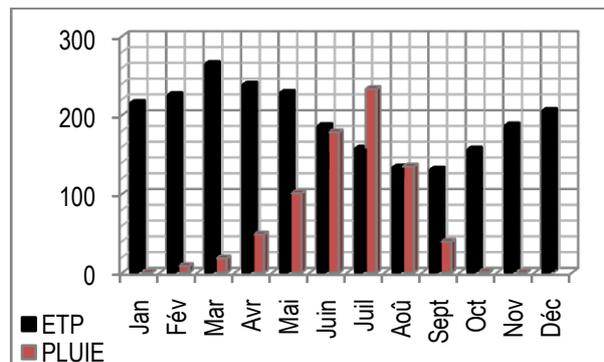


Figure 24': Comparaison Pluie-ETP

Une comparaison de la pluviométrie de la zone avec cette variation saisonnière de l'ETP¹⁵ (figure 24') montre que seuls les mois de juillet et août présentent un bilan positif (pluies supérieures à l'évapotranspiration potentielle).

¹⁴ Évaporation (mm) Lac Sourou est égale à Évaporation Bac A Dédougou (93-07)* 0.9

¹⁵ Evaporation bac, comme la transpiration des plantes, évolue en fonction de l'humidité relative, des pluies, des vents et de la température. Elle traduit partiellement le potentiel d'évaporation. C'est pourquoi, on estime que l'évapotranspiration Potentielle (ETo) à partir de l'évaporation d'un bac $ET_o = K_1 \text{ évabac}$

Les variations interannuelles de l'évapotranspiration (ETP Penman) représentées sur la figure 25 sont par contre moins marquées. Pour notre période d'étude (1961 à 2009), la moyenne se situe à 2169 mm. Cependant, elle est maximale en 1999 avec 2665 mm. Actuellement, elle a tendance à baisser avec un minimum 2169 en 2009.

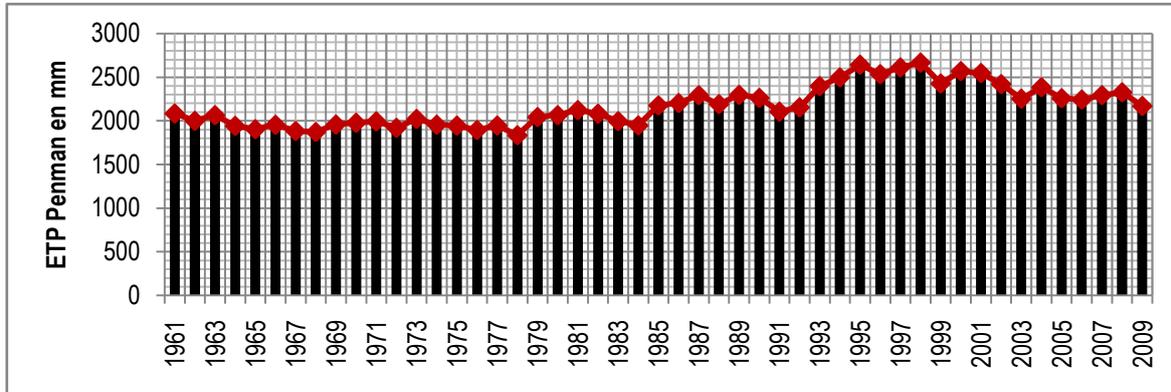


Figure 25: Variation interannuelle de l'ETP

4.2.2.2. Validation des modèles sur la période de référence 1961-2009 pour l'ETP

La comparaison de l'ETP de 1961 à 2009 des simulations des modèles climatiques retenus (tableau 16) et les ETP observées sur le terrain montre que ces modèles reflètent bien la situation de la zone d'étude. En effet, comme pour la température, ils donnent pratiquement les mêmes ETP moyennes sur la période d'observation 1961 à 2009. On a alors une bonne concordance entre les ETP simulées et les ETP observées.

Tableau 16: ETP observées et ETP obtenues avec les modèles climatiques entre 1961-2009 en (mm)

Modèles	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sept	Oct	Nov	Déc	Total
Observations (1961-2009)	207,8	215,2	237,4	215,3	199,6	156,1	132,9	121,3	132,2	168,2	186,5	196,7	2169,3
CMIP5 mean RCP 2.6-1961-2009	206,9	214,5	236,3	214,2	198,1	155,6	131,5	119,0	129,2	164,7	183,6	194,9	2148,4
CMIP5 mean RCP 8.5_61-1961-2009	206,5	214,5	236,7	214,3	198,1	154,9	131,8	119,5	130,2	164,5	183,3	194,1	2148,5
CNRM RCP 2.6 1961-2009	207,2	214,4	236,6	214,9	196,5	156,7	130,8	118,7	129,9	166,7	183,3	193,6	2149,3
CNRM RCP 8.5 1961-2009	206,6	215,3	236,9	217,5	203,4	157,4	128,3	119,7	131,9	167,6	186,5	192,2	2163,3

4.2.2.3. Evolution de l'évapotranspiration entre 1961-2050 selon les modèles climatiques

Les anomalies dans l'évaporation de la retenue de Sourou sont représentées dans les figures ci-dessous.

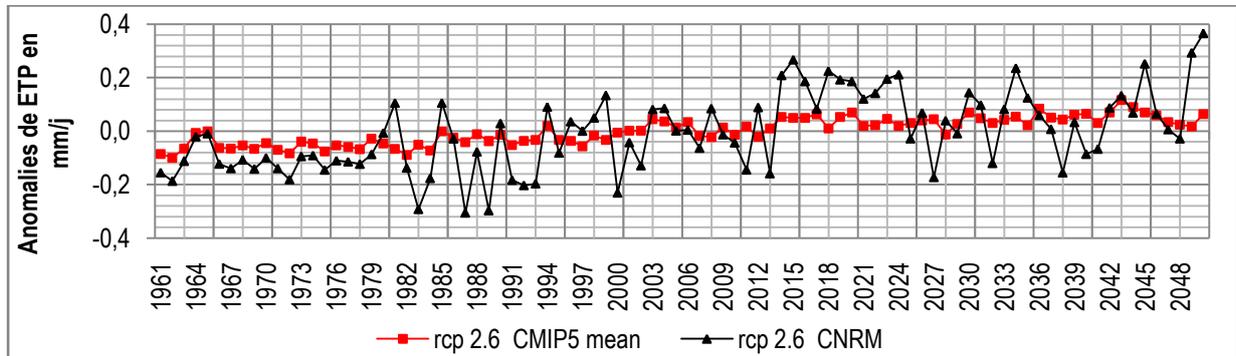


Figure 26: Anomalies de l'ETP moyennes projetées avec les modèles climatiques CNRM et CMIP5 mean suivant le scénario d'évolution RCP 2.6

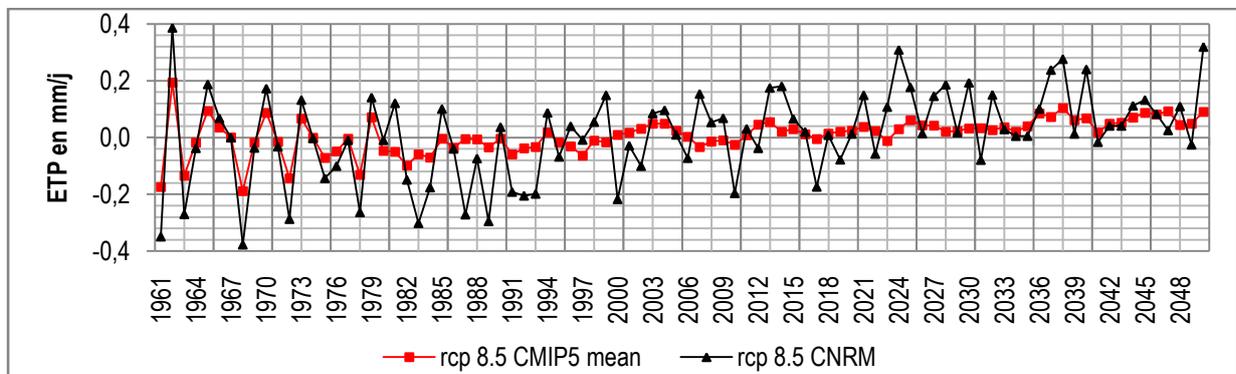


Figure 27: Anomalies de l'ETP moyennes projetées avec les modèles climatiques CNRM et CMIP5 mean suivant le scénario d'évolution RCP 8.5

L'analyse des figures 26 et 27 montre une variation continue de l'évaporation entre les années sèches et les années humides. En 2050, avec le scénario RCP 2.6, la moyenne d'ensemble CMIP5 mean prévoit une augmentation moyenne de 0,064 mm/j de l'évaporation pour 0,302mm/j pour le CNRM alors que pour le scénario RCP 8.6, CMIP5 mean prévoit sur la même période une augmentation de l'évaporation de 0,090 mm/j pour 0,228mm/j pour le CNRM. Ces résultats suggèrent que la mise en place d'une politique de réduction des GES devrait permettre de réduire les effets néfastes du changement climatique, même si le modèle du CNRM donne des valeurs d'ETP beaucoup plus fortes que la moyenne d'ensemble avec un maximum avoisinant +0,3mm/j entre 2025 et 2050.

Une comparaison de l'ETP de la période 2010-2050 et la période 1961-2009 montre d'une manière générale une augmentation de l'ETP. On note aussi, quelque soit le scénario considéré, une légère augmentation de la température moyenne mensuelle qui se traduit par une hausse de l'ETP (figures 28 et 29).

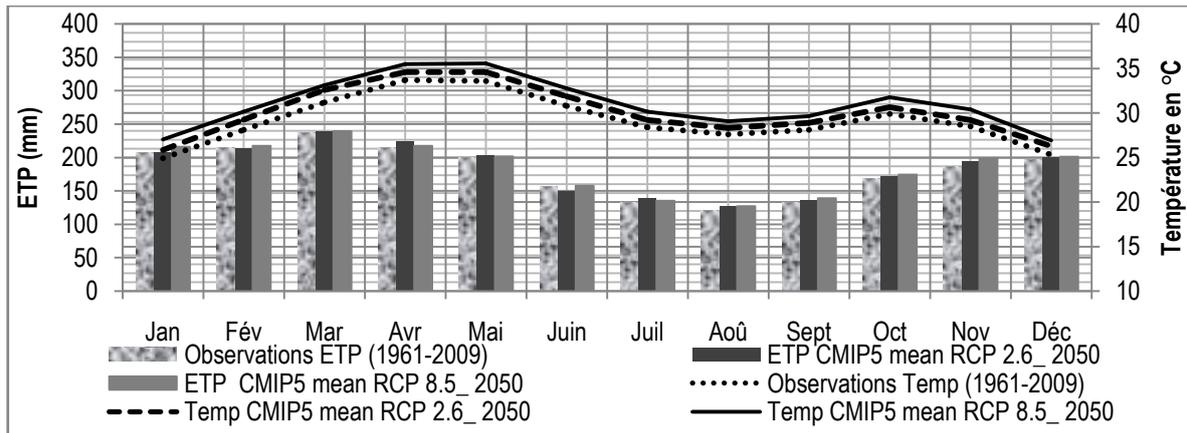


Figure 28: Evolution de la température (Temp) et de l'ETP mensuelles avec CMIP5 mean

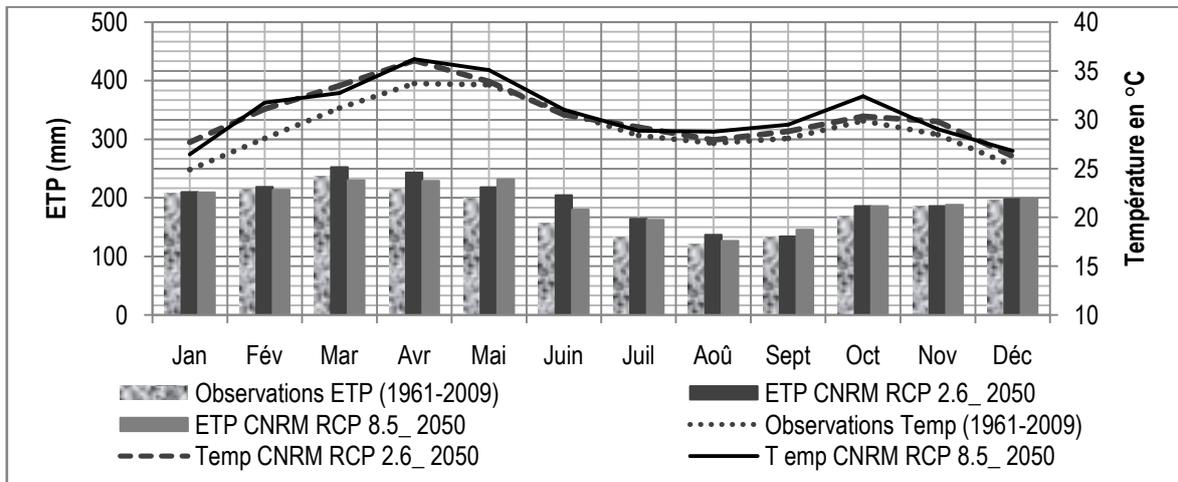


Figure 29: Evolution de la température (Temp) et de l'ETP mensuelles avec CNRM

4.2.3. Pluviométrie

4.2.3.1. Tendances historiques des précipitations

Dans la vallée du fleuve Sourou, comme partout ailleurs au Burkina Faso, l'année est divisée en deux (02) saisons nettement marquées avec des intersaisons plus ou moins marquées par l'alternance

- d'une longue saison sèche avec présence de l'harmattan, s'étendant de la mi-octobre à la mi-mai et incluant une période froide de novembre à février
- et d'une courte saison des pluies qui dure à peu près 150 jours soit 05 mois (mi-mai à mi-octobre) avec 50 à 70 jours de pluies.

Pour ce qui concerne la répartition mensuelle de la pluviométrie dans la vallée du Sourou, on constate que l'essentiel des précipitations tombe entre mai et septembre (figure 30). Le mois d'août est le mois le plus pluvieux avec des valeurs atteignant 237 mm et 181 mm au mois de septembre sur la période 1961-2009. Quelques précipitations ne dépassant guère 7 mm sont notées en saison sèche surtout en novembre, février et en mars.

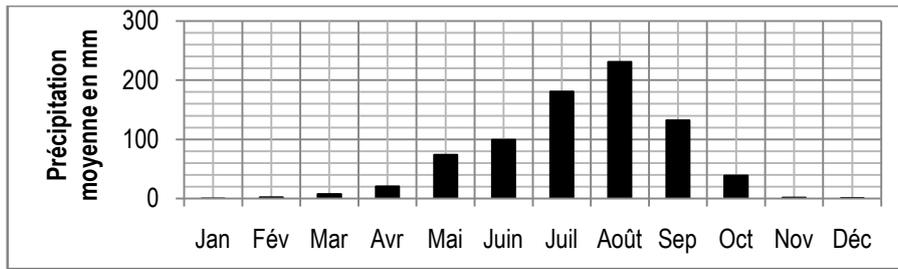


Figure 30: Moyenne mensuelle de la pluviométrie de Dédougou entre 1961 et 2009

4.2.3.2. Evolution de la pluviométrie moyenne de la zone d'étude

L'analyse de la figure 31 montre que la station de Dédougou a enregistré de fortes précipitations surtout dans les années 60 et au début des années 90. La pluviométrie moyenne pour la période de 1961 à 2009 (figure 31) est de 799 mm pour la zone d'étude. L'année 1994 se distingue pour être l'année la plus pluvieuse de la période, avec 1131 mm tandis qu'on observe un minimum en 1975 avec 512 mm, 549 en 1981 et près de 607 mm en 1982.

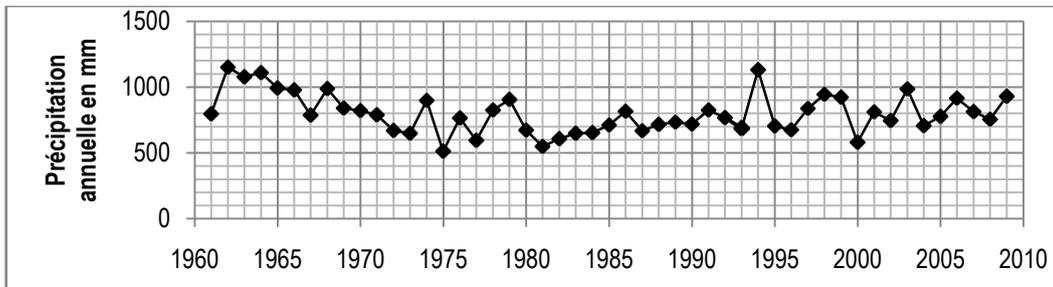


Figure 31: Evolution de la pluviométrie moyenne dans les zones Di-Dédougou de 1961 à 2009

4.2.3.3. Validation des modèles sur la période de référence 1961-2009 pour la pluie

Le tableau 17 montre également une bonne concordance des pluies simulées par les modèles climatiques sélectionnés et des pluies observées à la station de Dédougou par la DMN du Burkina Faso

Tableau 17: Pluies observées et Pluie obtenues avec les modèles climatiques entre 1980-2009 en (mm)

Modèles	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sept	Oct	Nov	Déc	Tot
Observations (1961-2009)	0,1	1,3	6,4	22,5	70,0	102,7	181,2	237,1	137,1	38,6	1,7	0,3	799,1
CMIP5 mean RCP 2.6 1980-2009	0,1	1,3	6,4	22,5	69,6	102,4	179,9	233,2	135,0	38,1	1,7	0,3	790,5
CMIP5 mean RCP 8.5 1980-2009	0,1	1,3	6,4	22,4	69,7	102,4	180,9	233,5	135,0	38,1	1,7	0,3	791,8
CNRM RCP 2.6 1980-2009	0,1	1,3	6,4	22,3	69,1	101,7	176,6	235,2	134,9	38,2	1,7	0,3	787,7
CNRM RCP 8.5 1980-2009	0,1	1,3	6,4	22,5	68,8	103,8	172,8	236,7	138,3	37,3	1,7	0,3	790,0

En effet, à quelques exceptions près, les pluies des modèles climatiques restent sensiblement égales aux pluies de la période d'observations. Ce constat confirme la fiabilité des modèles choisis. La concordance entre les débits simulés et observés est généralement bonne pour la station de Dédougou.

4.2.3.4. Evolution des précipitations entre 1961-2050 selon les modèles climatique

Les anomalies des précipitations dans la zone d'étude sont représentées dans les figures suivantes :

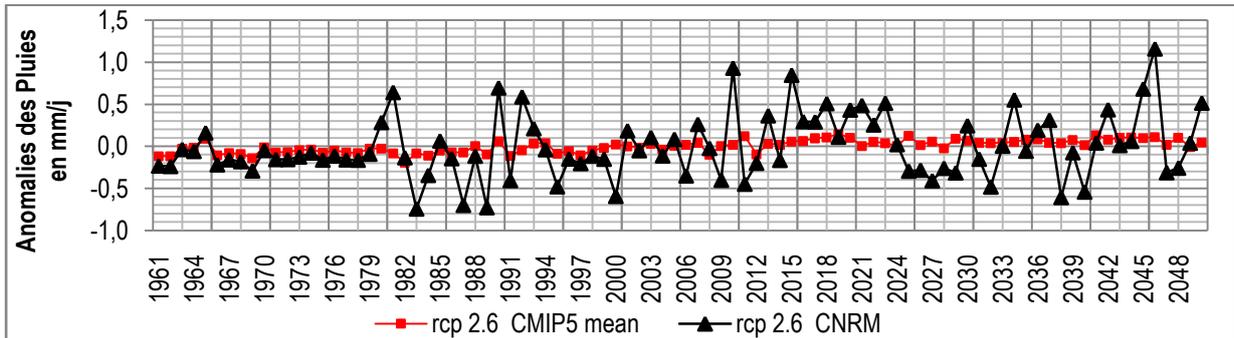


Figure 32: Anomalies des précipitations moyennes projetées avec les modèles climatiques CNRM et CMIP5 mean suivant le scénario d'évolution RCP 2.6

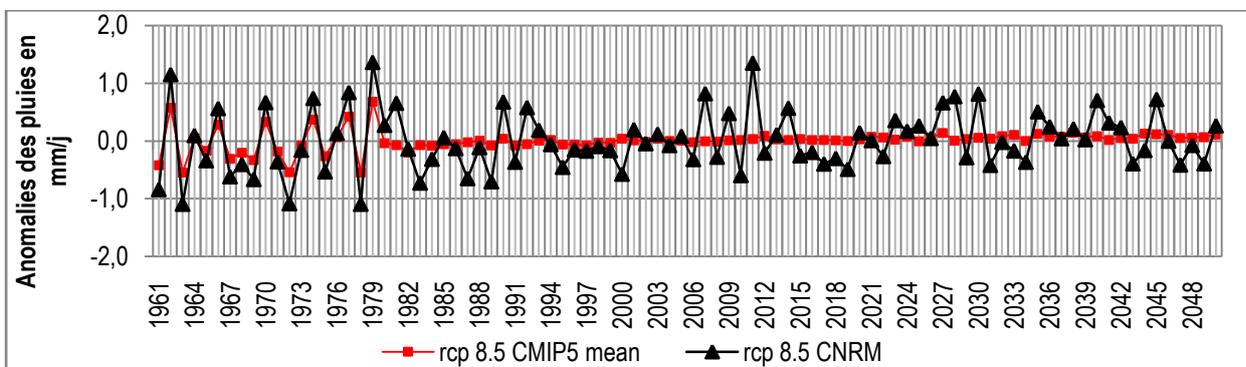


Figure 33: Anomalies des précipitations moyennes projetées avec les modèles climatiques CNRM et CMIP5 mean suivant le scénario d'évolution RCP 8.5

Le modèle climatique CMIP5 mean suivant les scénarii RCP2.6 et RCP 8.5 prévoit une stabilité des pluies durant la période 2010-2050 avec une tendance à la baisse faible par rapport à la moyenne sur les observations (figures 32 et 33). Par contre, sur la période 2010-2050 (figure 33), le modèle CNRM annonce une alternance assez marquée d'années déficitaires (anomalies négatives de 2015 à 2024; 2030 à 2036 et 2042 à 2050) et d'années excédentaires avec des risques d'inondations (anomalies positives de 2010 à 2014, 2025 à 2030...) quelque soit le scénario considéré. En 2050, le CNRM prévoit une diminution des précipitations de 0,047 mm/j suivant le scénario RCP 8.5 par rapport à la période d'observation.

Les pluies mensuelles reconstituées avec les anomalies et représentées sur la figure 34, montrent qu'une mise en place d'une politique de réduction des GES devrait entraîner une année pluvieuse en 2050. Cependant, si rien n'est fait, on devrait assister à une réduction quasi importante de la pluviométrie.

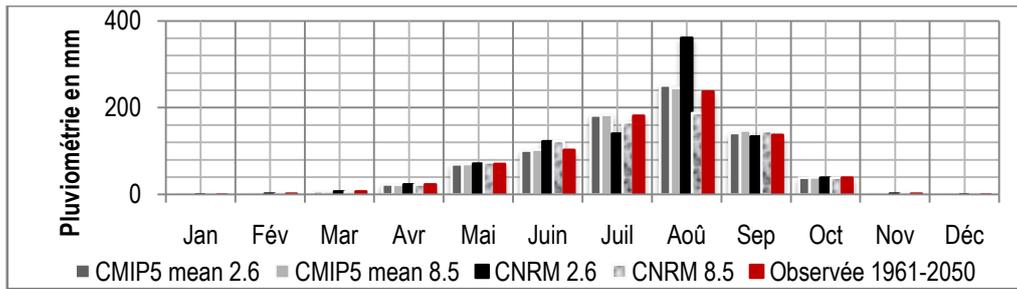


Figure 34: Comparaison des pluies observées avec celles projetées en 2050

Tableau 18: Pluviométries maximales et minimales projetées sur 2010-2050 par rapport à l'observation 1961-2009

Périodes	Politiques	Scénarii	Pan max (mm)	Pan min (mm)	Pan moy (mm)
1961-2009	Référence	1961-1968	1150	512	968
		1969-2009	1131	512	763
2010-2050	Avec réduction GES RCP 2.6	CMIP5 mean	830	771	811
		CNRM	1207	670	805
	Sans réduction GES RCP 8.5	CMIP5 mean	832	792	809
		CNRM	1060	677	800

En somme, l'analyse de la variation des paramètres climatiques, récapitulés dans le tableau 18 sur la période d'étude, permet de déduire :

☞ **Une augmentation générale de la température et un accroissement conséquent de l'évapotranspiration quelque soit le modèle considéré**

Elle aura comme conséquence une augmentation des pertes d'eaux par évaporation de la retenue au niveau du barrage de Lery et dans tout le bassin versant avec des impacts importants sur les activités génératrices de revenus de la province de Sourou notamment, la pêche et l'agriculture.

☞ **Une augmentation des événements extrêmes et une diminution des totaux annuels des pluies par rapport à la pluviométrie des années 1960**

Les projections de pluviométries avec les modèles climatiques choisis dans le projet CMIP5 annoncent une alternance d'années humides avec de fortes pluviométries pouvant entraîner des inondations et d'année sèche, à l'image de l'année 2050 (avec CNRM-RCP 8.5), pouvant entraîner une raréfaction des ressources en eau. Cependant, malgré la hausse des pluies décelées par les modèles choisis, les totaux annuels des précipitations des années 2050 sont restés légèrement en dessous des pluies observées dans les années 60, ce qui confirme en fait les travaux de MAHE et al (2006).

☞ **Une réduction du nombre de jours de pluie**

Les anomalies de pluies sont reconstituées avec la moyenne du nombre de jour de pluies de la zone d'étude estimée à 50 voire 70 jours (AECOM, 2008). Or, il a été démontré dans les études antérieures que d'une manière générale, en Afrique de l'Ouest, le nombre de jours de pluie est entrain de diminuer. En effet, KARAMBIRI¹⁶ démontre qu'en 2025 les pics seront atteints en Septembre alors que pour la période 1961-1990 les pics sont enregistrés en août. Cette diminution se traduit le plus souvent par une

¹⁶ Impact du changement climatique sur les ressources en eau dans le bassin versant du Nakambe (Burkina Faso) disponible sur le site : http://hydrologie.org/ACT/2009_Ouagadougou_2iE/Theme3/Karambiri_H.pdf

installation tardive des pluies accompagnée d'événements intenses avec des risques d'inondation. Il explique en partie aussi la hausse des précipitations en 2050 décelée par certains modèles.

Le tableau 19 récapitule les projections des paramètres climatiques retenues.

Tableau 19: Récapitulation des projections des paramètres climatiques retenues.

Modèles	Scénarii	Température (°C)	ETP (mm)	Pluie (mm)	
				1961-1968	1961-2009
Observations (1961-2009)		29,18	2169	981	799
CMIP5 mean	RCP 2.6_2050	30,01	2209	899	
	RCP 8.5_2050	30,11	2225	815	
CNRM	RCP 2.6_2050	30,36	2301	899	
	RCP 8.5_2050	30,70	2352	766	

L'évolution de ces paramètres, en plus du problème d'ensablement décelé dans la retenue, sont susceptibles d'agir négativement sur la disponibilité de l'eau dans la retenue du Sourou.

Tenant compte des études antérieures sur le domaine des changements climatiques et des projections de RCM visualisées avec le logiciel OpenGrADS (voir annexe 2) le modèle du CNRM semble refléter plus la réalité que la moyenne des 12 modèles climatiques du CMIP5. En effet, les RCM prévoit, malgré une alternance d'années sèches et d'années humides sur la période fictive, une tendance globale à la baisse des précipitations. De ce fait, les sorties du modèle climatique CNRM seront considérées dans la suite comme données d'entrée de GR2M surtout que les anomalies annuelles projetées par CMI5 mean ne sont pas représentatives.

4.3. Analyse des résultats de la modélisation et répercussions sur les besoins en eaux de la zone

A la suite de ces résultats de détection de rupture, le modèle hydrologique sera tourné comme suit:

- ☞ calage et validation sur la sous-période 1961 -1968 ;
- ☞ calage et validation sur la sous-période 1969-2009.

La sous-période 1969-2009 est subdivisée en petites périodes de 8 pour une meilleure représentativité des figures de calages et validations.

4.3.1. Résultats du calage et validation du modèle

Le calage et la validation sont basés sur le critère de Nash sur les écarts entre les débits observés et les débits calculés dans les deux sous-périodes (1961-1968 et 1969-2009). Ce critère permet alors d'évaluer les performances du modèle par rapport à une référence parfaitement calée. L'évolution des valeurs de ce Nash sur les sous-périodes entre 1961 et 1992, représentée dans la figure 35, montre que les valeurs du Nash sont plus grandes en calage qu'en validation. Le tableau 19 présente les valeurs de paramètres d'optimisation X_1 et X_2 en calage et en validation sur les deux sous-périodes.

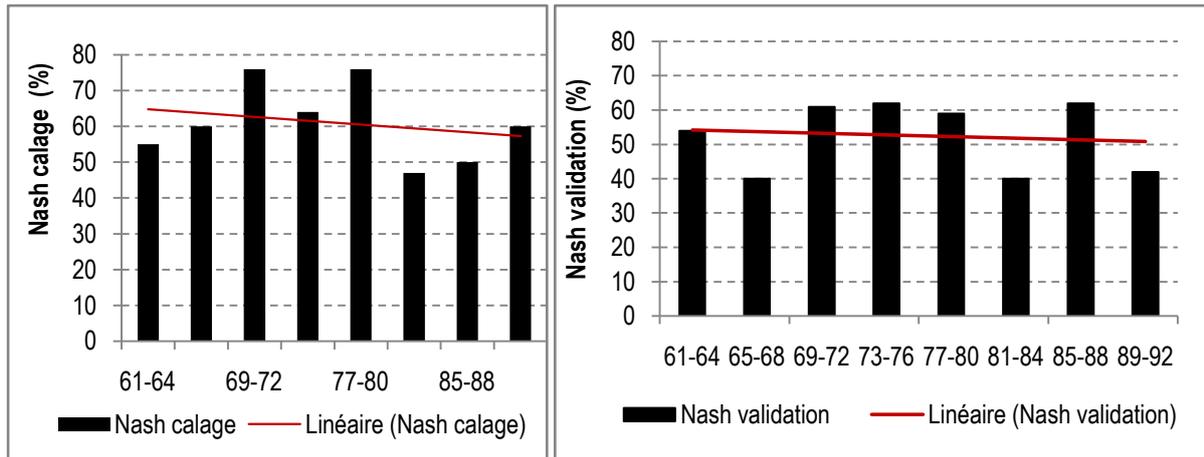


Figure 35: Evolution du critère de Nash en calage et validation sur la période d'étude

Il ressort de l'analyse de la figure 35 et du tableau 20, que les Nash sont supérieurs à 50 % (une seule station hydrométrique a été considérée), ce qui témoigne de la robustesse du modèle à simuler les débits. Le Nash faible dans certaines sous périodes s'explique par la faible qualité des données recueillies dans la station de Dédougou.

Tableau 20: Résultats du calage et de la validation croisée du modèle GR2M

	Avant	Après	69-00			
Calage	61-68	69-09	61-68	69-76	77-84	85-92
x_1 calé	8,45	7,60	8,45	8,10	7,85	7,73
x_2 calé	0,68	0,99	0,68	0,79	0,86	0,82
Nash Calage	67	50	67	68	57	47
Validation sur la période de calage			69-76	77-84	85-92	93-00
Nash validation	64	48	53	55	53	38

Les Critères de Nash du calage ainsi trouvés sont satisfaisants dans la mesure où une seule station hydrométrique (avec des données complètes) a été considérée pour cette étude. On assiste à une bonne synchronisation des débits observés et simulés en relation avec les événements pluvieux (figure 36). Cependant, le modèle simule moins bien les débits maximaux de la première année (où année de mise en route) aussi bien en calage qu'en validation car ces débits sont majorés. Pour les autres années, les débits maximums sont minorés par rapport aux observations, ce qui serait dû au temps de réponse du sous bassin versant du Sourou aux événements pluvieux. Pour ce qui concerne la validation, les critères de Nash sont de 56 % en moyenne.

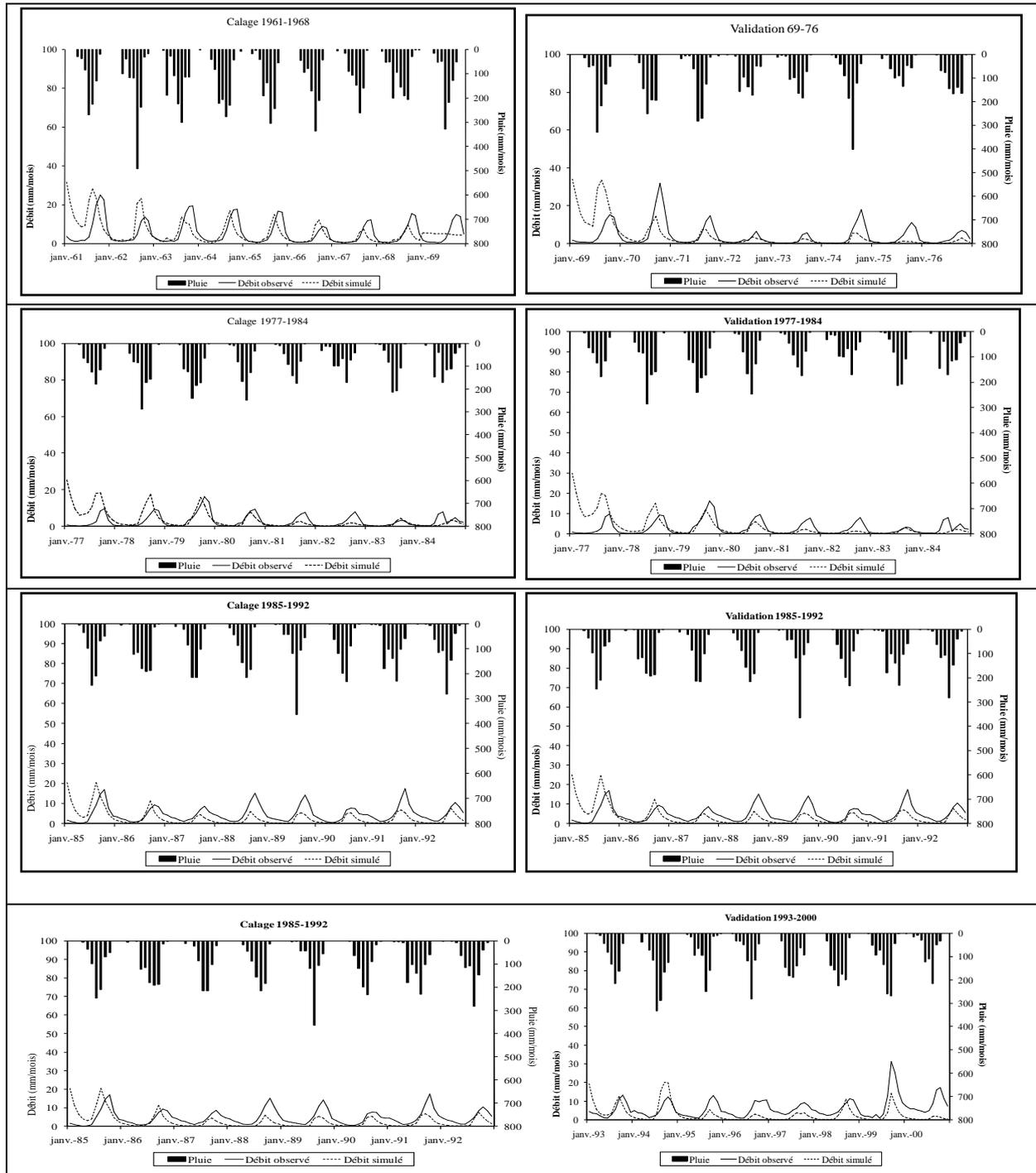


Figure 36: Calage et validation sur les sous périodes avant et après rupture

4.3.2. Evolution de la ressource en eau du Sourou selon GR2M

4.3.2.1. Variation des écoulements moyens sur la période de référence

Les figures 37(1) et 37(2) suivantes représentent respectivement l'évolution du module hydrologique enregistré au niveau de la station de Nwokuy entre 1958 et 2009 et les indices de débits qui y sont observés.

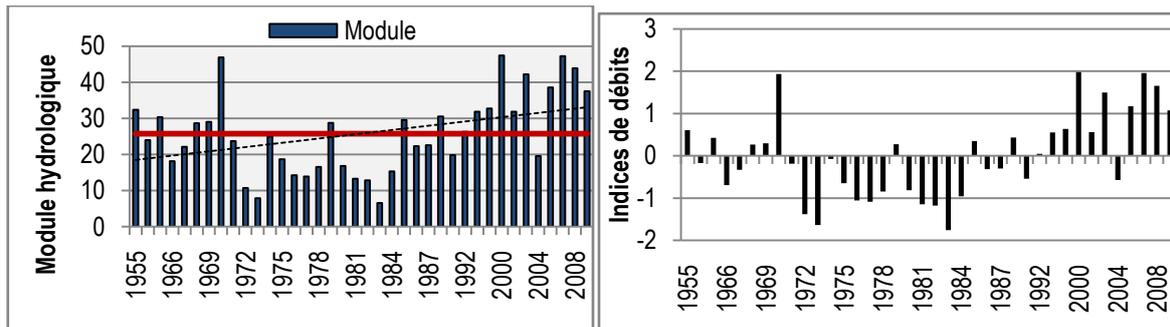


Figure 37: Evolution du module hydrologique(1) et indices des débits observés (2) de la station de Nwokuy de 1955 à 2009 (Source : DGRE et PAGEV.2009)

En effet, le Sourou a connu une variation importante de ces modules hydrologiques sur la période de référence. Les indices des débits positifs (années pluvieuses avec des écoulements élevés) sont localisés en 1969 et dans la décennie 2000-2010. Ces deux périodes sont entrecoupées par une période déficitaire (indices des débits négatifs) assez longue allant des années 70 aux années 90.

4.3.2.2. Projections des écoulements moyens sur la période 2010 à 2050

Le tableau 21 présente les paramètres d'optimisation (X_1 et X_2) et d'efficacité (critère de Nash) de GR2M et les périodes de calage et de validation des écoulements projetés à l'horizon 2050 avec le modèle CNRM assorti du scénario d'évolution RCP8.5 qui présente des déficits pluviométriques. Les périodes de calage et de validation des écoulements futurs sont celles identifiées dans la figure 33. Les Nash varient de 71 à 87% en calage et 66 à 86% en validation ce qui témoigne de la capacité de GR2M à simuler d'une manière efficace les écoulements. Les Nash sont donc supérieurs à 65 % dans les 2 cas.

Tableau 21: Calage et de validation sur la période de projection

Calage				Validation	
Année	X_1	X_2	Nash	Année	Nash
2010-2014	7,19	0,79	87	2015-2019	66
2015-2019	7,15	0,82	77	2020-2024	80
2020-2024	7,2	0,82	82	2025-2029	86
2025-2029	7,11	0,78	82	2035-2039	81
2040-2044	6,99	0,76	71	2045-2049	68

La figure 37 présente l'évolution des débits simulés et des pluies projetées après optimisation des paramètres du modèle. L'analyse de la figure 37 montre que les débits de crue simulés évoluent au rythme de la pluviométrie. Cependant, on note un léger décalage entre les débits simulés en calage et les débits simulés en validation. Ce décalage est souvent dû au temps de réponse du bassin versant aux événements pluvieux.

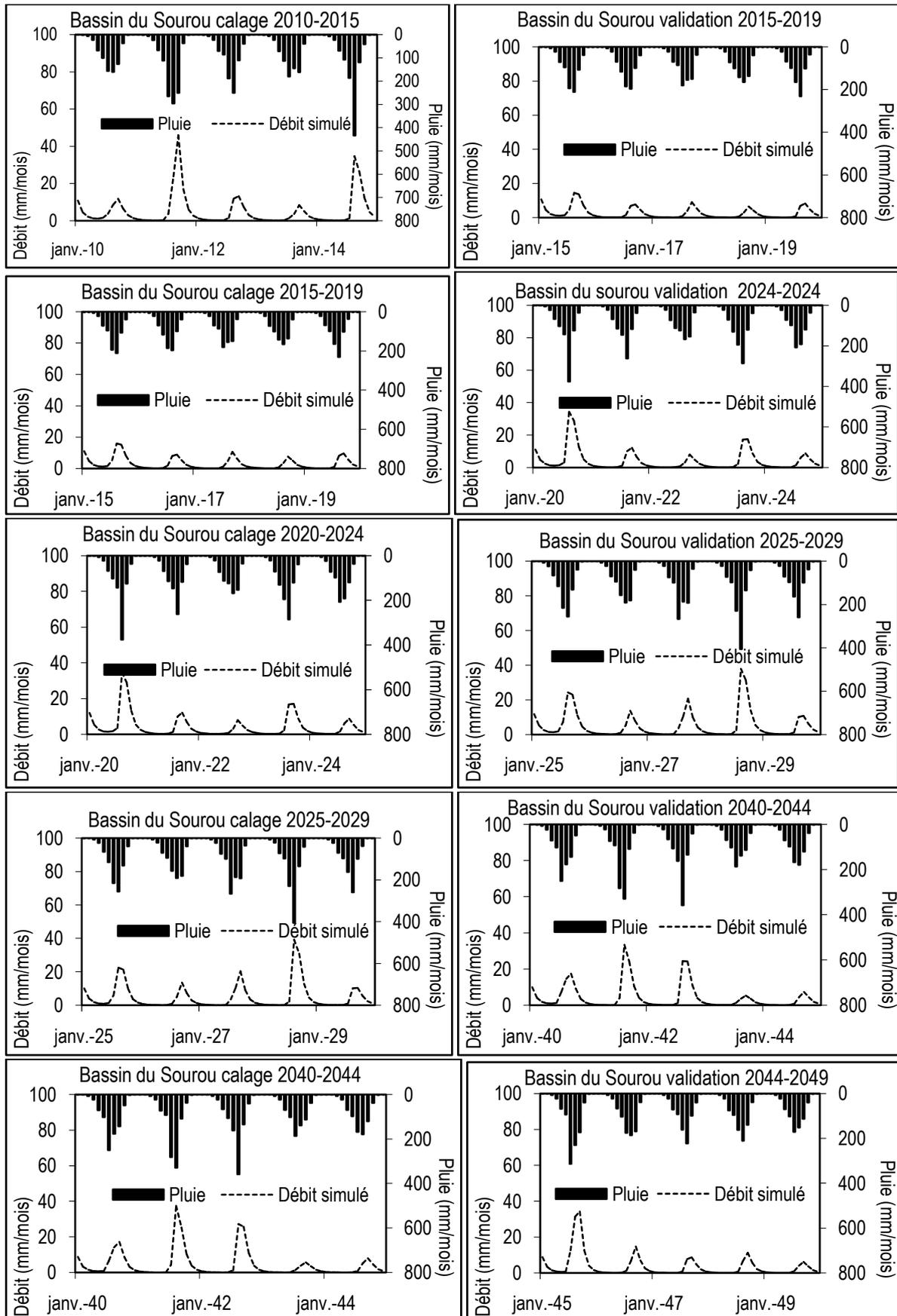


Figure 38: Variabilité des lames d'eau précipitées et des débits simulés en calage et validation suivant différentes sous-périodes

4.3.2.3. Variation saisonnière des débits moyens sur la période 2010 à 2050

Les figures 39 et 40 présentent les variations saisonnières des débits et des pluies avec une comparaison de la période de référence 1961-2009 et la période de projection 2010-2050 suivant les deux scénarii d'évolution RCP2.6 et RCP 8.5 respectivement : avec et sans politiques de réduction des GES.

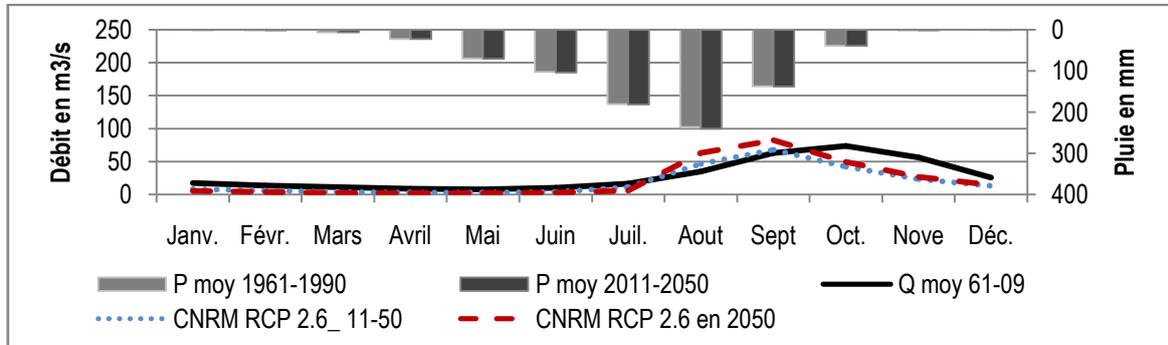


Figure 39: Variation des débits en fonction des pluies dans une situation de réduction de GES

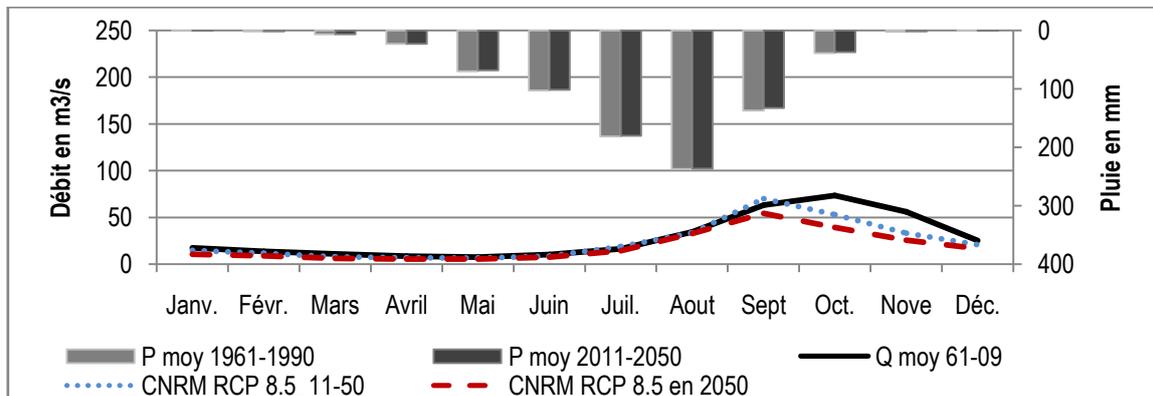


Figure 40: Variation des débits en fonction des pluies dans une situation sans réduction de GES

En situation de réduction de GES responsables du changement climatique (figure 39), le modèle semble annoncer une augmentation assez timide des écoulements pendant les mois d'août et de septembre. Ceci confirme l'année pluvieuse annoncée en 2050 par le modèle CNRM suivant le scénario RCP2.6.

Si aucune politique de réduction de GES n'est mise en place dans le Sourou (figure 40), on devrait noter une diminution progressive des écoulements et du volume des apports avec un niveau de production (S) du réservoir (figure 41) et un Niveau (R) du réservoir de Routage (figure 42) qui décroissent de plus en plus. Ceci découle de la baisse de la pluviométrie moyenne en 2050 (766 mm contre 799 mm sur la période d'observation) mais également de l'augmentation importante de l'ETP.

Tableau 22: Variation des débits selon les scénarii climatiques

Scénarii	Débit(Q) en m³/s	Scénarii	Débit (Q) en m³/s
Q moy 61-09	335,6	Q moy 61-09	335,6
CNRM RCP 8.5_11-50	283,9	CNRM RCP 2.6_11-50	228,4
CNRM RCP 8.5 en 2050	225,8	CNRM RCP 2.6 en 2050	258,5

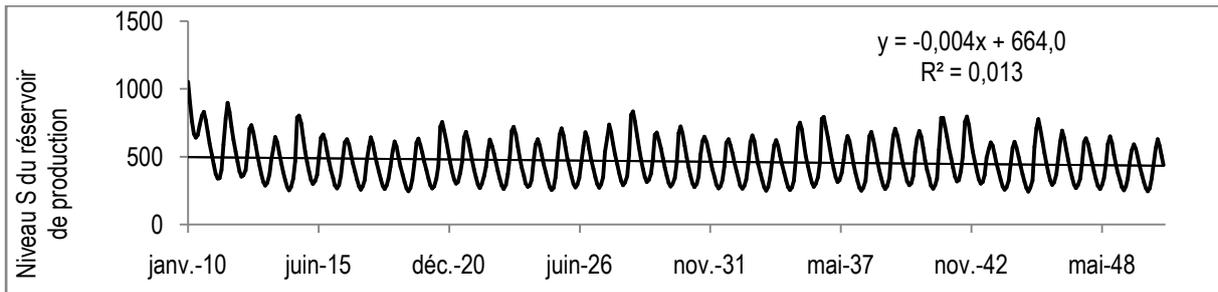


Figure 41: Niveau du réservoir de production du Sourou selon GR2M

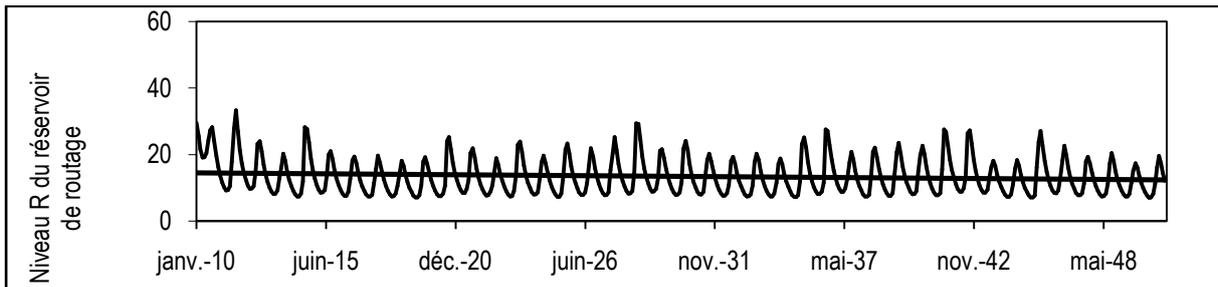


Figure 42: Niveau (R) du réservoir de Routage du Sourou selon GR2M

4.4. Synthèse des Résultats

La chronique des pluviométries du sous bassin du Sourou a beaucoup évolué sur la période 1961-2009. Elle subit d'ailleurs une rupture en 1968, date à laquelle la période de référence se divise en deux sous périodes (humide et sèche) avec un déficit de précipitations annuelles de 22%. Ce déficit pluviométrique est surtout causé par la sécheresse des années 1970. Ces résultats confirment en partie les études de Le Barbé et al. (2002) et Bodian (2011) qui démontrent que le déficit des précipitations sur la période sèche après rupture est principalement dû à la diminution du nombre d'événements pluviométriques.

L'évaluation des impacts potentiels du changement climatique sur la ressource en eau du Sourou avec le modèle hydrologique GR2M confirme les études de Bodin (2004) qui démontre l'efficacité et la capacité du modèle à reproduire les écoulements de l'Afrique de l'ouest et d'Afrique Centrale. En effet, le modèle calé et validé aussi bien sur la période de référence que sur la période de projection donne des Nash assez satisfaisants malgré que seule la station hydrométrique de Nwokuy ait été considérée dans cette étude.

La hausse de la pluviométrie avec les scénarii optimistes pourrait permettre de satisfaire les besoins en irrigation de la vallée bien qu'ils soient en perpétuelle augmentation (l'extension des périmètres de Di). Mais, avant, il nécessite une gestion adéquate de la ressource avec prise en compte des changements climatiques et une promotion des techniques d'optimisation de la ressource surtout celles basées sur la protection contre l'évaporation.

4.5. Proposition de mesures d'adaptation

Pour une meilleure gestion des ressources en eau de la zone du Sourou, des stratégies d'adaptation s'imposent afin de pallier les effets néfastes des impacts du changement climatique simulés dans le scénario RCP 2.6 et amplifiés dans le scénario RCP 8.5 (si rien n'est fait pour réduire les émissions de gaz à effet de serre). Ces aspects doivent être intégrés dans le plan national de gestion des zones humides du pays.

Pour ce faire, il faut tout d'abord travailler sur des mécanismes de suivi des ressources en eau dans la zone d'étude. En effet, le manque des données de base de qualité et de quantité rend difficile l'estimation des ressources en eau et de leur évolution face à la variabilité et aux changements climatiques.

Ainsi, des orientations qui s'articulent autour des points suivants sont à prendre en compte :

- ☞ le cadre juridique, institutionnel et organisationnel ;
- ☞ la gestion intégrée des ressources en eau
- ☞ la protection des ressources en eau ;
- ☞ l'information-sensibilisation et le renforcement des capacités ;

4.5.1. Cadre juridique, institutionnel et organisationnel

Dans le but de mieux canaliser les efforts des acteurs et de mieux rentabiliser les investissements, une gestion concertée de la ressource en eau transfrontalière entre le Mali et le Burkina Faso s'impose. Elle passera d'abord par la création d'une structure bipartite ou d'une Conférence des Chefs d'Etat et de Gouvernement de l'AMVS, avec uniformisation des réglementations pour coordonner les échanges entre les deux pays sur la gestion des ressources en eau du Sourou. Cette structure sera secondée par une cellule nationale de coordination chargée d'exécuter et de suivre les projets de l'AMVS dans chaque Etat membre et d'une Commission Permanente des Eaux (CPE). Cette commission sera instituée pour prendre en charge les questions relatives à l'utilisation équitable des ressources en eau pour les différents usages et devrait remplir, dans le contexte actuel, le rôle de secrétariat technique chargé de la coordination des activités de gestion du barrage de Lery.

4.5.2. Mesures visant la Gestion Intégrée des ressources en eau (GIRE)

Elle concerne surtout la redynamisation de l'approche GIRE. Ce mode de gestion appropriée des ressources en eau est basé sur une participation active des différents acteurs clés. La GIRE se fera par un diagnostic concerté de la situation pour une amélioration de l'existant. Ce diagnostic sera suivi d'une planification rationnelle de l'utilisation des eaux du bassin de manière à éviter des conflits entre usagers (irrigation à tour d'eau) avec un développement et une vulgarisation des technologies de collecte des eaux de pluie et d'économie d'eaux dans le secteur agricole (zaï; le goutte à goutte...).

Pour ce qui concerne les ouvrages de contrôle des crues de la retenue du Sourou, l'AMVS doit mettre en place un système de tarification des eaux adapté et de recouvrement de la redevance efficace. Cette tarification entre dans le cadre du principe préleveur-payeur et doit cependant tenir compte de la

capacité de paiement des principaux usagers (études au préalable des comptes d'exploitation des agriculteurs). Les redevances recouvrées pourront servir dans l'entretien et la maintenance hors-GER¹⁷ des ouvrages hydro-agricoles.

4.5.3. Mesures visant la protection de la ressource du fleuve Sourou

Les mesures suivantes pour protéger les ressources en eau doivent être explorées :

- ☞ mise en place d'un observatoire de l'environnement et de la ressource en eau du Sourou;
- ☞ lutte contre l'ensablement de la retenue du Sourou à travers des campagnes de reboisement avec une participation active des acteurs pour une meilleure protection des berges des plans d'eau du Sourou et du Mouhoun. La réhabilitation des berges permettra à la longue de créer les conditions de réalimentation naturelle et artificielle de la rivière. Il convient aussi de procéder à un curage fréquent du lit mineur du fleuve ;
- ☞ Promotion des techniques culturales antiérosives et des techniques de Conservation des Eaux et la Défense et la Restauration des Sols (CES/DRS) afin de stabiliser les sols et de récupérer les terres dégradées du Sourou;
- ☞ Lutte contre la pollution des ressources en eau superficielles et souterraines du sous-bassin. Elles sont souvent menacées de pollution par le rejet des pesticides et des engrais utilisés dans les périmètres agricoles ;
- ☞ Promotion des mesures visant l'efficacité et l'efficience dans la gestion des eaux pour l'agriculture (diguettes filtrantes, irrigation goutte à goutte, dépressions artificielles, cordons pierreux, meilleur aménagement des parcelles, etc.) ;
- ☞ Maintien, entretien et réhabilitation fréquentes des infrastructures hydrauliques existantes.

4.5.4. Renforcement de capacité, information sensibilisation des communautés

Le renforcement des capacités et la formation, tant pour l'identification que pour la mise en œuvre en adoptant une démarche participative, est obligatoire pour une gestion rationnelle des ressources en eau. Ces activités nécessitent une bonne sensibilisation et une bonne mobilisation de la société civile. Pour cela, les actions ci-dessous sont proposées :

- ☞ renforcement et modernisation des réseaux de mesure sur les ressources en eau avec application à bon escient des études du projet AD2 sur la simulation des crues ;
- ☞ sensibilisation des usagers sur les changements climatiques et les menaces qui pèsent sur la ressource du Sourou (ensablement, tarissement)
- ☞ promotion de la recherche sur les impacts de la variabilité et du changement climatique et la recherche/développement sur les ouvrages d'adaptation aux changements climatiques ;

¹⁷ Gros Entretien et Renouvellement

- ↳ renforcement des capacités des acteurs concernés au niveau national et sous régional pour une plus grande prise de conscience des effets néfastes des CC et sur les techniques d'économie d'eaux;
- ↳ intensification des formations sur les évaluations de la vulnérabilité et des mesures d'adaptation dans le secteur des ressources en eau ;
- ↳ amélioration des prévisions climatiques et hydrologiques et des outils d'aide à la prise de décisions basés sur les résultats de la recherche (élaboration d'outils de gestion, de planification et de prévision qui prennent en compte le changement climatique).

En somme, ce chapitre a permis de voir les impacts potentiels des changements climatiques sur l'évolution future des ressources en eau du sous-bassin du Sourou. Il met en évidence une augmentation généralisée de la température et de l'évapotranspiration potentielle et une diminution des écoulements de la retenue du Sourou à l'horizon 2050. Il devient de ce fait urgent de mettre en place des politiques de réduction de GES afin de réduire la vulnérabilité de la ressource en eau du Sourou qui souffre déjà d'un ensablement aigu de son lit mineur.



CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'importance de la vallée du Sourou pour le Burkina Faso aussi bien sur le plan économique, hydrologique et écologique n'est plus à démontrer. C'est pour cette raison que depuis la fin des années 60, dans le cadre d'une politique d'autosuffisance alimentaire et de lutte contre la pauvreté, les gouvernements successifs du Burkina Faso ont prôné le développement de l'irrigation dans cette vallée. Dès lors la maîtrise de la dynamique hydrologique du complexe Mouhoun- Sourou s'est toujours avérée une priorité pour le pays. C'est pour comprendre cette dynamique dans un contexte de changements climatiques que cette étude a été menée en vue d'analyser les impacts de ce phénomène sur le réseau hydrographique du sous bassin du fleuve Sourou.

Il ressort de cette étude, compte tenu de la répartition temporelle de la pluviométrie que la vallée du Sourou a connu de fortes années excédentaires durant les périodes de forte pluviométrie (1961- 1968), mais aussi des années déficitaires dont les plus élevées se situent pendant les périodes de sécheresse des années 1970.

Les résultats obtenus, d'une part, avec les projections des modèles de circulation globaux font état d'une augmentation de la température induisant par la suite une évaporation très forte et ainsi une diminution nette des ressources. Pour ce qui concerne la pluviométrie, une diminution de sa quantité est observée en 2050 avec le modèle du CNRM suivant le scénario RCP 8.5. Par contre, en considérant le régime pluviométrique de la zone d'étude, ce même modèle (CNRM) suivant le scénario RCP 2.6, prévoit sur la période 2010-2050 une alternance d'années sèches et humides avec de grands risques d'inondations. De plus, selon toujours ce scénario, 2050 sera une année pluvieuse avec un pic au mois d'août qui constitue aussi une période sensible avec des risques importants d'inondations.

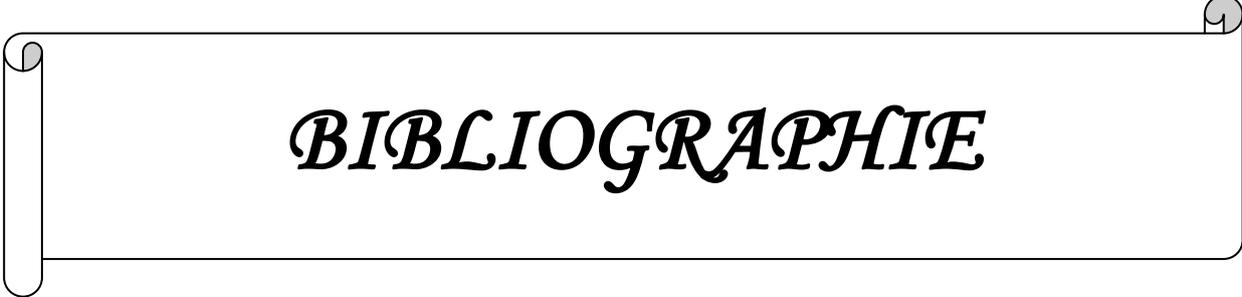
Les différents résultats obtenus par la simulation, en validation croisée, confirment que le modèle reproduit bien le fonctionnement hydrologique et peut être adopté comme un outil de gestion des ressources en eau de surface du sous-bassin du Sourou. En effet, les valeurs du critère d'efficacité du modèle GR2M, critère de Nash, illustrent bien la robustesse et la capacité du modèle à simuler l'écoulement du Sourou. Les projections avec GR2M d'ici 2050 sur le sous- bassin versant du Sourou montrent une diminution des écoulements. Considérant la variation saisonnière des débits simulés et le régime pluviométrique de la période de projection 2010-2050 selon le scénario RCP2.6, on pourrait assister à des risques d'inondation dont le plus fort serait enregistré dans les mois d'août et de septembre.

D'autre part, le caractère partagé des ressources en eau entre le Burkina Faso et le Mali constitue un handicap, d'où la nécessité d'adopter une gestion concertée et participative. En plus, l'effet des actions anthropiques sur les ressources naturelles à travers notamment, la coupe abusive du bois de chauffe pour 84% de la population et le déboisement diminuent les ressources végétales. Ces faits accentuent l'érosion des sols et favorisent un ruissellement accéléré avec transport d'éléments fins entraînant à la longue une sédimentation du lit du cours d'eau du Sourou.

Avec cette tendance, il est impossible d'atteindre les objectifs assignés à l'aménagement de la vallée du Sourou. Ainsi, il urge de mettre en place des politiques atténuantes et durables d'adaptation aux changements climatiques avec une participation active et effective du Burkina Faso aux différentes tentatives de réduction des Gaz à effet de serre. Ces politiques devront non seulement permettre de mettre à l'abri la communauté de la vallée du Sourou (très dépendante des ressources naturelles du milieu) contre la dégradation continue des conditions socioéconomiques et des écosystèmes mais aussi faciliter le désir et la volonté des autorités burkinabè de faire de cette vallée un pôle de développement agricole. Pour inverser alors la tendance qui prédomine, des stratégies qui découleront de ces politiques d'adaptation aux changements climatiques et qui répondent aux réalités de la zone devraient être adoptées en partenariat avec l'AMVS.

Pour garantir l'efficacité des différentes stratégies d'adaptation dans la gestion des ressources en eau et une meilleure anticipation des événements, il faut surtout mettre en place un système d'alerte précoce des crues avec une redynamisation de l'approche GIRE mais aussi promouvoir la recherche et le renforcement des capacités à l'échelle du bassin versant mais aussi à l'échelle nationale. Ce renforcement des capacités des acteurs permettrait de mieux quantifier les impacts du changement climatique sur le bassin versant et d'explicitier le processus de remplissage des barrages notamment celui du barrage vanne de Lery.

Le modèle GR2M, bien qu'il soit efficace dans la simulation des écoulements des bassins ouest africains, n'est pas sans insuffisances. La superficie du bassin influence la qualité des résultats produits par le modèle. Plus le bassin est grand, moins la simulation est bonne. Ainsi, pour mieux apprécier la situation dans le sous-bassin versant, il serait souhaitable de mettre sur pied une méthodologie basée sur des échantillons statistiques plus représentatifs avec plusieurs stations hydrométriques aussi bien dans le Mouhoun que dans le Sourou.



BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE

AECOM/ SCET TUNISIE, 2010 - *Assistance Technique pour l'Élaboration de Dossiers d'Avant Projets Détaillés des Sous Composantes Di et Léry de la Composante Gestion de l'Eau et Irrigation, Burkina Faso* - Rapport de l'étude de faisabilité des ouvrages de Léry Volume 1, 2, 3, 4,5, 6.

AECOM/ SCET TUNISIE, 2011 - *Assistance Technique pour l'Élaboration de Dossiers d'Avant Projets Détaillés des Sous Composantes Di et Léry de la Composante Gestion de l'Eau et Irrigation « Projet Agriculture et Développement (AD2) » Burkina Faso* - 216 pages + Annexes.

AECOM/ SCET TUNISIE, 2011 - *Assistance Technique pour l'Élaboration de Dossiers d'Avant Projets Détaillés des Sous Composantes Di et Léry de la Composante Gestion de l'Eau et Irrigation, Burkina Faso* - Programme de contrôle des inondations dans la vallée du Sourou 110 pages+ Annexe.

AMOUSSOU, E., 2010 - *Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin-versant du complexe fluvio-lagunaire Mono - Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest)* - Thèse de Doctorat, Centre de Recherches de Climatologie (CRC), Université de Bourgogne II, 315 pages + Annexes.

ARDOIN-BARDIN, S., 2004 - *Variabilité hydro-climatique et impacts sur les ressources en eau des grands bassins hydrographiques en zones soudano-sahéliens* - Thèse de Doctorat d'État, Faculté des Sciences et Techniques du Languedoc, Université Montpellier II, 440 pages + Annexes.

BAGAYOKO, F., YONKEU, S., 2008 - *Cours de climatologie et d'impact des Changements climatiques sur l'environnement et les ressources en eau* - 2iE, Burkina Faso, 103 pages + Annexes.

BANQUE MONDIALE, 2010 - *32^e Rapport sur le développement dans le monde et changement climatique : Projet de stratégie de la Banque Mondiale pour l'Afrique subsaharienne* - Version préliminaire, 52 pages.

BODIAN, M., HONORE, D., DEZETTER, A., 2011 - *Caractérisation spatio-temporelle du régime pluviométrique du haut bassin du fleuve Sénégal dans un contexte de variabilité climatique* – *Revue Physio-Géo : Géographie Physique et Environnement*, Volume 5, pages 107 - 124.

COULIBALY, N., 2007- *Production piscicole dans la vallée du Sourou au Burkina Faso*. Consulté le 03 novembre 2012 de <http://cmsdata.iucn.org>.

DEZETTER, A., 2011 - *GT6- Modélisation conceptuelle*, Séminaire RESSAC – Ouagadougou, Burkina Faso. URL: http://www.hydrosciences.fr/ressac/Atelier032011%5Cmethodes_GT7_Dezetter.pdf.

DGRE et PAGEV, 2009 - *Audit de l'eau du bassin de la Volta : la gestion conjointe des ressources eaux transfrontalières* (extrait de 3 pages).

DIEDHIOU, A., 2012 - *Cours changements climatiques université Senghor d'Alexandrie*.

DIOP, L., et al, 2007. *Analyse des impacts des changements climatiques sur les ressources en eau du barrage de Kompienga*, *Projet Technique*. 2iE, 66p + Annexes.

EMMA, H., 2003 - *Modélisation mensuelle pluie-débit/ apports de la spatialisation- cas des données de sols* - Mémoire de DEA, Faculté Des Sciences Et Techniques Du Languedoc, Université Montpellier II ; 90 pages et Annexes.

FELLOUS, J-L., GAUTIER, C., 2007 - *Comprendre le changement climatique*- Paris : Edition Odile Jacob. 297 pages.

FICHE 10 RAMSAR : Zone humides et services éco-systémiques : Changements climatiques atténuation et adaptation.

FICHE TECHNIQUE OTHU N°23 - *Méthodologies d'analyse de tendances sur de longues séries hydrométéorologiques*.

GIEC, 2001. *Bilan des changements climatiques : les éléments scientifiques* - Contribution des groupes de travail I au troisième Rapport d'Evaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évaluation du climat, 97 pages.

GIEC, 2007 – *Bilan 2007 des Changements climatiques* - Contribution des groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'Evaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évaluation du climat [Equipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (sous la direction de ~)]. GIEC, Genève, Suisse, ..., 103 pages.

HOUGHTON, J., (GIEC, centre Hadley) - *Le réchauffement climatique : Un état des lieux complet*- Editeur: De Boeck.

IRD, 2002 - KhronoStat version 1.0.1, *Maison des sciences de l'eau, UMR 5569 – Hydro science Montpellier*, URL : <http://www.hydrosciences.org/spip.php?article239>.

KARAMBIRI, H., 2005 - *Hydrologie de Surface --UTER Gestion et Valorisation de l'Eau et l'Assainissement- Cours 2iE* ;

KNMI CLIMATE EXPOSER, European Climate Assessment and Data: Consulté sur le Site <http://climexp.knmi.nl/start.cgi?someone@somewhere>.

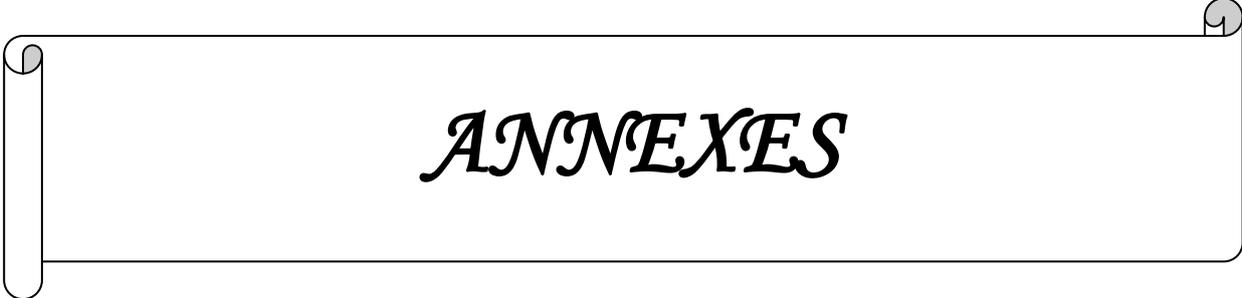
KODJA, D., 2011- *Prévision des crues dans le bassin versant du zou à Atcherigbe avec le modèle GR2M*- Mémoire de Maitrise, Département Géographie et aménagement du territoire, LACEEDE, Bénin.104 pages + Annexes.

Le BARBE, L., ALE, G., MILLET, B., TEXIER, H., BOREL, Y., GUALDE, R., 1993. *Les ressources en eau superficielles de la République du Bénin*. Paris, ORSTOM, 540 pages.

LEMAITRE, F., 2002. Adaptation de la méthode du cumul des résidus (Ellipse de Bois, 1971) consulté le 28 Janvier 2013 sur : <http://pnrh-ns.lyon.cemagref.fr/Fichiers/Lemaitre.pdf>.

MAHE, G., 1992- *Les écoulements fluviaux sur la façade Atlantique de l'Afrique. Etude des éléments du bilan hydrique et variabilité interannuelle, analyse de situations hydro-climatiques moyennes et extrêmes*- Thèse de doctorat, université Paris XI ORSAY, Paris, 384 pages.

- MAHÉ, G., 2006. - *Variabilité pluie-débit en Afrique de l'Ouest et Centrale au 20^{ème} siècle : changements hydro-climatiques, occupation du sol et modélisation hydrologique*- Mémoire d'HDR, Université de Montpellier II, 160 pages.
- MOUNIROU et al., 2006. *Application du modèle GR2M sur les bassins tropicaux : Recherche de l'information hydrométrique minimale pour une estimation raisonnable de ses paramètres*. Hydro-sciences, Montpellier, 4 pages
- MOUSSU, 2007- *Modélisation couplée pluie/débit débit/débit : Développement et application aux bassins non jaugés*- Mémoire de Master 2, Faculté des Sciences de l'Univers, Environnement, Ecologie de Paris, Université Pierre et Marie CURIE, 53 pages.
- NIASSE, M., et al., 2004. Réduire la vulnérabilité de l'Afrique de l'ouest aux impacts du climat sur les ressources en eau, les zones humides et la désertification, UICN, 71 pages.
- OUAGA, H-N., 2011- *Changement climatique en Afrique de l'Ouest : Etat des lieux, méthodes d'évaluation de la vulnérabilité et actions*- Séminaire de formation sur les changements climatiques de l'Agence Suédoise de la Coopération pour le Développement International (ASDI) tenu à Bamako au Mali le 24 novembre 2011.
- OUEDRAOGO, F-C., 2009 - *Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar (fdr) : Vallée du Sourou, version 2006-2008 - Département de géographie, UFR/SH*. 17 pages.
- PERRIN, C., MICHEL, C., ANDREASSIAN, V., 2007- *Modèles hydrologiques du Génie Rural (GR)*- consulté le 02 juillet 2012 de CEMAGREF <http://www.cemagref.fr/webgr>.
- ROSILLON, F., 2007- *Contribution à la gestion intégrée des eaux et des sols à travers l'application du contrat de rivière Sourou au Burkina Faso*-Actes des JSIRAUF, Hanoi Département des Sciences et Gestion de l'Environnement Université de Liège.
- ROUDIER, P., MAHE, G., 2001- *Calcul des pluies et débits classés sur le bassin du Bani (Mali) : une approche de la vulnérabilité des ouvrages et de la population depuis la sécheresse*- Article publié dans "Hydrological Sciences Journal (2010) 351-363".
- SANON ; M et al, 2006- *Plan d'Action National pour l'Adaptation aux changements climatiques du Burkina Faso*, 76 pages + Annexes.
- SOMDA. J., ZONON, A., OUADBA, J-M., HUBERMAN, D., 2008 - *Valeur économique de la vallée du Sourou*:- Rapport d'évaluation préliminaire UICN. 68 pages.
- SP/CONAGESE, 2001-*Stratégie Nationale de Mise en Œuvre de la convention sur les changements climatiques*, Burkina Faso, 81 pages + Annexes.

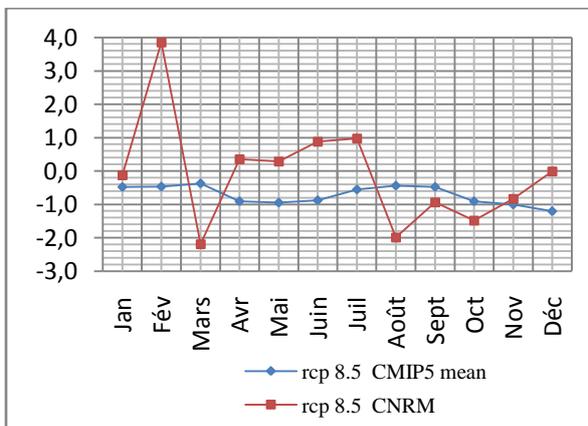
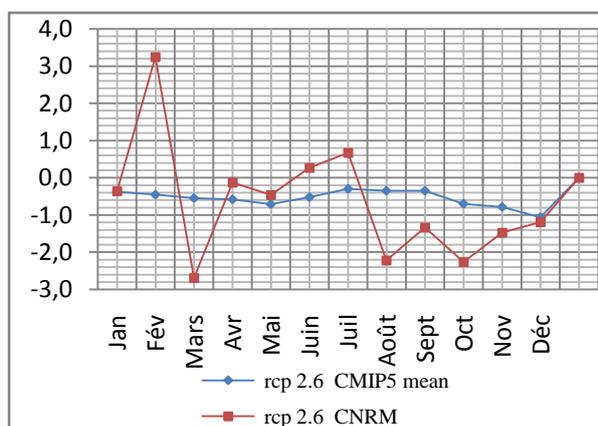


ANNEXES

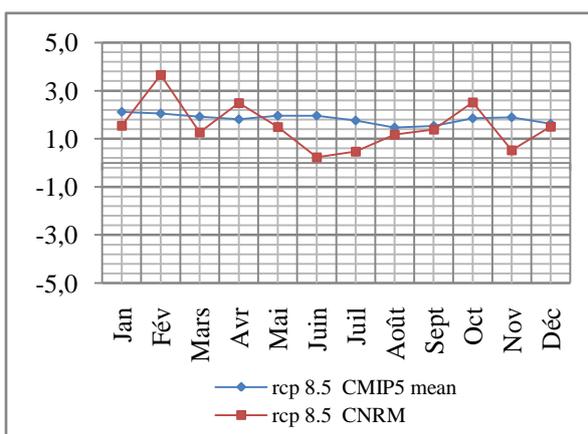
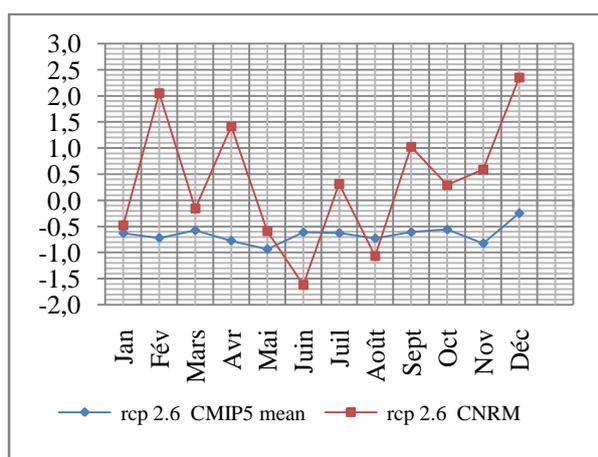
ANNEXES

Annexe 1 : ANOMALIES POUR UNE ANNEE SECHE, HUMIDE ET L'ANNEE 2050

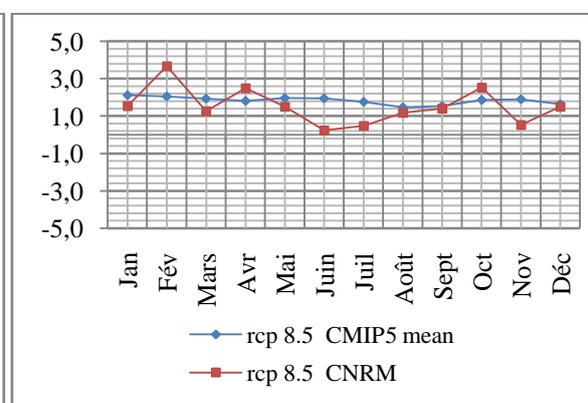
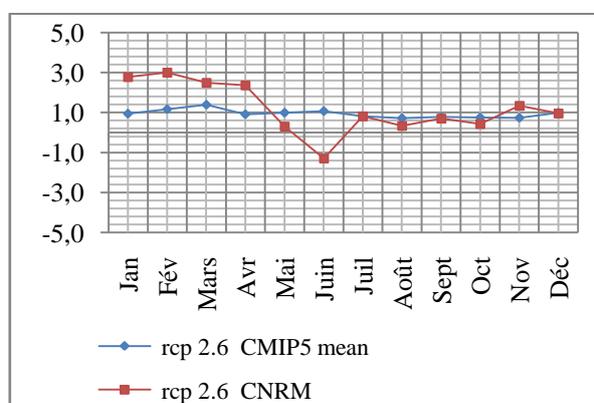
1.1. Anomalies des températures



Anomalies des températures projetées pour l'année sèche 1982

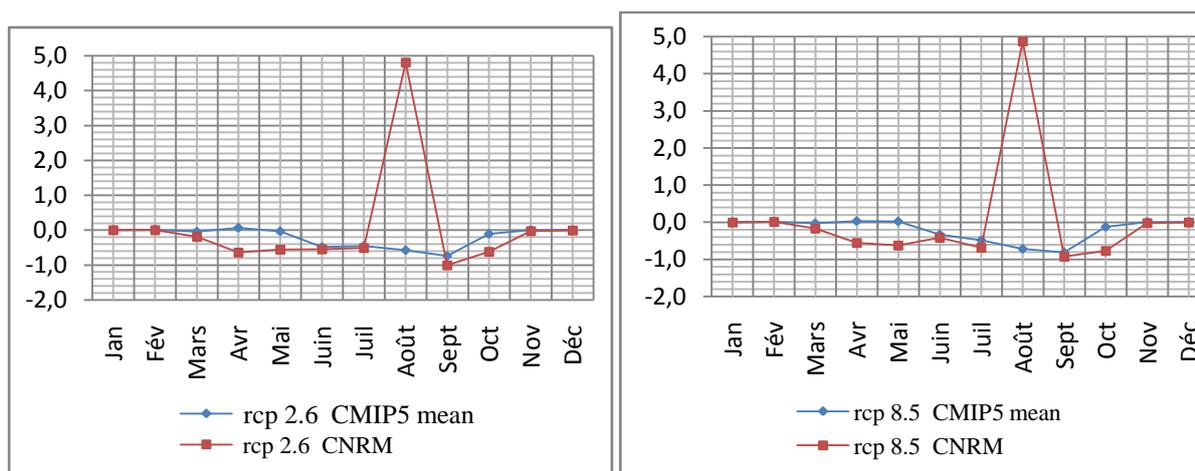


Anomalies des températures projetées pour l'année humide 1994

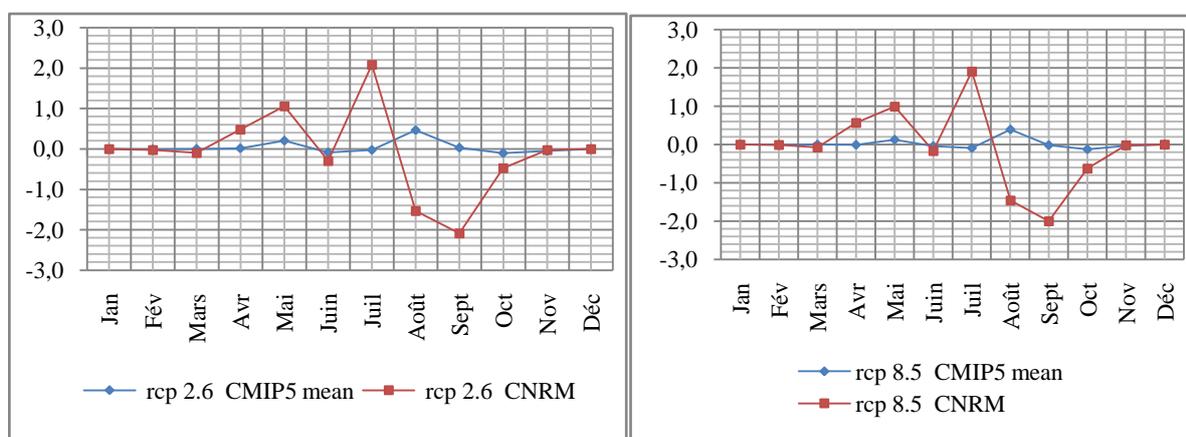


Anomalies des températures projetées pour l'année 2050

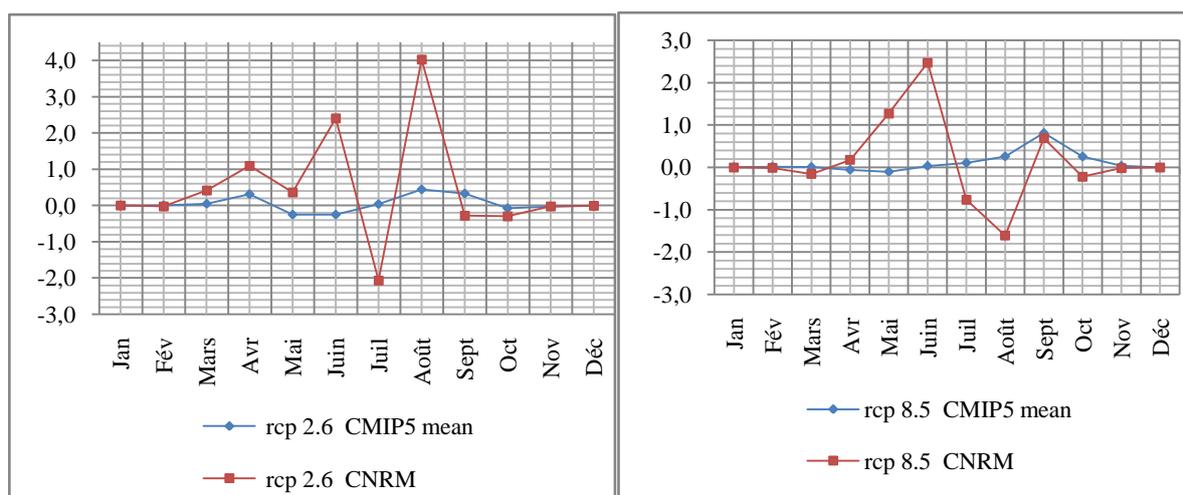
1.2. Anomalies de la pluviométrie



Anomalies des pluviométries projetées pour l'année sèche 1982

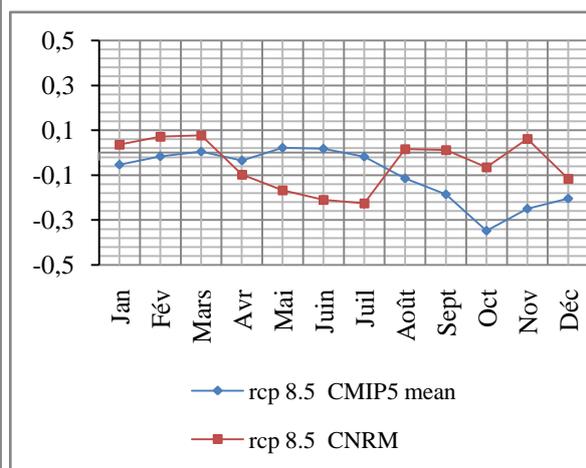
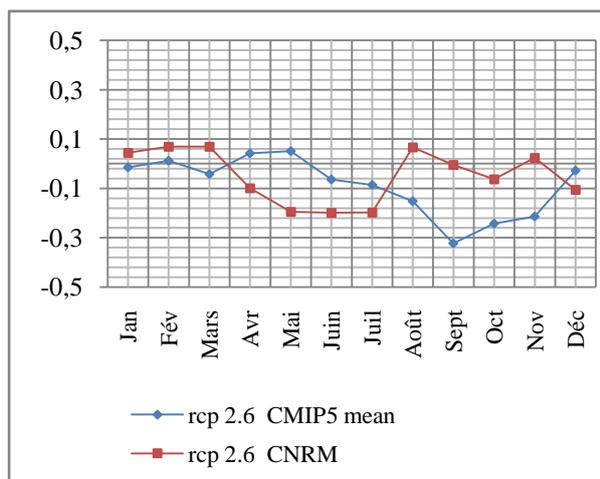


Anomalies des pluviométries projetées pour l'année humide 1994

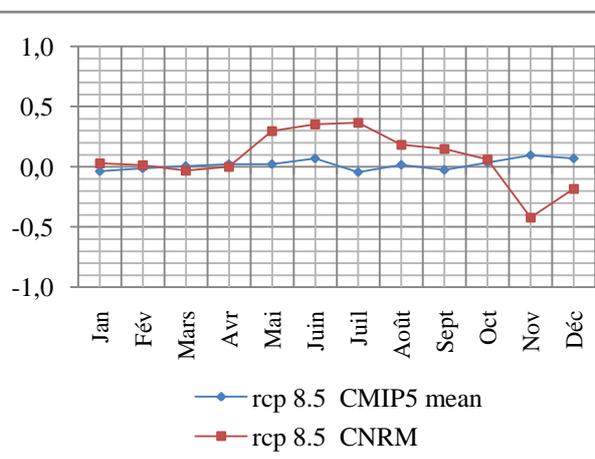
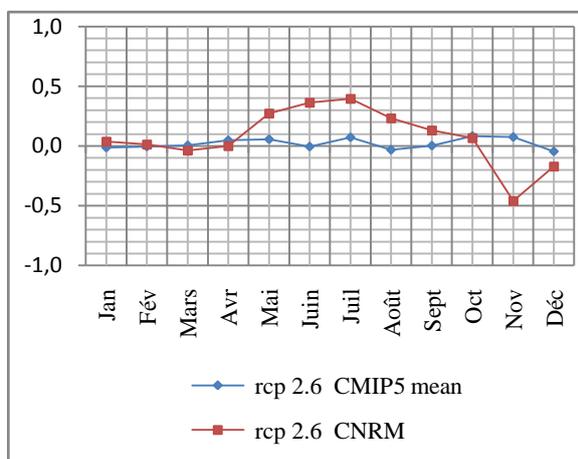


Anomalies des pluviométries projetées pour l'année 2050

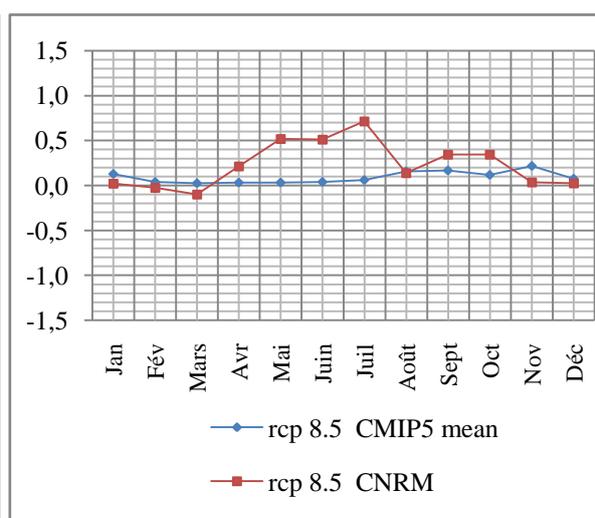
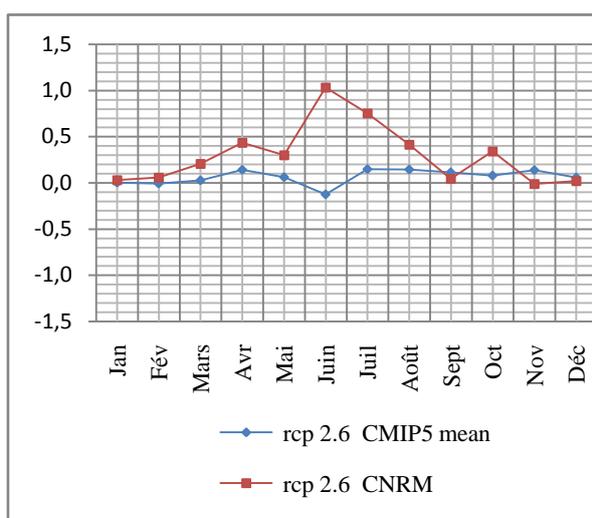
1.3. Anomalies des ETP



Anomalie des ETP projetées pour l'année sèche 1982



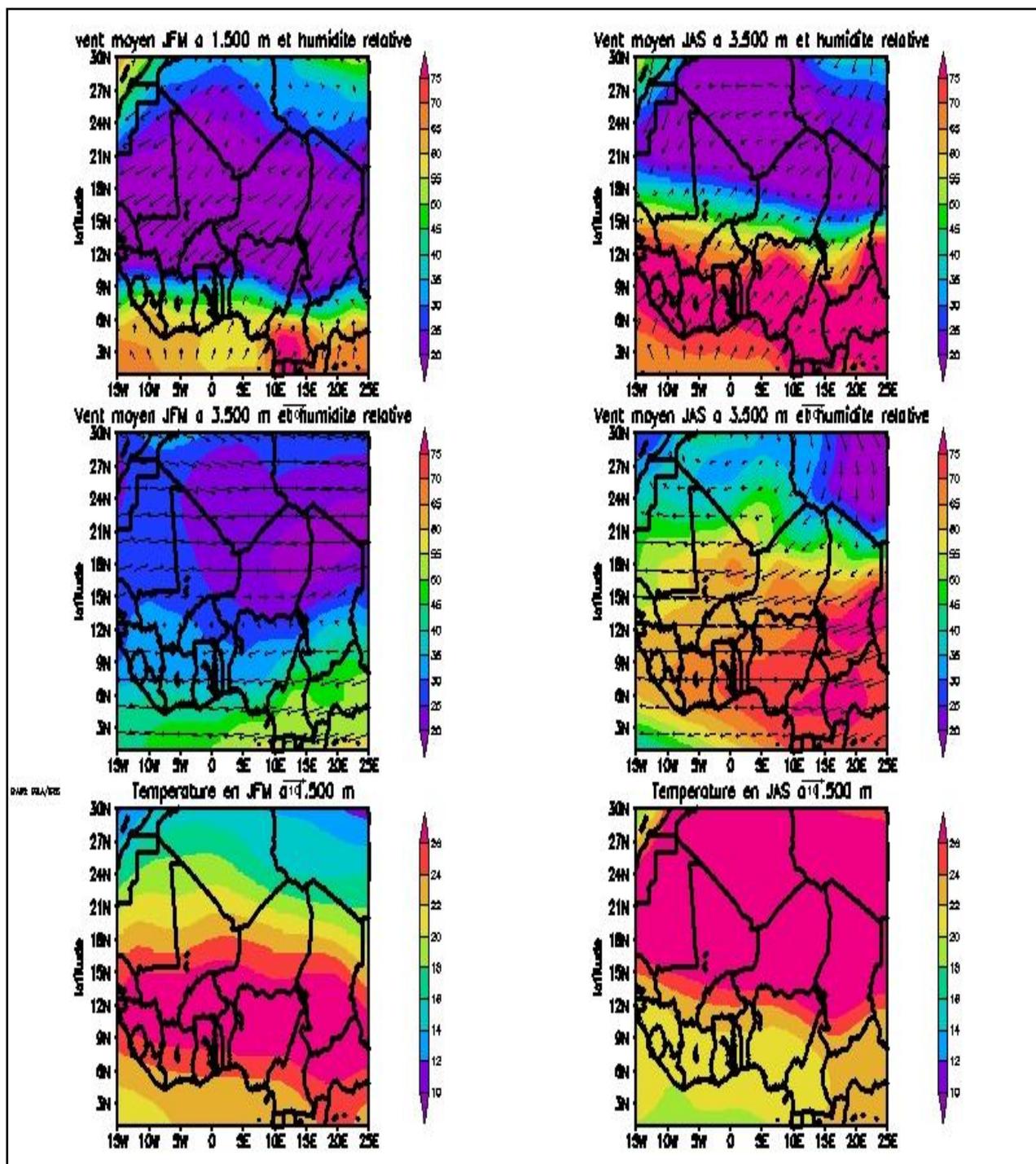
Anomalie des ETP projetées pour l'année humide 1994



Anomalie des ETP projetées pour l'année 2050

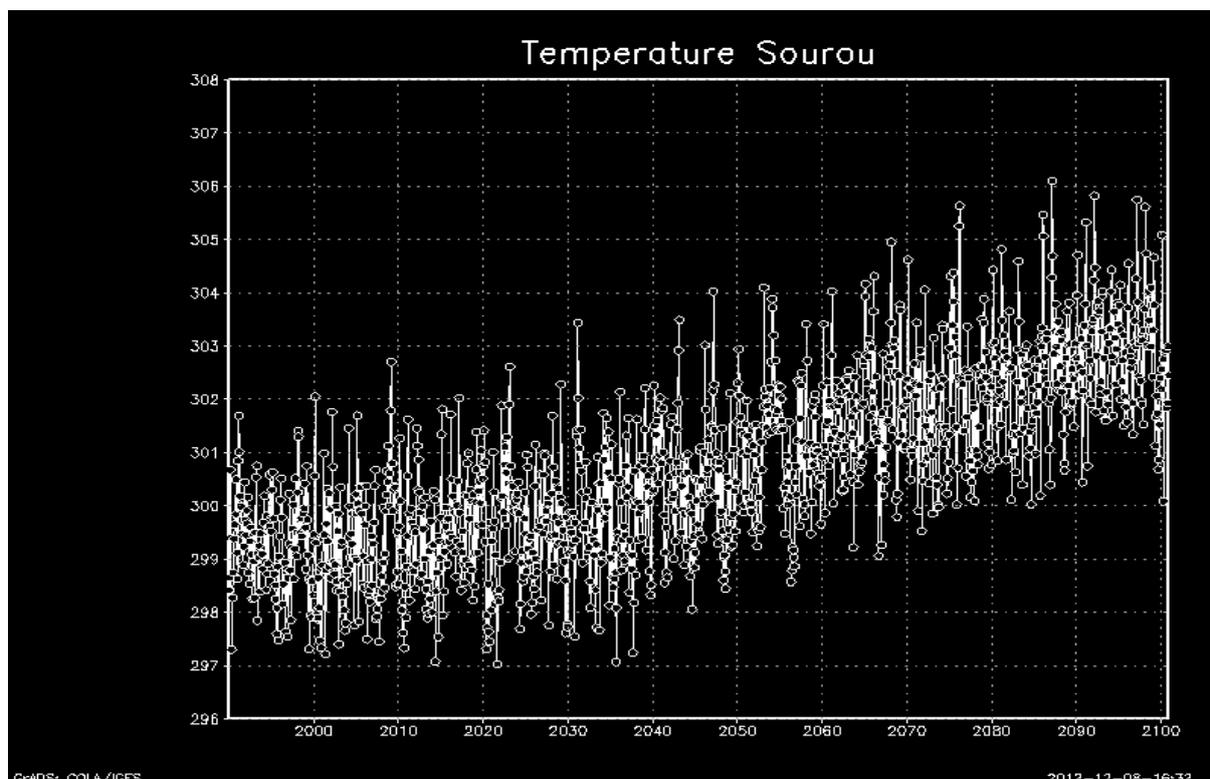
Annexe 2 : PROJECTION GRADS

2.1. Projections de GRADS sur le Burkina et la zone d'étude



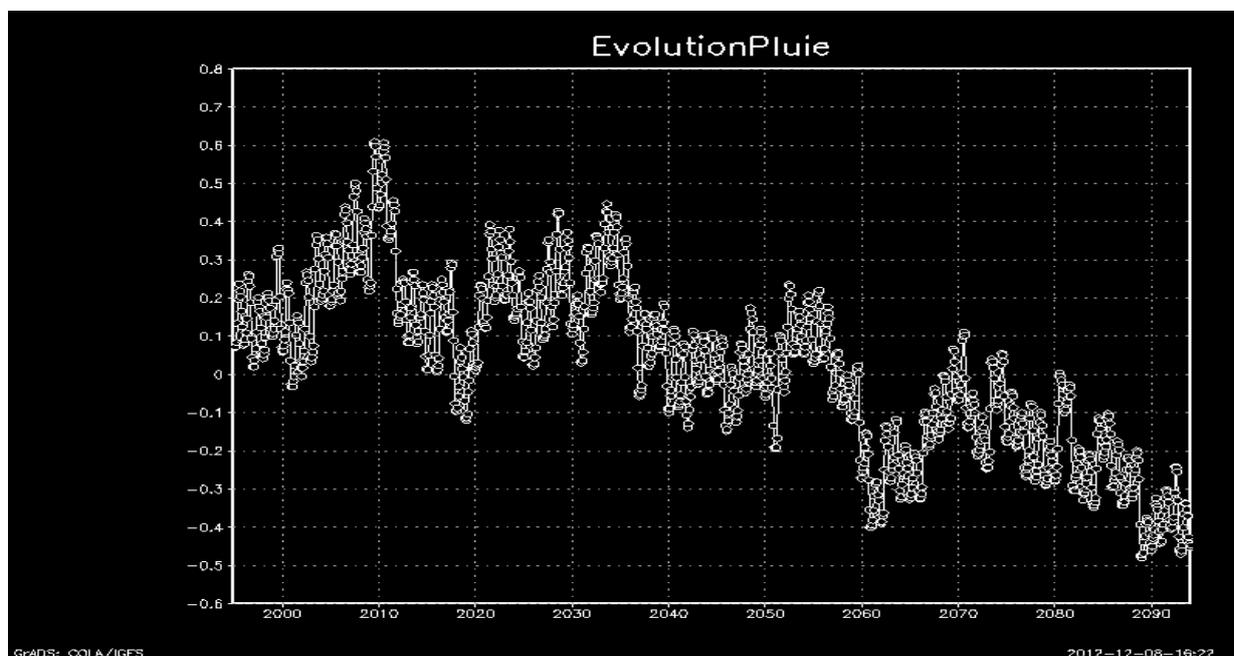
Source Dior Diallo 2013

2.2. Projection de GRADS : Evolution de la température du Sourou



Source : Dior Diallo 2013

2.3. Projection de GRADS : Evolution de la pluviométrie du Sourou



Source Dior Diallo 2013

Annexe 3 : PROJECTIONS CLIMATIQUES

3.1. Températures : CMIP5 mean assorties de scénarii RCP 2.6 et 8.5

RCP2.6	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
2011	25,07	28,31	31,17	33,87	33,68	30,63	28,43	27,67	28,35	30,13	29,00	25,57
2012	24,99	28,54	31,45	33,81	33,79	31,09	29,07	28,11	28,72	30,14	28,88	25,71
2013	25,39	28,28	31,49	34,01	33,90	31,00	28,71	27,79	28,28	30,28	28,90	25,93
2014	25,49	28,31	31,48	33,96	34,13	31,34	28,61	27,87	28,37	30,18	28,56	25,71
2015	25,15	28,45	31,42	34,14	33,97	31,09	28,73	27,75	28,36	30,15	28,79	25,79
2016	25,66	28,72	31,65	34,15	33,81	31,02	28,53	27,66	28,45	30,34	29,03	25,56
2017	25,24	28,48	31,90	34,03	33,69	30,97	28,82	27,86	28,32	30,23	28,99	25,77
2018	25,14	28,19	31,44	33,94	33,96	31,35	28,59	27,91	28,40	30,10	28,51	25,42
2019	25,29	28,25	31,70	34,18	33,85	31,21	28,56	27,79	28,42	30,53	28,78	25,45
2020	25,40	28,31	31,52	33,93	34,03	31,07	28,67	27,90	28,30	30,08	28,59	25,48
2021	25,05	28,41	31,84	34,32	34,26	31,35	28,88	27,97	28,51	30,42	29,05	25,89
2022	25,55	28,67	32,04	33,94	33,85	31,34	28,88	28,03	28,44	30,47	29,33	26,14
2023	25,38	28,97	31,78	34,16	33,99	31,39	28,90	28,07	28,51	30,39	29,14	25,92
2024	25,45	28,74	31,93	34,09	34,17	31,31	28,91	28,10	28,61	30,31	29,17	26,17
2025	25,79	28,80	32,15	34,41	34,10	31,75	28,95	27,90	28,47	30,34	29,06	26,14
2026	25,74	29,00	32,02	34,42	34,04	31,38	29,02	28,41	28,60	30,63	29,57	26,22
2027	25,59	28,84	31,67	34,29	34,30	31,46	28,88	28,11	28,64	30,47	28,96	25,86
2028	25,52	28,56	31,88	34,32	34,30	31,58	28,97	28,11	28,76	30,56	29,23	26,34
2029	26,07	28,52	31,48	34,24	34,28	31,41	28,88	28,14	28,71	30,43	29,01	25,95
2030	25,58	28,53	31,79	34,34	34,19	31,42	28,92	27,98	28,51	30,54	28,99	26,01
2031	25,63	29,21	32,16	34,50	34,11	31,33	28,88	28,07	28,67	30,57	29,44	26,03
2032	25,57	28,60	31,92	34,55	34,26	31,90	29,11	27,85	28,37	30,49	29,28	25,98
2033	25,15	28,29	31,89	34,58	34,35	31,49	28,91	28,20	29,02	30,58	29,14	25,86
2034	25,30	28,44	31,65	34,42	34,10	31,50	28,86	28,11	28,71	30,54	28,97	25,56
2035	26,00	28,84	31,90	34,79	34,51	31,57	29,12	28,02	28,58	30,54	29,08	25,83
2036	25,50	28,77	31,95	34,62	34,56	31,64	29,06	28,02	28,74	30,57	28,97	26,12
2037	25,53	28,64	32,15	34,41	34,48	32,01	29,19	28,29	28,67	30,74	29,47	25,73
2038	25,87	28,91	31,92	34,38	34,53	31,51	29,19	28,38	28,96	30,56	29,53	26,27
2039	25,62	28,92	32,26	34,66	34,60	31,62	29,20	28,10	28,74	30,77	29,43	26,49
2040	25,92	28,83	31,92	34,47	34,29	31,54	29,21	28,37	28,78	30,63	29,31	26,50
2041	25,47	29,08	31,90	34,78	34,72	32,09	29,16	28,08	28,77	30,86	29,52	25,85
2042	25,82	28,67	32,23	34,77	34,57	31,63	29,33	28,03	28,52	30,29	29,58	26,16
2043	25,81	28,87	32,20	34,34	34,19	31,43	29,10	28,19	28,66	30,67	29,68	26,20
2044	25,88	28,87	32,40	34,65	34,05	31,80	29,06	28,20	28,74	30,54	28,98	25,63
2045	25,53	28,88	31,93	34,74	34,48	31,47	29,08	27,96	28,66	30,56	29,26	26,06
2046	25,81	29,30	32,25	34,71	34,44	31,91	29,47	28,06	28,60	30,99	29,34	25,84
2047	25,60	28,95	31,98	34,88	34,50	31,66	29,37	28,38	28,96	30,93	29,46	26,24
2048	25,53	29,08	31,98	34,84	34,75	31,74	29,20	28,15	28,63	30,85	29,64	26,27
2049	25,48	28,73	32,14	34,68	34,96	31,95	29,30	28,61	29,11	31,01	29,65	26,37
2050	25,85	29,27	32,60	34,62	34,59	31,87	29,21	28,32	28,89	30,65	29,23	26,29

Impacts des changements climatiques sur les ressources en eau du Sourou au Burkina Faso

RCP8.5	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
2010	24,66	28,26	31,52	33,67	33,94	30,81	28,42	27,74	28,19	30,16	28,93	25,26
2011	24,95	27,97	31,29	33,67	33,42	30,66	28,19	27,55	28,05	29,82	28,36	25,19
2012	24,51	28,03	31,17	33,80	33,79	30,67	28,40	27,56	28,11	29,91	28,42	25,01
2013	25,05	28,56	31,27	34,12	33,88	30,73	28,42	27,67	28,20	29,82	28,58	25,28
2014	24,99	28,23	31,35	33,75	33,73	30,96	28,56	27,72	28,34	30,15	28,79	25,55
2015	25,43	28,63	31,74	34,09	33,63	30,94	28,65	27,84	28,31	30,25	28,76	25,90
2016	24,95	28,39	31,59	33,81	33,75	30,84	28,39	27,97	28,45	30,03	28,58	25,24
2017	25,13	28,93	31,19	34,17	33,88	31,06	28,56	27,58	28,28	30,16	28,67	25,30
2018	25,31	28,21	31,48	34,02	33,84	31,11	28,62	27,85	28,38	30,29	28,87	26,01
2019	25,35	28,30	31,36	33,95	33,73	31,07	28,54	27,98	28,31	29,84	28,73	25,79
2020	25,08	28,36	31,80	34,14	33,80	31,40	28,75	27,96	28,49	30,20	28,94	25,71
2021	25,57	28,42	31,72	34,08	34,05	31,26	28,66	27,92	28,52	30,38	28,81	25,99
2022	25,51	28,72	31,84	34,19	33,79	31,22	28,63	27,78	28,66	30,62	29,07	25,96
2023	25,70	28,44	31,56	34,02	34,03	31,53	28,95	27,79	28,31	30,23	28,71	25,67
2024	25,52	28,42	31,74	33,94	33,95	31,13	28,92	27,72	28,42	30,37	29,00	25,88
2025	25,31	28,93	31,73	34,62	34,23	31,27	29,23	28,16	28,70	30,68	29,17	25,85
2026	25,72	28,97	31,85	34,48	34,35	31,61	29,05	28,30	28,57	30,26	28,86	26,01
2027	24,96	28,68	32,02	34,34	34,28	31,28	28,79	28,05	28,61	30,67	29,21	25,92
2028	25,71	28,77	32,07	34,49	34,53	31,61	29,13	28,30	28,78	30,50	29,44	25,85
2029	25,05	28,52	31,55	34,62	34,10	31,64	29,17	28,07	28,78	30,74	29,50	26,12
2030	25,59	28,96	32,18	34,40	34,15	31,50	29,29	28,28	28,89	30,84	29,40	26,34
2031	25,74	29,06	32,02	34,62	34,63	31,74	29,24	28,11	28,80	31,06	29,48	26,05
2032	25,97	28,95	31,89	34,72	34,88	31,83	29,09	28,08	28,95	30,51	29,43	26,35
2033	25,71	28,91	32,40	34,67	34,46	31,79	29,28	28,45	28,89	30,74	29,42	26,19
2034	26,06	29,53	32,58	34,83	34,51	31,96	29,60	28,64	28,99	31,15	29,73	26,34
2035	25,64	28,87	31,89	34,76	34,70	31,78	29,05	28,40	28,89	30,63	29,46	26,16
2036	25,78	28,93	32,20	34,79	34,89	31,90	29,26	28,29	28,91	30,90	29,64	26,33
2037	26,04	29,33	32,07	34,73	34,86	31,85	29,31	28,39	29,08	31,12	29,91	26,66
2038	25,65	28,93	32,27	35,01	34,41	31,79	29,46	28,47	28,98	30,73	29,62	26,53
2039	25,96	29,06	32,90	35,14	34,83	32,11	29,50	28,50	29,31	31,15	29,86	26,60
2040	26,09	29,48	32,63	35,01	34,86	31,93	29,55	28,60	29,41	31,12	29,85	27,06
2041	26,12	29,64	32,65	35,23	34,84	32,16	29,73	28,55	29,28	31,40	30,40	26,55
2042	26,38	29,43	32,38	35,10	35,04	32,14	29,49	28,60	29,39	31,30	29,90	26,90
2043	26,22	29,06	32,73	35,38	35,15	32,29	29,96	29,25	29,69	31,66	30,21	26,81
2044	26,64	29,77	33,40	35,57	35,29	32,45	29,84	28,63	29,22	31,09	29,86	26,73
2045	26,46	29,03	32,56	34,95	35,13	32,17	29,52	28,72	29,37	31,27	30,49	26,71
2046	26,51	29,63	32,76	35,37	35,07	32,46	29,77	28,83	29,52	31,51	30,29	27,23
2047	26,52	29,83	33,06	35,04	35,08	32,59	29,89	29,17	29,66	31,80	30,62	27,05
2048	26,70	29,96	33,03	35,62	35,70	32,49	29,84	28,76	29,42	31,32	30,70	27,16
2049	26,62	29,95	33,11	35,21	35,29	32,53	29,77	28,81	29,81	31,88	30,53	27,20
2050	27,02	30,15	33,12	35,51	35,56	32,75	30,16	29,07	29,64	31,76	30,40	26,93

3.2. Températures du modèle CNRM assorties de scénarii RCP 2.6 et 8.5

RCP2.6	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
2010	28,10	27,68	32,32	32,81	34,52	31,70	29,17	27,26	29,25	30,38	29,46	26,03
2011	24,25	29,18	30,92	34,87	33,39	30,89	30,25	28,15	28,42	31,38	28,79	26,72
2012	26,69	27,27	31,16	34,38	34,46	30,95	29,55	28,69	29,14	29,44	26,88	25,98
2013	26,49	26,96	30,03	33,32	34,95	32,27	29,72	27,25	27,37	30,76	29,02	26,68
2014	26,27	27,56	32,35	35,38	33,42	29,98	27,01	27,94	28,67	30,20	29,04	24,69
2015	24,55	30,43	30,95	34,92	33,25	28,05	27,45	27,11	27,57	29,47	28,60	24,26
2016	24,81	29,81	32,72	34,51	33,72	30,72	28,15	27,42	29,26	30,75	29,34	24,54
2017	25,28	25,13	31,56	34,72	33,32	32,29	28,29	27,81	27,24	30,36	28,90	26,26
2018	25,00	28,29	32,08	35,55	32,75	29,55	27,61	28,35	28,98	30,74	29,18	26,86
2019	23,88	29,36	32,62	32,86	33,98	31,91	27,23	29,21	27,78	28,97	27,65	25,25
2020	26,96	31,39	32,70	34,50	34,88	31,11	28,67	27,37	27,31	30,93	29,21	25,41
2021	27,27	29,32	31,01	35,10	35,23	29,55	28,12	28,16	27,25	31,49	29,28	24,98
2022	26,16	28,31	32,71	34,18	34,63	31,08	28,00	27,32	28,19	31,13	29,67	26,42
2023	25,18	27,06	33,39	33,99	35,29	30,63	29,46	27,00	27,94	30,91	29,32	26,15
2024	24,38	29,30	33,22	34,92	34,52	29,18	28,18	27,97	28,88	31,09	30,20	25,69
2025	23,98	28,06	31,24	34,92	34,87	32,03	29,88	28,41	29,23	30,55	29,99	24,22
2026	25,60	28,23	33,31	35,13	34,79	33,79	28,98	29,20	29,03	29,53	30,81	24,83
2027	24,93	29,47	31,82	33,15	33,66	31,98	31,03	29,53	29,09	30,85	29,90	25,33
2028	25,94	29,79	32,32	35,47	35,33	32,99	28,40	28,34	29,05	30,14	28,23	26,10
2029	27,92	28,85	30,40	34,95	34,54	31,91	28,21	27,89	29,62	30,58	30,19	26,08
2030	25,75	30,01	30,29	33,78	34,98	31,49	29,52	27,49	27,42	30,32	29,26	25,70
2031	25,52	31,77	32,73	36,20	35,38	33,08	30,32	29,67	28,92	30,53	30,20	27,50
2032	25,30	27,70	34,34	34,99	34,53	32,18	29,68	29,18	28,60	30,49	29,08	25,44
2033	26,22	29,03	30,82	35,36	35,34	31,89	29,79	28,46	28,15	30,00	28,55	25,31
2034	26,02	30,25	31,79	34,11	34,72	30,23	26,68	27,74	28,97	30,45	28,23	26,19
2035	24,00	27,48	30,72	33,74	34,45	31,53	28,05	28,21	28,36	31,67	29,34	25,14
2036	26,36	30,94	31,85	35,31	35,30	33,06	30,10	27,84	28,33	30,23	27,98	25,72
2037	25,32	31,34	31,25	32,56	33,41	32,45	29,44	28,91	27,46	29,99	29,06	26,07
2038	25,31	29,11	31,29	34,04	35,05	33,06	30,14	29,07	29,87	32,28	29,28	25,74
2039	26,13	30,95	33,17	35,32	35,42	32,30	28,44	27,75	28,66	30,81	31,36	28,06
2040	25,96	29,66	31,16	35,63	33,78	32,11	28,70	29,94	28,79	30,62	28,83	27,76
2041	27,30	28,72	30,29	34,41	34,73	33,30	29,60	28,10	28,36	30,45	29,78	26,38
2042	25,18	29,18	29,72	35,50	34,58	32,12	28,92	28,96	27,50	29,34	30,16	26,00
2043	26,66	30,26	31,82	36,15	34,53	31,99	30,92	28,69	28,61	31,27	29,96	24,24
2044	26,50	30,74	32,13	34,44	34,51	31,84	29,60	29,11	28,55	29,95	29,83	26,19
2045	26,59	30,74	31,79	33,41	34,13	31,04	28,32	27,41	28,41	30,52	31,22	26,14
2046	26,52	28,46	34,17	35,28	35,62	31,49	28,41	27,86	27,67	31,70	28,20	26,75
2047	28,31	28,80	31,63	34,12	34,25	31,49	29,53	28,30	29,03	30,96	28,12	27,03
2048	26,06	28,99	33,22	34,31	34,31	32,44	30,02	28,37	28,59	31,90	29,88	25,24
2049	25,41	31,38	32,58	35,38	32,66	32,35	29,60	28,87	29,80	29,80	29,31	26,32
2050	27,69	31,10	33,70	36,06	33,91	29,50	29,22	27,93	28,81	30,33	29,84	26,25

Impacts des changements climatiques sur les ressources en eau du Sourou au Burkina Faso

RCP8.5	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
2010	25,10	28,38	31,23	35,13	35,70	32,18	29,93	27,84	29,63	31,10	28,65	24,27
2011	25,97	28,30	31,48	33,73	35,03	32,90	29,78	29,13	28,34	31,43	29,70	25,45
2012	23,87	29,83	30,44	35,05	34,63	31,75	27,53	27,07	27,48	30,82	28,22	27,27
2013	23,00	27,15	32,02	34,68	34,08	31,74	28,64	27,47	28,37	29,90	29,08	25,11
2014	25,81	30,31	30,75	35,44	35,05	29,18	28,15	28,31	28,06	30,02	29,11	26,52
2015	25,35	28,03	33,94	34,41	34,72	30,41	28,89	26,72	27,79	29,59	29,83	25,71
2016	26,28	27,92	28,69	34,18	34,37	31,11	28,52	27,75	28,68	30,94	29,35	26,02
2017	24,59	27,74	31,52	33,89	33,98	30,37	28,19	28,31	29,13	30,58	28,86	25,94
2018	24,27	29,23	32,92	35,22	33,64	32,22	29,20	27,81	27,86	31,28	29,42	25,59
2019	24,78	29,82	32,31	33,24	34,73	30,43	29,42	29,58	27,77	30,81	28,85	27,31
2020	25,17	28,13	32,11	34,41	34,88	31,64	29,00	27,47	28,36	31,34	29,23	26,10
2021	24,96	28,33	31,29	34,57	33,79	30,78	27,85	27,64	28,59	29,83	30,38	26,05
2022	24,76	29,20	32,31	35,16	33,83	29,11	29,66	27,72	28,93	31,48	29,96	26,71
2023	25,25	28,57	31,67	33,24	34,03	31,90	29,21	29,27	28,43	30,54	29,85	26,37
2024	27,53	27,55	33,73	34,83	32,41	30,82	27,06	27,51	27,77	29,57	28,81	26,79
2025	25,70	30,49	33,30	34,83	34,87	30,56	27,39	27,19	27,52	29,68	29,89	28,16
2026	26,85	27,26	32,31	35,00	34,33	33,48	29,90	29,06	28,56	30,00	30,25	27,35
2027	27,46	28,65	32,10	34,61	33,35	31,21	28,71	28,25	27,72	29,78	29,35	26,04
2028	23,88	27,60	33,49	34,49	34,43	31,28	27,73	27,37	28,12	30,01	29,69	26,20
2029	24,91	26,86	33,09	35,56	35,56	30,95	29,58	28,69	29,83	32,09	29,00	27,34
2030	24,23	27,35	31,88	34,01	34,79	31,29	29,48	28,24	28,71	30,23	30,54	28,42
2031	25,11	28,33	31,66	34,82	35,34	32,34	29,11	28,85	29,27	31,87	30,54	27,43
2032	26,37	29,78	33,07	35,83	33,64	30,63	30,17	27,47	29,86	32,89	30,32	26,26
2033	27,22	30,36	32,88	35,17	34,48	32,95	30,69	29,92	28,58	30,36	28,82	26,23
2034	27,68	30,15	31,49	34,78	34,84	30,42	28,14	27,91	29,57	30,17	28,04	25,91
2035	26,81	29,18	31,96	35,76	35,22	33,52	30,15	28,08	29,14	29,65	29,10	28,06
2036	25,51	31,05	30,55	35,69	36,27	31,65	30,14	27,35	29,58	31,97	31,17	26,58
2037	24,46	27,88	31,93	35,69	34,75	31,57	29,25	29,41	30,09	30,47	28,94	26,77
2038	28,04	29,67	31,25	36,19	34,11	33,09	28,97	27,90	29,58	30,53	28,69	27,95
2039	23,77	30,37	32,45	35,89	35,14	32,83	27,77	28,24	28,66	31,96	29,79	28,34
2040	27,54	28,02	32,45	35,01	35,47	31,68	28,24	28,08	29,43	28,68	27,62	27,71
2041	26,47	30,47	32,82	34,50	34,39	32,89	29,03	28,02	29,52	33,00	30,87	26,85
2042	24,90	28,84	34,62	35,02	34,84	32,73	28,52	28,15	28,32	31,62	29,78	29,64
2043	27,10	29,11	31,45	35,89	35,65	33,05	29,57	30,57	31,39	32,80	31,01	28,17
2044	28,87	31,78	32,73	36,71	35,83	32,71	28,31	28,32	29,77	32,32	30,02	25,45
2045	27,09	30,28	34,89	34,27	35,64	35,30	27,65	29,65	29,94	29,99	28,28	26,68
2046	25,40	30,70	32,10	36,04	35,14	31,76	29,38	28,24	29,12	31,60	29,48	26,72
2047	27,16	30,74	33,55	36,75	35,56	32,76	31,02	29,26	30,63	32,67	28,57	26,26
2048	25,68	30,84	32,24	33,78	34,54	33,02	30,42	29,67	29,36	31,39	29,72	28,16
2049	25,77	27,12	33,49	35,03	35,36	33,32	29,39	30,60	30,03	33,77	30,38	28,57
2050	26,44	31,76	32,47	36,19	35,09	31,04	28,88	28,78	29,49	32,42	29,03	26,81

3.3. Pluie (mm) : CMIP5 mean assorties de scénarii RCP 2.6 et 8.5

RCP2.6	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
2010	0,1	1,3	6,4	22,6	69,5	105,3	180,6	243,0	136,2	38,4	1,7	0,3
2011	0,1	1,3	6,4	22,6	70,2	106,6	185,7	251,6	137,2	38,8	1,7	0,3
2012	0,1	1,3	6,4	22,5	70,3	101,1	172,0	221,8	135,0	38,8	1,7	0,3
2013	0,1	1,3	6,4	22,5	70,3	103,4	174,4	244,9	139,0	38,8	1,7	0,3
2014	0,1	1,3	6,4	22,6	70,0	102,5	181,3	238,5	133,9	39,2	1,7	0,3
2015	0,1	1,3	6,4	22,6	70,0	104,7	182,6	242,5	137,3	38,9	1,7	0,3
2016	0,1	1,3	6,4	22,5	70,9	102,9	187,1	245,7	136,2	38,5	1,7	0,3
2017	0,1	1,3	6,4	22,6	71,5	105,8	178,5	235,3	139,6	38,8	1,7	0,3
2018	0,1	1,3	6,4	22,5	70,4	103,3	188,5	245,1	140,8	38,9	1,7	0,3
2019	0,1	1,3	6,4	22,5	70,1	104,9	192,5	250,9	138,8	38,9	1,7	0,3
2020	0,1	1,3	6,4	22,6	69,7	105,8	182,1	240,5	143,8	38,9	1,7	0,3
2021	0,1	1,3	6,4	22,5	70,0	104,4	179,2	233,6	138,7	38,6	1,7	0,3
2022	0,1	1,3	6,4	22,6	69,9	103,1	181,2	243,5	143,7	38,3	1,7	0,3
2023	0,1	1,3	6,4	22,6	70,4	102,6	184,3	229,0	143,0	38,4	1,7	0,3
2024	0,1	1,3	6,4	22,5	69,9	102,5	180,1	236,9	137,7	39,2	1,7	0,3
2025	0,1	1,3	6,4	22,5	70,8	100,3	180,9	249,3	148,3	39,1	1,7	0,3
2026	0,1	1,3	6,4	22,6	70,8	102,9	182,3	229,5	137,4	38,3	1,7	0,3
2027	0,1	1,3	6,4	22,5	70,2	101,7	183,1	246,0	141,3	39,1	1,7	0,3
2028	0,1	1,3	6,4	22,5	69,6	101,7	176,9	244,4	137,1	38,5	1,7	0,3
2029	0,1	1,3	6,4	22,5	69,9	104,8	186,2	242,0	139,0	39,0	1,7	0,3
2030	0,1	1,3	6,4	22,6	70,4	101,5	184,2	241,3	144,3	38,3	1,7	0,3
2031	0,1	1,3	6,4	22,6	70,4	103,3	185,5	238,2	135,7	38,7	1,7	0,3
2032	0,1	1,3	6,4	22,5	70,4	98,2	181,8	257,1	142,1	38,2	1,7	0,3
2033	0,1	1,3	6,4	22,4	70,2	103,3	188,3	236,5	134,1	39,7	1,7	0,3
2034	0,1	1,3	6,4	22,5	70,2	101,4	182,9	243,9	142,8	38,9	1,7	0,3
2035	0,1	1,3	6,4	22,4	69,7	102,2	187,5	253,2	140,0	39,1	1,7	0,3
2036	0,1	1,3	6,4	22,5	70,2	100,5	182,7	255,2	144,6	38,5	1,7	0,3
2037	0,1	1,3	6,4	22,5	69,6	99,9	185,8	237,6	147,0	38,5	1,7	0,3
2038	0,1	1,3	6,4	22,6	70,0	102,8	188,5	239,4	137,2	38,4	1,7	0,3
2039	0,1	1,3	6,4	22,5	69,5	102,8	183,3	253,2	142,1	38,6	1,7	0,3
2040	0,1	1,3	6,4	22,6	70,0	105,2	176,4	235,3	137,9	38,8	1,7	0,3
2041	0,1	1,3	6,4	22,5	69,8	100,8	192,0	251,4	143,8	39,6	1,7	0,3
2042	0,1	1,3	6,4	22,5	70,0	103,1	178,9	252,9	141,5	38,9	1,7	0,3
2043	0,1	1,3	6,4	22,6	70,5	101,3	187,9	238,6	142,1	38,9	1,7	0,3
2044	0,1	1,3	6,4	22,6	70,3	100,4	186,2	248,9	142,0	39,2	1,7	0,3
2045	0,1	1,3	6,4	22,4	69,9	106,7	183,6	249,5	139,5	38,9	1,7	0,3
2046	0,1	1,3	6,4	22,5	71,0	102,1	180,8	252,9	143,7	38,8	1,7	0,3
2047	0,1	1,3	6,4	22,5	70,0	102,1	181,4	239,0	137,6	38,8	1,7	0,3
2048	0,1	1,3	6,4	22,5	70,0	102,9	188,2	254,6	142,3	38,4	1,7	0,3
2049	0,1	1,3	6,4	22,5	68,5	102,0	180,2	242,3	138,2	39,1	1,7	0,3
2050	0,1	1,3	6,4	22,7	69,3	100,6	181,9	250,8	141,1	38,5	1,7	0,3

Impacts des changements climatiques sur les ressources en eau du Sourou au Burkina Faso

RCP8.5	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
2010	0,1	1,3	6,4	22,5	69,2	104,0	188,1	241,0	138,3	38,5	1,7	0,3
2011	0,1	1,3	6,4	22,6	70,5	102,8	182,5	237,9	137,4	38,8	1,7	0,3
2012	0,1	1,3	6,4	22,5	69,8	103,4	185,8	249,0	139,6	39,1	1,7	0,3
2013	0,1	1,3	6,4	22,6	69,9	105,0	182,6	234,9	135,9	38,7	1,7	0,3
2014	0,1	1,3	6,4	22,5	70,0	103,9	180,4	242,3	136,3	38,5	1,7	0,3
2015	0,1	1,3	6,4	22,5	70,6	104,5	184,0	242,1	135,8	38,2	1,7	0,3
2016	0,1	1,3	6,4	22,5	70,5	103,0	185,0	229,0	135,4	39,0	1,7	0,3
2017	0,1	1,3	6,4	22,6	70,4	100,3	182,5	237,4	138,8	38,8	1,7	0,3
2018	0,1	1,3	6,4	22,5	70,5	101,8	179,5	244,0	138,3	38,6	1,7	0,3
2019	0,1	1,3	6,4	22,5	71,0	102,5	176,8	231,6	139,0	38,5	1,7	0,3
2020	0,1	1,3	6,4	22,5	70,4	102,1	177,4	242,5	139,0	38,8	1,7	0,3
2021	0,1	1,3	6,4	22,5	70,2	102,5	188,5	247,3	136,9	39,0	1,7	0,3
2022	0,1	1,3	6,4	22,6	70,9	101,8	187,3	239,4	137,1	38,7	1,7	0,3
2023	0,1	1,3	6,4	22,5	69,8	99,8	183,6	246,9	139,7	38,8	1,7	0,3
2024	0,1	1,3	6,4	22,6	70,3	104,8	179,6	249,7	139,1	38,6	1,7	0,3
2025	0,1	1,3	6,4	22,5	70,3	104,0	176,5	229,2	141,9	38,2	1,7	0,3
2026	0,1	1,3	6,4	22,6	70,3	103,3	177,9	236,0	143,3	38,8	1,7	0,3
2027	0,1	1,3	6,4	22,6	69,9	104,8	188,9	247,1	143,3	38,9	1,7	0,3
2028	0,1	1,3	6,4	22,5	70,3	102,5	178,0	232,3	141,5	38,8	1,7	0,3
2029	0,1	1,3	6,4	22,6	70,2	100,1	186,1	237,6	141,4	38,5	1,7	0,3
2030	0,1	1,3	6,4	22,6	71,4	102,2	176,8	237,1	142,4	38,5	1,7	0,3
2031	0,1	1,3	6,4	22,5	69,7	103,7	181,5	239,3	140,6	38,7	1,7	0,3
2032	0,1	1,3	6,4	22,5	69,4	104,0	190,4	251,3	139,3	38,6	1,7	0,3
2033	0,1	1,3	6,4	22,6	69,6	102,8	190,9	238,5	142,4	39,2	1,7	0,3
2034	0,1	1,3	6,4	22,5	70,0	104,0	177,4	240,3	138,8	38,3	1,7	0,3
2035	0,1	1,3	6,4	22,4	69,7	104,0	188,9	254,2	144,0	38,7	1,7	0,3
2036	0,1	1,3	6,4	22,5	69,8	103,9	185,2	250,1	140,3	38,6	1,7	0,3
2037	0,1	1,3	6,4	22,6	70,2	102,6	182,8	249,6	137,3	38,8	1,7	0,3
2038	0,1	1,3	6,4	22,5	70,7	102,6	183,1	248,5	146,3	39,1	1,7	0,3
2039	0,1	1,3	6,4	22,5	70,3	102,8	184,6	244,0	138,2	39,2	1,7	0,3
2040	0,1	1,3	6,4	22,5	70,3	105,8	186,5	240,4	138,0	38,8	1,7	0,3
2041	0,1	1,3	6,4	22,5	69,8	101,0	179,1	244,0	140,2	39,0	1,7	0,3
2042	0,1	1,3	6,4	22,5	70,3	103,8	183,4	241,6	139,5	38,8	1,7	0,3
2043	0,1	1,3	6,4	22,6	70,0	101,7	179,5	237,1	139,8	39,2	1,7	0,3
2044	0,1	1,3	6,4	22,6	69,6	101,9	183,7	261,3	143,3	39,1	1,7	0,3
2045	0,1	1,3	6,4	22,6	69,6	104,4	181,1	245,9	145,4	39,1	1,7	0,3
2046	0,1	1,3	6,4	22,6	69,4	102,6	188,7	246,6	142,9	38,8	1,7	0,3
2047	0,1	1,3	6,4	22,6	69,7	99,9	182,0	243,3	140,9	38,9	1,7	0,3
2048	0,1	1,3	6,4	22,6	69,2	103,6	189,0	246,9	138,1	38,4	1,7	0,3
2049	0,1	1,3	6,4	22,5	69,9	101,0	183,1	247,2	141,8	39,1	1,7	0,3
2050	0,1	1,3	6,4	22,5	69,7	103,0	183,3	245,0	147,2	39,1	1,7	0,3

3.4. Pluie (mm) : CNRM assorties de scénarii RCP 2.6 et 8.5

RCP2.6	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
2010	0,1	1,3	6,4	22,1	68,5	117,7	151,7	689,4	108,7	38,5	1,7	0,3
2011	0,1	1,3	6,4	22,3	69,6	98,8	151,8	178,2	110,4	38,8	1,7	0,3
2012	0,1	1,3	6,4	23,9	65,7	99,3	148,3	150,3	143,1	41,8	1,7	0,3
2013	0,1	1,3	6,4	22,1	66,0	102,6	145,0	473,0	152,9	37,5	1,7	0,3
2014	0,1	1,3	6,5	22,5	70,4	97,8	175,6	171,8	118,4	40,1	1,7	0,3
2015	0,1	1,3	6,4	22,9	71,6	154,3	164,7	310,2	132,6	40,4	1,7	0,3
2016	0,1	1,3	6,4	22,2	77,0	117,7	228,6	235,7	103,5	38,1	1,7	0,3
2017	0,1	1,3	6,4	22,5	70,7	90,0	270,7	230,5	129,2	38,5	1,7	0,3
2018	0,1	1,3	6,4	22,5	86,7	108,8	209,9	201,6	109,1	39,3	1,7	0,3
2019	0,1	1,3	6,4	22,4	71,4	88,1	235,8	186,7	116,5	42,1	1,7	0,3
2020	0,1	1,3	6,4	22,8	68,2	138,0	177,9	223,6	158,0	36,1	1,7	0,3
2021	0,1	1,3	6,4	22,5	70,5	120,6	228,3	238,4	160,8	37,4	1,7	0,3
2022	0,1	1,3	6,4	22,7	71,1	99,4	225,7	232,2	140,4	38,4	1,7	0,3
2023	0,1	1,3	6,5	22,7	68,2	130,9	149,7	240,9	181,3	38,8	1,7	0,3
2024	0,1	1,3	6,4	23,0	73,3	113,6	198,4	167,7	111,1	38,1	1,7	0,3
2025	0,1	1,3	6,4	22,6	73,0	85,6	156,6	205,9	98,6	41,6	1,7	0,3
2026	0,1	1,3	6,4	23,1	64,9	97,4	204,2	121,3	133,6	39,6	1,7	0,3
2027	0,1	1,3	6,4	22,0	67,8	94,4	142,5	162,9	163,9	38,2	1,7	0,3
2028	0,1	1,3	6,4	23,4	65,0	94,9	185,0	190,3	129,1	38,3	1,7	0,3
2029	0,1	1,3	6,4	22,7	69,8	103,5	178,3	189,3	100,5	37,8	1,7	0,3
2030	0,1	1,3	6,4	22,2	69,9	105,2	211,7	235,3	144,9	39,6	1,7	0,3
2031	0,1	1,3	6,5	23,1	70,1	85,2	158,2	276,2	112,9	38,1	1,7	0,3
2032	0,1	1,3	6,5	22,2	69,0	94,6	143,5	177,5	136,1	37,4	1,7	0,3
2033	0,1	1,3	6,4	22,5	70,7	99,1	156,1	195,7	159,6	40,3	1,7	0,3
2034	0,1	1,3	6,4	22,3	71,3	128,7	225,7	289,5	106,1	41,7	1,7	0,3
2035	0,1	1,3	6,4	22,9	70,4	84,8	236,5	165,6	125,1	38,8	1,7	0,3
2036	0,1	1,3	6,4	22,4	69,7	88,9	177,3	312,6	159,3	38,0	1,7	0,3
2037	0,1	1,3	6,4	22,0	67,2	93,7	192,9	157,3	237,9	39,8	1,7	0,3
2038	0,1	1,3	6,4	22,0	69,3	94,3	178,2	148,9	108,9	39,1	1,7	0,3
2039	0,1	1,3	6,4	22,3	68,4	93,3	231,8	158,2	145,6	38,2	1,7	0,3
2040	0,1	1,3	6,4	22,6	70,6	89,8	171,3	143,1	126,0	37,0	1,7	0,3
2041	0,1	1,3	6,4	22,7	67,5	85,3	149,5	348,3	132,8	39,0	1,7	0,3
2042	0,1	1,3	6,4	22,6	68,0	98,8	169,4	317,5	177,5	39,0	1,7	0,3
2043	0,1	1,3	6,4	22,4	69,5	99,0	152,3	286,0	142,2	37,7	1,7	0,3
2044	0,1	1,3	6,4	22,6	68,8	96,8	152,9	187,7	182,1	38,6	1,7	0,3
2045	0,1	1,3	6,5	22,1	73,5	132,6	163,8	307,6	148,7	38,6	1,7	0,3
2046	0,1	1,3	6,4	22,6	65,6	140,4	249,6	335,5	187,9	36,5	1,7	0,3
2047	0,1	1,3	6,4	22,7	68,3	96,3	149,7	198,5	140,2	38,6	1,7	0,3
2048	0,1	1,3	6,5	22,0	72,2	89,0	140,1	272,3	116,5	38,5	1,7	0,3
2049	0,1	1,3	6,4	24,6	70,4	86,2	166,4	177,0	123,8	41,4	1,7	0,3
2050	0,1	1,3	6,5	23,0	71,0	122,5	140,0	361,0	133,7	38,0	1,7	0,3

Impacts des changements climatiques sur les ressources en eau du Sourou au Burkina Faso

RCP8.5	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
2010	0,1	1,3	6,4	22,2	67,7	100,2	156,1	160,1	126,5	37,4	1,7	0,3
2011	0,1	1,3	6,4	23,1	66,8	111,2	265,1	295,7	250,4	37,5	1,7	0,3
2012	0,1	1,3	6,4	22,4	70,5	85,5	188,5	250,5	110,4	39,0	1,7	0,3
2013	0,1	1,3	6,4	22,5	71,6	112,4	180,2	145,0	161,0	39,6	1,7	0,3
2014	0,1	1,3	6,5	22,2	69,6	107,7	185,7	433,2	118,8	41,2	1,7	0,3
2015	0,1	1,3	6,4	22,4	71,1	95,9	193,8	211,3	106,7	38,8	1,7	0,3
2016	0,1	1,3	6,4	22,4	70,4	116,8	185,0	196,1	99,4	39,0	1,7	0,3
2017	0,1	1,3	6,4	22,1	70,2	85,7	180,7	154,4	150,3	37,5	1,7	0,3
2018	0,1	1,3	6,4	22,4	72,3	100,6	141,9	165,3	136,8	39,5	1,7	0,3
2019	0,1	1,3	6,4	22,6	69,3	99,4	164,4	231,5	101,9	36,4	1,7	0,3
2020	0,1	1,3	6,4	23,3	67,9	102,8	143,6	376,2	125,2	36,6	1,7	0,3
2021	0,1	1,3	6,4	22,9	69,3	114,8	146,6	262,0	118,0	38,3	1,7	0,3
2022	0,1	1,3	6,4	22,1	73,2	112,3	124,3	168,0	153,8	36,2	1,7	0,3
2023	0,1	1,3	6,4	22,1	71,0	131,1	194,9	286,3	121,3	39,3	1,7	0,3
2024	0,1	1,3	6,4	23,9	72,7	98,9	207,2	192,3	120,0	36,9	1,7	0,3
2025	0,1	1,3	6,4	23,0	65,8	115,3	215,3	255,5	131,2	39,2	1,7	0,3
2026	0,1	1,3	6,4	22,4	70,0	94,3	157,2	190,8	180,8	39,6	1,7	0,3
2027	0,1	1,3	6,4	22,5	74,5	98,5	266,2	186,2	192,0	35,6	1,7	0,3
2028	0,1	1,3	6,5	22,4	72,1	97,4	229,2	405,5	134,5	40,9	1,7	0,3
2029	0,1	1,3	6,4	22,6	70,7	97,1	162,9	258,9	98,9	38,3	1,7	0,3
2030	0,1	1,3	6,4	22,8	74,5	90,7	168,0	305,8	139,6	51,8	1,7	0,3
2031	0,1	1,3	6,4	22,3	67,7	95,4	216,6	170,7	113,1	37,3	1,7	0,3
2032	0,1	1,3	6,5	23,3	73,2	98,4	157,1	246,8	101,4	37,6	1,7	0,3
2033	0,1	1,3	6,4	22,6	70,2	93,1	154,2	226,9	122,1	40,3	1,7	0,3
2034	0,1	1,3	6,4	22,3	69,4	109,5	169,8	195,8	107,5	38,5	1,7	0,3
2035	0,1	1,3	6,4	22,6	66,5	87,8	199,4	308,8	133,2	48,1	1,7	0,3
2036	0,1	1,3	6,4	22,5	71,3	96,9	154,6	427,7	115,1	37,1	1,7	0,3
2037	0,1	1,3	6,4	22,6	71,5	108,0	151,3	182,3	146,5	39,9	1,7	0,3
2038	0,1	1,3	6,4	22,7	70,4	95,3	238,7	237,7	114,0	39,1	1,7	0,3
2039	0,1	1,3	6,4	22,3	66,4	102,8	236,9	213,1	146,7	36,3	1,7	0,3
2040	0,1	1,3	6,4	22,8	70,6	101,4	249,5	176,9	143,2	48,4	1,7	0,3
2041	0,1	1,3	6,4	22,3	72,8	92,4	281,5	328,6	108,6	36,5	1,7	0,3
2042	0,1	1,3	6,5	22,4	66,0	105,6	161,6	358,0	134,2	39,8	1,7	0,3
2043	0,1	1,3	6,4	22,9	68,8	102,2	185,8	138,4	112,1	38,1	1,7	0,3
2044	0,1	1,3	6,4	23,2	69,7	97,8	167,3	178,8	120,3	38,4	1,7	0,3
2045	0,1	1,3	6,5	22,1	67,1	93,1	313,3	229,5	172,8	40,0	1,7	0,3
2046	0,1	1,3	6,4	22,3	66,4	103,0	174,7	185,1	168,0	38,5	1,7	0,3
2047	0,1	1,3	6,4	22,4	71,1	91,8	161,1	222,3	98,6	39,3	1,7	0,3
2048	0,1	1,3	6,4	22,2	74,6	95,5	162,0	210,6	139,3	38,9	1,7	0,3
2049	0,1	1,3	6,5	22,1	69,5	102,0	170,4	150,9	112,4	40,1	1,7	0,3
2050	0,1	1,3	6,4	22,6	73,6	123,0	166,0	187,4	145,6	38,2	1,7	0,3

3.5. ETP Penman (mm) : CMIP5 mean assorties de scénarii RCP 2.6 et 8.5

RCP2.6	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
2010	208	216	233	219	199	156	133	123	131	165	180	195
2011	207	214	235	216	197	162	133	121	133	174	189	196
2012	209	215	238	211	204	154	128	120	129	173	182	197
2013	209	216	237	219	198	160	131	119	133	171	190	195
2014	209	215	239	220	201	156	136	125	135	176	194	196
2015	210	217	240	219	199	157	138	124	135	170	195	196
2016	208	216	238	214	211	163	135	123	134	169	189	200
2017	210	219	244	221	203	160	135	123	134	179	188	195
2018	208	215	242	218	190	154	135	123	129	173	191	197
2019	210	217	237	216	205	152	138	123	136	170	193	206
2020	211	217	241	221	196	159	137	123	137	174	193	203
2021	209	216	241	214	194	153	133	126	136	174	187	197
2022	208	215	238	214	203	153	133	124	138	171	186	199
2023	209	216	237	217	212	161	133	121	135	174	190	194
2024	207	215	238	208	196	158	132	123	136	174	195	198
2025	210	217	238	217	210	152	132	122	134	173	190	196
2026	209	217	243	221	206	161	137	120	137	169	180	195
2027	208	217	238	207	205	159	136	122	138	176	191	198
2028	209	217	240	218	199	153	127	123	133	167	184	193
2029	207	214	239	217	200	160	133	121	133	169	192	201
2030	209	215	236	219	209	162	137	126	137	172	192	195
2031	208	216	237	221	206	157	132	125	137	176	187	197
2032	208	214	238	217	210	151	130	124	137	173	189	198
2033	210	217	236	209	206	156	138	125	131	171	192	201
2034	209	216	237	211	203	153	138	124	135	173	196	208
2035	208	215	238	211	195	152	133	123	135	176	192	204
2036	210	217	239	218	203	158	136	128	142	175	193	199
2037	211	217	239	219	195	150	139	125	137	174	191	203
2038	209	217	237	220	200	157	137	128	133	170	184	201
2039	210	217	243	218	200	156	131	123	140	177	194	200
2040	212	219	239	224	201	161	135	126	138	170	189	194
2041	206	213	233	210	202	151	135	128	136	172	190	207
2042	208	215	238	219	198	163	135	125	143	181	186	199
2043	211	217	249	224	212	162	139	129	141	174	188	196
2044	210	216	237	221	204	157	140	123	141	177	195	204
2045	210	217	240	210	199	163	135	123	140	174	196	203
2046	210	217	236	211	210	155	134	128	140	170	195	197
2047	209	216	241	217	196	156	135	125	138	170	190	196
2048	208	215	237	216	197	156	131	124	137	172	188	202
2049	209	218	241	221	189	155	136	124	134	165	191	196
2050	208	215	239	224	203	150	139	127	137	172	194	200

Impacts des changements climatiques sur les ressources en eau du Sourou au Burkina Faso

RCP8.5	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
2010	207	215	237	215	193	150	137	118	132	169	187	193
2011	208	216	237	215	203	159	133	122	129	168	184	200
2012	208	216	238	217	201	157	134	125	136	172	191	201
2013	212	216	239	216	206	157	137	125	137	169	191	198
2014	205	215	238	217	202	153	139	125	132	172	187	194
2015	206	215	237	214	200	160	137	123	136	170	188	198
2016	206	215	237	216	201	158	135	122	134	163	187	202
2017	211	215	236	215	201	156	132	120	133	169	180	197
2018	210	217	238	215	197	159	133	122	131	171	189	194
2019	207	216	238	217	196	160	134	125	132	169	187	202
2020	207	215	237	213	202	161	132	120	133	172	191	202
2021	213	216	238	214	202	158	135	123	135	170	190	198
2022	209	215	237	213	200	158	134	127	133	169	186	200
2023	206	216	238	214	197	153	130	121	133	163	189	203
2024	207	216	240	216	202	156	133	122	135	173	190	198
2025	208	216	239	216	200	160	142	126	135	174	193	194
2026	206	216	237	216	203	160	132	125	135	172	190	204
2027	208	216	236	215	205	154	138	126	135	172	191	200
2028	207	215	237	217	197	158	133	124	136	172	189	192
2029	212	216	238	217	206	160	135	118	132	167	187	197
2030	207	216	237	213	204	166	137	123	132	169	185	198
2031	207	216	238	216	202	156	133	123	135	176	188	200
2032	206	215	237	218	199	151	131	124	137	176	198	194
2033	208	216	239	216	204	155	133	124	131	177	191	198
2034	213	217	240	218	200	156	136	120	131	175	186	193
2035	206	215	238	214	193	155	133	124	134	176	197	209
2036	215	217	239	219	202	158	137	124	138	178	195	202
2037	210	217	239	219	210	159	133	126	138	176	194	195
2038	209	217	239	219	202	164	135	125	138	180	198	208
2039	211	218	239	216	199	157	133	123	135	178	197	204
2040	213	218	239	219	199	158	136	126	138	172	190	201
2041	210	217	238	215	200	154	131	120	136	176	188	198
2042	213	216	238	214	195	161	138	124	133	174	195	197
2043	208	216	238	216	205	159	135	125	136	172	190	201
2044	208	216	238	218	204	159	129	122	135	177	198	211
2045	210	217	239	217	205	156	134	128	137	180	199	203
2046	215	218	240	220	210	157	130	125	136	178	193	203
2047	212	218	241	221	212	162	132	122	136	180	193	202
2048	212	217	239	217	206	156	132	121	139	178	190	190
2049	210	216	239	219	197	157	132	125	138	172	194	203
2050	216	218	239	217	202	158	135	127	139	174	199	201

3.6. ETP Penman (mm) : CNRM assorties de scénarii RCP 2.6 et 8.5

RCP2.6	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
2010	204	216	232	208	171	150	124	136	142	176	183	194
2011	209	213	239	209	196	153	128	113	120	148	160	184
2012	207	215	228	214	276	145	141	110	118	171	203	234
2013	213	220	238	209	177	137	124	91	120	179	182	189
2014	210	216	239	215	227	160	142	136	131	177	198	215
2015	210	217	242	210	220	162	154	140	139	168	213	225
2016	214	219	243	211	187	163	166	140	156	176	168	185
2017	204	214	231	222	199	163	112	119	149	156	210	203
2018	210	218	238	216	193	163	192	144	135	180	194	194
2019	209	215	239	219	191	161	115	144	143	161	215	246
2020	214	221	244	219	218	148	152	152	144	170	158	187
2021	204	219	236	211	201	164	147	147	148	166	176	190
2022	208	215	236	218	207	165	144	134	139	183	193	194
2023	210	214	234	228	204	155	186	125	129	153	211	204
2024	210	217	239	221	219	184	169	139	150	164	162	192
2025	206	212	236	210	206	170	119	105	136	147	192	203
2026	207	216	237	222	230	138	130	119	133	155	210	203
2027	208	216	238	211	166	141	116	83	110	155	213	201
2028	205	215	246	216	239	144	119	128	141	181	186	188
2029	207	217	239	206	208	157	134	138	129	173	139	189
2030	204	213	235	209	182	163	141	141	132	166	211	207
2031	209	217	255	233	217	176	124	110	132	175	178	188
2032	208	214	232	232	185	154	118	93	122	178	166	185
2033	203	213	235	211	193	165	132	115	127	158	226	222
2034	211	220	241	212	181	168	159	140	151	158	209	214
2035	214	215	240	213	226	163	120	115	138	188	201	213
2036	208	217	242	211	204	152	108	119	132	181	199	191
2037	208	215	244	213	166	136	117	125	120	173	221	213
2038	213	218	241	211	172	157	114	90	139	157	155	186
2039	204	214	236	212	188	150	115	115	153	179	183	198
2040	208	215	237	208	208	150	124	112	126	166	140	182
2041	205	216	233	207	211	135	106	88	139	186	205	196
2042	209	215	236	207	223	141	124	122	139	146	218	209
2043	211	219	243	211	201	150	133	115	146	180	180	190
2044	204	217	239	212	215	142	125	115	123	183	199	193
2045	210	217	255	235	182	150	156	146	132	193	200	202
2046	211	217	237	214	210	134	124	156	147	172	151	184
2047	206	217	236	215	208	140	119	110	127	179	209	198
2048	210	216	238	224	176	145	126	105	155	179	172	189
2049	205	213	237	222	273	217	150	128	131	169	201	198
2050	210	219	252	243	218	205	164	137	134	186	186	198

Impacts des changements climatiques sur les ressources en eau du Sourou au Burkina Faso

RCP8.5	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
2010	213	220	240	215	180	142	118	112	123	157	165	185
2011	204	213	238	209	222	147	146	124	138	155	193	191
2012	210	213	234	211	197	148	107	111	128	170	194	206
2013	207	218	239	210	205	162	156	143	124	155	209	209
2014	212	215	240	229	189	156	149	122	142	163	220	232
2015	215	220	244	209	192	164	127	121	144	168	185	202
2016	207	216	236	212	190	156	135	138	141	164	175	190
2017	205	212	237	224	178	152	101	101	132	166	181	189
2018	208	215	238	208	193	171	148	105	117	170	195	202
2019	210	214	237	207	201	146	136	124	131	173	139	181
2020	202	211	236	212	228	154	143	111	126	179	172	192
2021	207	215	236	213	217	153	157	136	127	183	190	197
2022	209	216	238	210	169	188	152	107	120	175	143	183
2023	205	209	233	210	170	165	166	134	141	175	204	208
2024	212	220	235	217	255	203	169	134	146	172	174	189
2025	206	216	243	215	228	132	148	137	135	172	197	214
2026	214	221	240	216	196	156	126	113	127	152	201	200
2027	211	220	236	212	198	155	163	141	135	167	187	189
2028	207	213	235	234	199	173	143	128	137	183	209	208
2029	213	217	236	220	209	157	134	123	138	180	154	183
2030	205	211	233	209	224	170	144	123	140	180	211	218
2031	215	218	239	216	179	143	114	129	140	160	157	186
2032	205	212	236	231	236	194	151	128	141	173	144	184
2033	205	215	236	210	202	161	114	104	124	165	223	225
2034	213	221	243	209	193	143	132	133	133	173	178	184
2035	206	216	236	210	207	139	101	91	140	175	215	240
2036	216	220	246	220	201	166	119	116	141	182	166	191
2037	208	214	237	222	204	170	130	133	145	155	228	226
2038	212	222	243	211	218	159	130	142	139	190	202	207
2039	212	215	242	217	189	145	120	132	147	170	159	185
2040	209	215	233	209	218	160	148	138	139	170	192	241
2041	219	222	246	213	193	156	136	103	152	176	147	185
2042	204	212	237	227	198	135	120	117	130	166	215	216
2043	217	219	236	210	219	166	138	145	127	131	160	186
2044	206	216	238	211	236	165	115	121	143	175	184	190
2045	203	216	240	226	177	141	119	135	141	193	203	202
2046	212	216	246	220	191	143	123	111	135	176	209	201
2047	209	218	238	216	198	162	118	116	129	171	171	185
2048	203	212	240	208	180	160	152	114	142	184	206	200
2049	210	215	233	225	176	152	125	135	130	159	166	190
2050	209	214	230	229	232	180	162	126	146	186	188	198

3.7. Débits simulés par le modèle climatique CNRM

CNRM 2.6	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
2011	22,06	14,59	8,41	6,31	6,12	8,11	16,26	39,29	51,60	35,83	20,98	12,13
2012	7,51	5,36	3,29	2,57	2,38	3,09	6,81	16,46	34,21	25,94	15,38	8,87
2013	5,54	4,00	2,48	1,90	1,73	2,46	5,90	139,97	166,89	86,31	43,56	23,24
2014	13,56	9,22	5,46	4,14	3,95	5,10	12,84	30,80	43,77	30,47	17,53	9,99
2015	6,17	4,42	2,73	2,10	1,96	4,10	10,84	70,34	87,05	52,58	27,64	14,85
2016	8,81	6,12	3,68	2,79	2,70	4,24	17,71	59,60	63,21	39,67	22,22	12,57
2017	7,70	5,46	3,34	2,57	2,44	3,11	19,57	68,47	85,93	52,01	27,64	15,06
2018	9,00	6,27	3,78	2,88	3,00	4,45	15,54	41,67	50,46	33,64	19,05	10,82
2019	6,67	4,76	2,92	2,25	2,11	2,66	13,13	37,94	50,82	35,08	19,68	10,93
2020	6,66	4,72	2,88	2,20	1,98	3,52	10,58	39,35	66,73	40,85	22,99	13,00
2021	7,96	5,63	3,44	2,65	2,52	4,06	17,41	61,42	92,15	52,91	28,37	15,62
2022	9,37	6,53	3,95	3,02	2,87	3,86	15,65	55,32	77,66	46,82	25,21	13,90
2023	8,38	5,87	3,57	2,73	2,52	4,31	9,50	38,95	79,08	48,77	26,16	14,33
2024	8,59	6,01	3,63	2,78	2,64	3,88	12,26	28,39	38,28	26,72	15,95	9,34
2025	5,87	4,25	2,64	2,05	1,98	2,47	6,10	24,88	34,31	26,28	15,76	9,22
2026	5,79	4,19	2,60	2,02	1,84	2,43	9,50	17,98	33,74	25,19	14,99	8,75
2027	5,50	3,99	2,48	1,91	1,77	2,42	5,68	17,27	44,22	31,97	18,51	10,60
2028	6,57	4,70	2,90	2,24	2,03	2,59	8,26	27,55	44,62	30,49	17,63	10,15
2029	6,31	4,53	2,80	2,16	2,03	2,87	8,67	27,53	36,12	25,91	15,79	9,35
2030	5,91	4,29	2,67	2,08	1,99	2,97	12,11	48,47	73,16	45,86	24,72	13,57
2031	8,16	5,72	3,47	2,64	2,42	2,86	6,61	42,63	56,55	37,48	21,28	12,10
2032	7,43	5,28	3,24	2,49	2,33	3,09	6,78	21,52	41,20	29,16	17,31	10,12
2033	6,34	4,57	2,83	2,20	2,11	2,94	7,26	25,51	53,10	36,49	20,36	11,35
2034	6,92	4,90	3,00	2,29	2,13	3,69	15,98	79,01	79,19	49,64	26,49	14,41
2035	8,60	6,00	3,63	2,77	2,58	3,05	13,87	33,93	51,21	34,16	19,25	10,84
2036	6,65	4,73	2,90	2,22	2,06	2,58	7,71	63,33	99,39	57,02	29,80	16,19
2037	9,65	6,70	4,03	3,06	2,84	3,78	12,60	29,50	94,70	55,62	28,78	15,42
2038	9,13	6,33	3,80	2,88	2,67	3,52	10,14	23,87	36,05	26,62	16,18	9,58
2039	6,05	4,39	2,73	2,12	2,01	2,71	13,47	32,31	56,53	36,52	20,56	11,61
2040	7,11	5,06	3,10	2,38	2,25	2,85	7,95	18,36	32,84	24,17	14,95	8,96
2041	5,70	4,16	2,60	2,03	1,92	2,42	5,92	70,13	93,93	55,53	29,07	15,77
2042	9,40	6,53	3,93	3,00	2,79	3,70	9,78	72,10	117,89	66,48	33,88	18,00
2043	10,57	7,26	4,33	3,28	3,07	4,09	9,14	55,34	80,26	47,95	25,99	14,39
2044	8,69	6,10	3,70	2,83	2,65	3,49	8,13	26,01	62,43	40,14	22,16	12,40
2045	7,55	5,33	3,25	2,48	2,33	4,14	10,73	68,04	93,46	53,68	28,06	15,18
2046	9,04	6,28	3,79	2,89	2,63	4,81	24,87	136,29	176,77	84,98	43,59	23,50
2047	13,79	9,40	5,57	4,24	4,02	5,26	11,25	35,59	59,11	38,66	21,40	11,97
2048	7,30	5,17	3,16	2,41	2,27	2,92	6,27	40,84	55,61	36,39	20,67	11,76
2049	7,24	5,15	3,16	2,46	2,31	2,69	6,24	18,24	31,02	23,52	14,10	8,28
2050	5,23	3,80	2,37	1,83	1,69	2,68	5,57	62,97	82,34	49,10	26,40	14,51

Impacts des changements climatiques sur les ressources en eau du Sourou au Burkina Faso

CNRM 8.5	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
2012	25,63	19,40	12,70	10,57	10,55	12,45	26,77	81,07	90,75	61,68	37,90	23,55
2013	15,96	12,54	8,48	7,17	7,06	9,54	19,68	33,22	58,87	43,41	27,96	17,91
2014	12,44	9,99	6,89	5,85	5,63	7,40	16,28	137,57	133,97	84,17	48,40	28,68
2015	18,84	14,47	9,62	8,03	7,86	9,73	21,61	54,50	64,76	46,49	29,86	19,10
2016	13,24	10,60	7,28	6,20	6,06	8,47	18,73	44,61	52,75	39,49	26,15	17,11
2017	12,05	9,76	6,77	5,79	5,66	6,75	14,66	30,05	54,79	40,78	26,90	17,56
2018	12,33	9,97	6,89	5,90	5,84	7,49	12,43	26,01	44,43	34,95	23,49	15,48
2019	10,97	8,95	6,24	5,36	5,20	6,59	12,95	41,33	51,62	38,44	26,02	17,27
2020	12,25	9,96	6,92	5,97	5,82	7,46	12,58	88,14	104,30	67,09	41,09	25,60
2021	17,31	13,56	9,14	7,73	7,58	10,35	17,36	58,10	71,74	49,93	31,49	19,98
2022	13,76	10,97	7,50	6,37	6,32	8,68	12,80	26,59	49,46	37,05	25,15	16,72
2023	11,87	9,68	6,73	5,79	5,76	8,95	21,15	78,32	90,50	60,19	36,59	22,64
2024	15,32	12,04	8,15	6,92	6,77	8,20	18,59	41,00	54,70	39,59	26,06	17,02
2025	11,96	9,69	6,71	5,75	5,49	7,42	20,11	65,80	84,69	57,29	35,28	21,93
2026	14,88	11,73	7,96	6,72	6,51	7,97	14,45	35,19	71,72	51,14	32,28	20,45
2027	14,05	11,17	7,63	6,48	6,44	8,13	28,81	57,74	104,42	65,06	39,39	24,47
2028	16,56	13,00	8,79	7,41	7,29	9,07	24,80	155,74	156,58	92,78	52,44	31,15
2029	20,43	15,65	10,38	8,67	8,50	10,52	19,20	63,43	69,43	48,88	31,55	20,35
2030	14,12	11,30	7,75	6,63	6,66	8,02	15,23	68,76	92,02	65,37	38,73	23,57
2031	15,78	12,34	8,32	6,99	6,71	8,32	22,25	45,44	58,72	42,84	28,34	18,52
2032	12,99	10,48	7,23	6,21	6,13	7,55	13,15	43,24	52,28	38,73	26,01	17,18
2033	12,15	9,86	6,84	5,88	5,78	7,13	12,93	40,94	59,00	44,35	28,39	18,04
2034	12,47	9,99	6,86	5,83	5,60	7,44	15,09	37,70	49,05	37,15	24,78	16,33
2035	11,56	9,40	6,54	5,62	5,41	6,45	15,87	79,86	103,22	71,20	41,83	25,08
2036	16,63	12,91	8,65	7,24	7,00	8,60	15,08	128,48	126,39	77,65	46,64	28,74
2037	19,25	14,95	10,00	8,41	8,33	10,99	18,74	40,20	63,11	45,60	28,82	18,19
2038	12,54	10,02	6,88	5,83	5,61	6,79	20,46	61,20	72,89	50,41	31,44	19,78
2039	13,56	10,79	7,37	6,25	5,95	7,63	23,43	60,27	86,57	56,87	35,75	22,68
2040	15,54	12,30	8,36	7,11	7,02	8,93	28,11	54,31	77,83	56,30	34,67	21,37
2041	14,44	11,37	7,70	6,48	6,31	7,63	29,76	128,73	122,94	76,09	46,57	29,03
2042	19,57	15,24	10,21	8,59	8,31	10,94	20,58	114,23	129,45	81,10	47,05	28,22
2043	18,63	14,36	9,58	8,04	7,80	9,84	20,55	33,38	44,76	34,98	24,02	16,06
2044	11,46	9,36	6,53	5,64	5,52	6,84	13,34	31,15	45,82	35,00	23,47	15,50
2045	11,01	8,99	6,27	5,38	5,16	6,37	32,64	85,33	127,02	76,63	44,33	26,78
2046	17,80	13,80	9,23	7,73	7,39	9,50	19,31	43,53	78,06	53,32	32,98	20,68
2047	14,14	11,22	7,65	6,47	6,31	7,64	14,18	42,15	51,71	39,36	26,20	17,22
2048	12,15	9,85	6,83	5,85	5,88	7,44	14,16	38,44	60,14	43,34	27,72	17,75
2049	12,34	9,92	6,84	5,82	5,62	7,24	14,71	28,23	40,05	32,05	22,07	14,80
2050	10,60	8,71	6,10	5,27	5,20	7,33	14,11	32,74	54,07	39,35	25,68	16,66