



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR ENVIRONNEMENT

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNEE ACADEMIQUE :
2019-2020

N° D'ORDRE : 0309/2021

N° CARTE D'ETUDIANT :
CI0416000279

LABORATOIRE :
SCIENCES ET
TECHNOLOGIES DE
L'ENVIRONNEMENT

MASTER

Physique-Chimie Appliquée

Option : Environnement

THEME :

**CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DISPONIBILITE
EN EAU DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE
DAVO POUR L'APPROVISIONNEMENT EN EAU
POTABLE DE LA VILLE DE GUEYO, COTE**

Présenté par :

ZOURE Moussa

JURY

Président : M. MANGOUA Oi Mangoua Jules, Maître de Conférences

Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa

Directeur : M. KOUADIO Zilé ALEX, Maître de Conférences

Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa

Encadreur : M. KOUASSI Bi Guessan Armand, Maître Assistant

Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa

Examinatrice : Mme. TOURE Neé Yao Affoué Berthe, Maître Assistant

Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa

Soutenu publiquement
le : 20/02/2021

REMERCIEMENTS

Nous remercions les autorités de l'Université Jean Lorougnon Guédé, avec à leur tête Professeur TIDOU Abiba Sanogo Epse KONE, Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, pour leurs dévouements dans la formation des étudiants.

Nous disons grand merci au Professeur KOUASSI Kouakou Lazare, Directeur de l'UFR Environnement, pour sa détermination à garantir un encadrement de qualité aux étudiants de cette UFR.

Nous exprimons toute notre reconnaissance au Docteur DIBI Brou, Directeur du Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement (LSTE) de l'UJLOG, pour avoir permis la réalisation de ce travail au sein du laboratoire.

Mes remerciements vont à l'endroit du Docteur KOUADIO Zilé Alex, Directeur scientifique de ce mémoire. Merci Docteur, pour votre confiance. Nous vous réitérons notre sincère reconnaissance pour nous avoir inculqué l'amour du travail bien fait.

Nous remercions sincèrement Docteur KOUASSI Bi Guessan Armand, Encadreur de ce mémoire pour l'attention particulière qu'il accorde dans le suivi de notre parcours universitaire.

Remerciement spécial au Docteur KONAN Kouakou Séraphin, qui en plus de dispenser son savoir, apportent une aide précieuse dans l'insertion professionnelle des étudiants de l'UJLoG.

Nous remercions tous les étudiants du laboratoire des Sciences et Technologie de l'Environnement (LSTE) de l'Université Jean Lorougnon Guédé, particulièrement Doctorants KOFFI Bérenger, KOUADIO Kouamé Jean Olivier, GOE Bi Séhi Antoine, et surtout OUEDE Gla Blaise, pour leur aide précieuse tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions également les étudiants, SOUMAHORO Aboulaye, SALIFOU Ibrahim, DOUMBIA Mamadou, et LEKPAI Eddy pour leur soutien moral et spirituel tout au long de ce travail. Nous remercions la famille DIOMANDE particulièrement Docteur DIOMANDE Massé et Madame DIOMANDE Mariam, ma grande sœur et la famille TANAGUIDE, en particulier Madame TANAGUIDE Bintou, ma mère et la famille ZOURE principalement ZOURE Ilyassa, mon grand frère pour leurs soutiens et conseils durant mes études.

Enfin, nous remercions toutes les personnes que je n'ai pas pu citer ici, qui, de loin ou de près, ont contribué à la réalisation de ce travail.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	i
PARTIE 1 : GÉNÉRALITÉS	i
1.1 Présentation de la zone d'étude	3
1.2 Caractéristiques du bassin versant de Davo à Dakpadou.....	4
1.2.1 Climat	4
1.2.2 Réseau hydrographique et morphologie du bassin.....	4
1.2.3 Géologie et pédologie	6
1.2.4 Occupation du sol et relief	7
1.3 GÉNÉRALITÉS SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	9
1.4 GENERALITES SUR LES MODELES CLIMATIQUES	10
1.4.1 Modèles climatiques globaux (MCG)	10
1.4.2 Modèles climatiques régionaux (MCR)	10
1.4.3 Description des scénarios RCP4.5 et RCP8.5.....	11
PARTIE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES	13
2.1 MATÉRIEL	13
2.1.1 Données.....	13
2.1.2 Outils	13
2.2 MÉTHODES	13
2.2.1 Caractérisation de la variabilité climatique	13
2.2.2. Méthodes des indices climatiques	13
2.2.3. Fréquence des séquences de sécheresse.....	15
2.2.4. Caractérisation des changements climatiques aux horizons 2060 et 2100	15
2.2.5. Correction des données de sortie du modèle.....	16
2.2.6. Évaluation de la corrélation entre les données corrigées et observées (1997-2016)	17
2.2.7. Détermination des taux de variation des pluies et températures.....	17
2.2.3 Simulation de l'évolution des ressources en eau aux horizons futurs 2060 et 2100	18
2.2.3.1. Description, structure et fonctionnement de GR2M	18
2.2.3.2 Calage et validation du modèle GR2M.....	20

2.2.3.2 Simulation des débits aux horizons futurs dans le bassin de Davo	20
2.2.3.3 Estimation des termes du bilan hydrologique	20
PARTIE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION	13
3.1. Résultats	25
3.1.1. Caractérisation de la variabilité climatique du bassin versant de la rivière Davo	25
3.1.1.1 Evolution des indices de sécheresse météorologique	25
3.1.1.2. Fréquence des séquences de sécheresse météorologique	25
3.1.2 Caractérisation des changements climatiques aux horizons 2060 et 2100 du bassin versant de la rivière Davo	26
3.1.2.1 Fiabilité des précipitations et températures issues du modèle climatique RCA4	26
3.1.2.2. Evolution des séquences climatiques futures	29
3.1.2.5 Impact potentiel des changements climatiques sur le bilan hydrologique	35
3.1.2.6 Simulation des écoulements observés (1997-2016) et futurs (2041-2060)	36
3.1.3. Evolution des paramètres du bilan hydrologique aux horizons futurs.....	37
3.2 DISCUSSION	38
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	25
RÉFÉRÉNCES BIBLIOGRAPHIQUES	46

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Caractéristiques physiques et morphologiques du bassin versant de Davo (Kouamé, 2017).....	5
Tableau II: Information sur le modèle climatique régional.....	11
Tableau III: Caractéristiques des scénarios RCP4.5 et RCP8.5 (Yéo, 2017).....	11
Tableau IV: Classification du degré de sécheresse et d'humidité en fonction des indices standardisés de précipitations et d'évapotranspiration (Bouly <i>et al.</i> , 2020).....	15
Tableau V: Evaluation des erreurs de précipitations simulées par le modèle comparativement aux précipitations observées.....	27
Tableau VI: Evaluation des erreurs commises par le modèle climatique RCA4 sur les données de températures minimales et maximales.....	28
Tableau VII: Evolution des précipitations dans le bassin selon le modèle RCA4	32
Tableau VIII: Evolution des températures moyennes annuelle dans le bassin selon le modèle RCA4.....	34
Tableau IX: Résultats des calages et validations du modèle hydrologique GR2M.....	35

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Bassin versant de la rivière Davo à Dakpadou	3
Figure 2: Diagramme ombrothermique à Gagnoa sur la période 1997-2016	4
Figure 3: Réseau hydrographique du bassin versant de la rivière Davo à Dakpadou	5
Figure 4: Géologie du bassin versant de la Davo	6
Figure 5: Pédologie du bassin versant de Davo	7
Figure 6: Carte d'occupation du sol (Kouamé, 2017).....	8
Figure 7: Carte du relief	9
Figure 8: Structure et fonctionnement du modèle GR2M (Mouelhi <i>et al</i> , 2006).....	19
Figure 9: Évolution temporelle des valeurs SPEI de 1997 à 2016 à Gagnoa et à Daloa	25
Figure 10: Fréquences des séquences de sécheresse à Gagnoa et à Daloa (1997-2016)	26
Figure 11: Comparaison des précipitations moyennes mensuelles interannuelles observées à Gagnoa.....	26
Figure 12: Comparaisons des températures minimales et maximales interannuelles simulées et observées à la station de Gagnoa cas du scénario RCP4.5.....	28
Figure 13: Corrélation entre les précipitations observées et corrigées.....	29
Figure 14: Corrélation entre les températures moyennes observées et corrigées	29
Figure 16: Variation temporelle des valeurs SPEI des périodes 2041-2060 et 2081-2100 dans le cas du scénario RCP4.5 sur le bassin de la rivière Davo.....	30
Figure 17: Variation temporelle des valeurs SPEI des périodes 2041-2060 et 2081-2100 dans le cas du scénario RCP8.5 sur le bassin de la rivière Davo.....	31
Figure 18: Comparaison entre les précipitations moyennes mensuelles interannuelles observées (à la station de Gagnoa) et projetées à l'horizon.....	33
Figure 19: Variation moyenne mensuelle des températures moyennes interannuelles (à la station de Gagnoa).....	34
Figure 20: Calage de GR2M à Dapkadou 1976-1982 (7 ans).....	35
Figure 21: Validation de GR2M à Dapkadou 1984-1993 (10 ans)	36
Figure 22: Evolution des débits actuels (1997-2016) et aux horizons 2060 et 2100	36
Figure 23: Evolution des paramètres du bilan hydrologique dans le bassin versant de la rivière Davo.....	38

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ETR	:	Evapotranspiration Réelle
CCNUCCC	:	Convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
DH	:	Direction de l'Hydrologie
ETP	:	Evapotranspiration Potentielle
GIEC	:	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
GR2M	:	Génie Rural, 2 paramètres, Mensuels
IP	:	Indice de Pluviosité
IPCC	:	Intergovernmental Panel for Climate Change
MCG	:	Modèles climatiques globaux
MCR	:	Modèles climatiques régionaux
RCA4	:	Rosby Centre Atmospheric Regional Model version 4
RCM	:	Regional Climate Model
RCP	:	Representative Concentration Pathways
SMHI	:	Institut Météorologique et Hydrologique Suédois
SODEXAM	:	Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique
SPEI	:	Indice Standardisé de Précipitation et d'Evapotranspiration
SPI	:	Indice Standardisé de Précipitations
UFR	:	Unité de Formation et de Recherche
UJLoG	:	Université Jean Lorougnon Guédé

INTRODUCTION

L'eau est indispensable à la vie, au développement et à la santé et à la réduction de la pauvreté (BAD, 2000). Les variations climatiques observées dans le monde pendant ces dernières décennies ont beaucoup influencé les ressources en eau des pays du continent africain. La Côte d'Ivoire n'est pas exempte de ce phénomène. En effet, tous les auteurs qui ont travaillé dans le domaine de l'hydrologie ont fait cas des impacts de ces variations climatiques sur le régime hydrologique des cours d'eau (Kouakou *et al*, 2007 ; Kouassi, 2007 ; Kouakou, 2011 ; Yao *et al*, 2012 ; Kouassi *et al*, 2013). Ces variations climatiques se traduisent par une réduction du module des écoulements sur une petite période et le changement climatique se traduit par une réduction du module des écoulements sur une grande période. Sur le bassin versant de la rivière Davo, les problématiques majeurs en matière de gestion des ressources en eau se posent en termes d'accessibilité, de qualité de l'eau. Dans certaines localités telles que Guéyo, ces problèmes poussent la population à utiliser les eaux de marigots et de puit pour la boisson. Ces usages pourraient entraîner des maladies hydriques telles que le choléra, la fièvre typhoïde, la gastro-entérite, la diarrhée... (Yao *et al*, 2012). Par ailleurs, la sécheresse entamée depuis le début des années 1970 a entraîné une baisse pluviométrique des débits des cours d'eau (Kouakou *et al*, 2007 ; Kouassi, 2007 ; Kouakou, 2011 ; Yao *et al*, 2012 ; Kouassi *et al*, 2013). Cette situation implique de nombreux problèmes socio-économiques, à savoir : la mauvaise récolte, la décimation du cheptel et l'assèchement des cours d'eau.

En Côte d'Ivoire, les enjeux de la gestion de l'eau sont importants car le développement de la quasi-totalité des secteurs de l'économie nationale est tributaire des ressources en eau. De ce fait, la disponibilité en eau pour l'alimentation en eau potable s'avère nécessaire. C'est dans cette optique que cette étude dont le thème est : « **Changement climatique et disponibilité en eau du bassin versant de la rivière Davo pour l'approvisionnement en eau potable de la ville de Guéyo, Côte d'Ivoire** » a été initiée. De façon générale, il s'agit d'analyser l'impact potentiel des changements climatiques sur la réponse hydrologique future de la rivière Davo. De façon spécifique il s'agit de :

- ✓ caractériser la variabilité climatique du bassin versant de Davo;
- ✓ caractériser les changements climatiques du bassin versant de Davo aux horizons 2060 et 2100 ;
- ✓ simuler l'évolution des ressources en eau aux horizons futurs 2060 et 2100.

Pour y parvenir ce présent mémoire s'articule autour de trois parties :

- la première partie présente les généralités sur la zone d'étude ainsi que les notions liées à la thématique abordée ;

- la deuxième partie porte sur le matériel et les méthodes utilisés ;
- la troisième partie donne les résultats obtenus, suivi de leur interprétation et de la discussion qui en découle. Une conclusion générale comportant des perspectives d'études, achève ce mémoire.

PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITÉS

1.1 Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est située au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire et couvre une superficie de 7190 km². Elle se situe entre les longitudes 6°47'W et 5°03' W et les latitudes 6°85' N et 5°03' N. C'est un sous bassin versant du fleuve Sassandra. Au plan administratif, cette zone appartient dans sa partie Nord aux régions du Haut Sassandra et de la Marahoué, dans sa partie Centre à la région du fromager, et dans la partie Sud aux régions du Bas Sassandra et du Sud Bandama

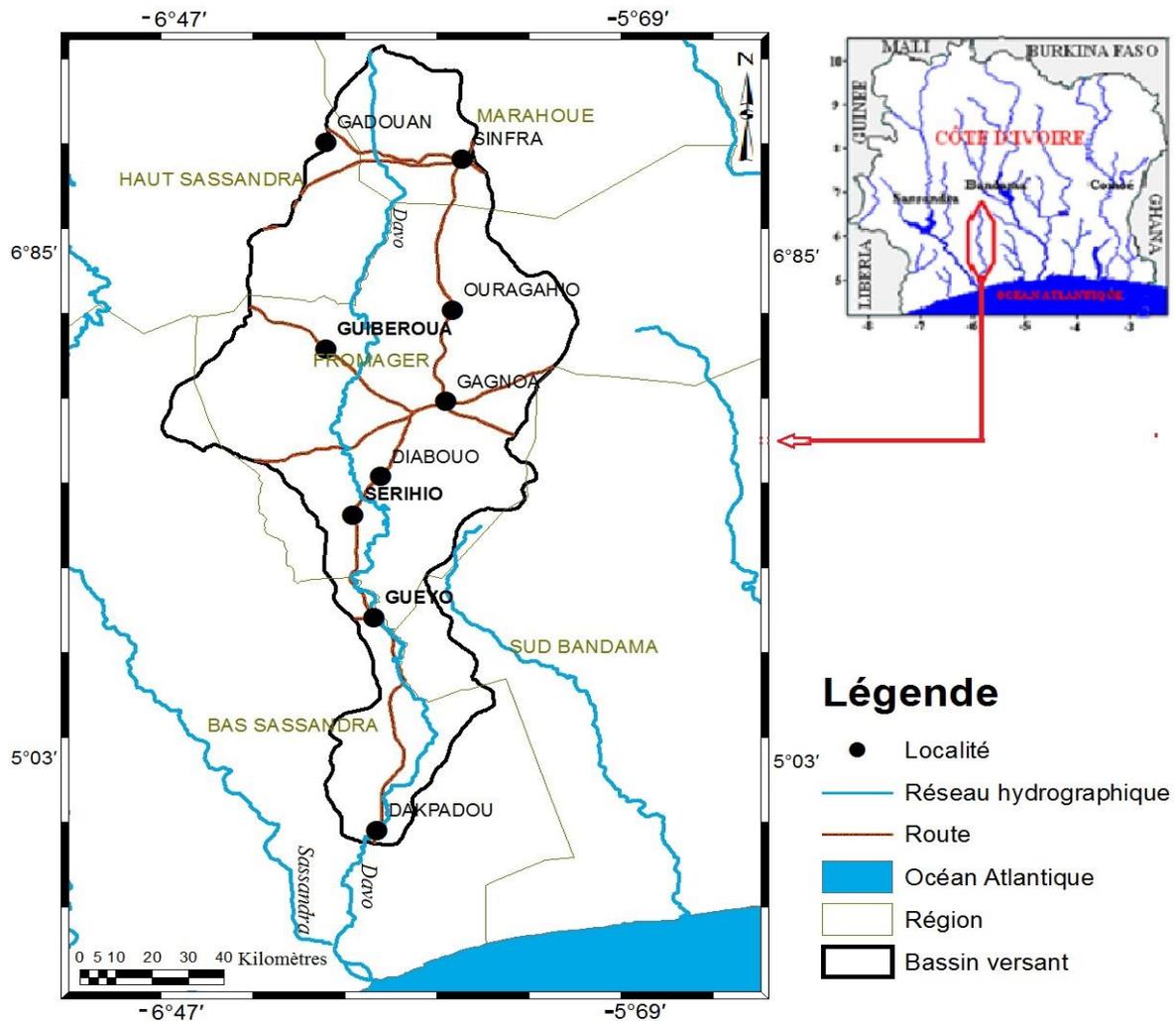


Figure 1: Bassin versant de la rivière Davo à Dakpadou

1.2 Caractéristiques du bassin versant de Davo à Dakpadou

1.2.1 Climat

Le climat est de type équatorial caractérisé par deux saisons (une saison sèche et une saison des pluies). La saison sèche de décembre à février avec une température maximale de 27,67 °C. Concernant la saison pluvieuse, elle s'étend de mars à novembre avec une pluviométrie maximale mensuelle de 206,9 mm (Figure 2). La température moyenne annuelle est de 26 °C.

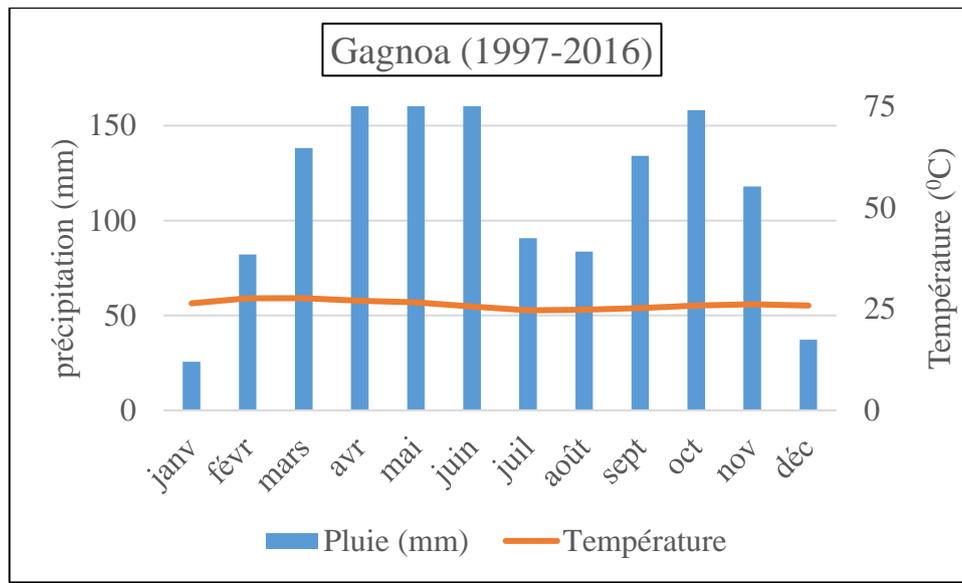


Figure 2: Diagramme ombrothermique à Gagnoa sur la période 1997-2016

1.2.2 Réseau hydrographique et morphologie du bassin

Le réseau hydrographique du bassin versant de la rivière Davo appartient à celui du bassin versant du fleuve Sassandra et couvre une superficie de 7190 km² (Figure 3). Le bassin versant de la rivière Davo est le dernier affluent du fleuve Sassandra. Il a une longueur de 280 km et un périmètre de 544 km. L'affluent le plus important de cette rivière est la rivière Guéri (Kouamé, 2017).

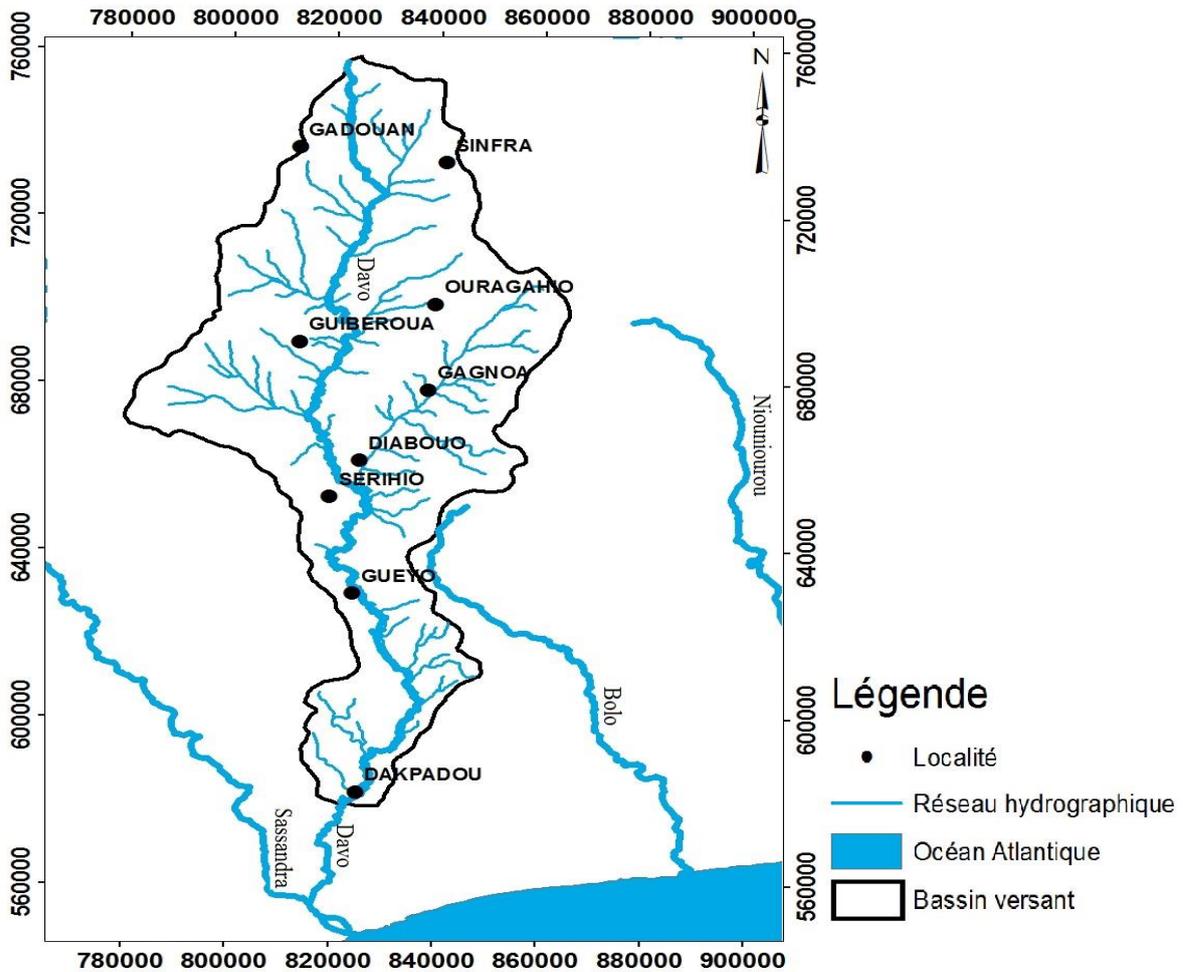


Figure 3: Réseau hydrographique du bassin versant de la rivière Davo à Dakpadou

Le bassin versant de la rivière Davo a un indice de compacité de 1,82. A travers cette valeur, on note que le bassin versant a une forme allongée avec un temps long de rassemblement des eaux à son exutoire. Le tableau I ci-dessous présente quelques caractéristiques physiques et morphologiques du bassin versant.

Tableau I: Caractéristiques physiques et morphologiques du bassin versant de Davo (Kouamé, 2017).

S (Km²)	P (km)	Kc	L(km)	L (Km)	Hmin (m)	Hmax (m)	L (m/Km)
7190	544,3	1,82	202,0	84,89	34	551	1,8

Où,

S : superficie, **P** : périmètre, **Kc** : indice de compacité, **L** : longueur du rectangle équivalent, **I** : largeur du rectangle équivalent, **Hmin** : altitude minimale, **Hmax** : altitude maximale, **I** : pente longitudinale.

1.2.3 Géologie et pédologie

Les formations géologiques de la Côte d'Ivoire se répartissent entre un bassin sédimentaire côtier (2,5%) et un socle occupant plus de 97,5% du territoire (Biemi, 1992). La zone d'étude est dominée par les formations du protérozoïque et du birimien (Tagini, 1971). Les formations géologiques dominantes (Figure 4) sont les granodiorites, les granitoïdes, les migmatites et les formations mézozonales de position stratigraphique incertaine.

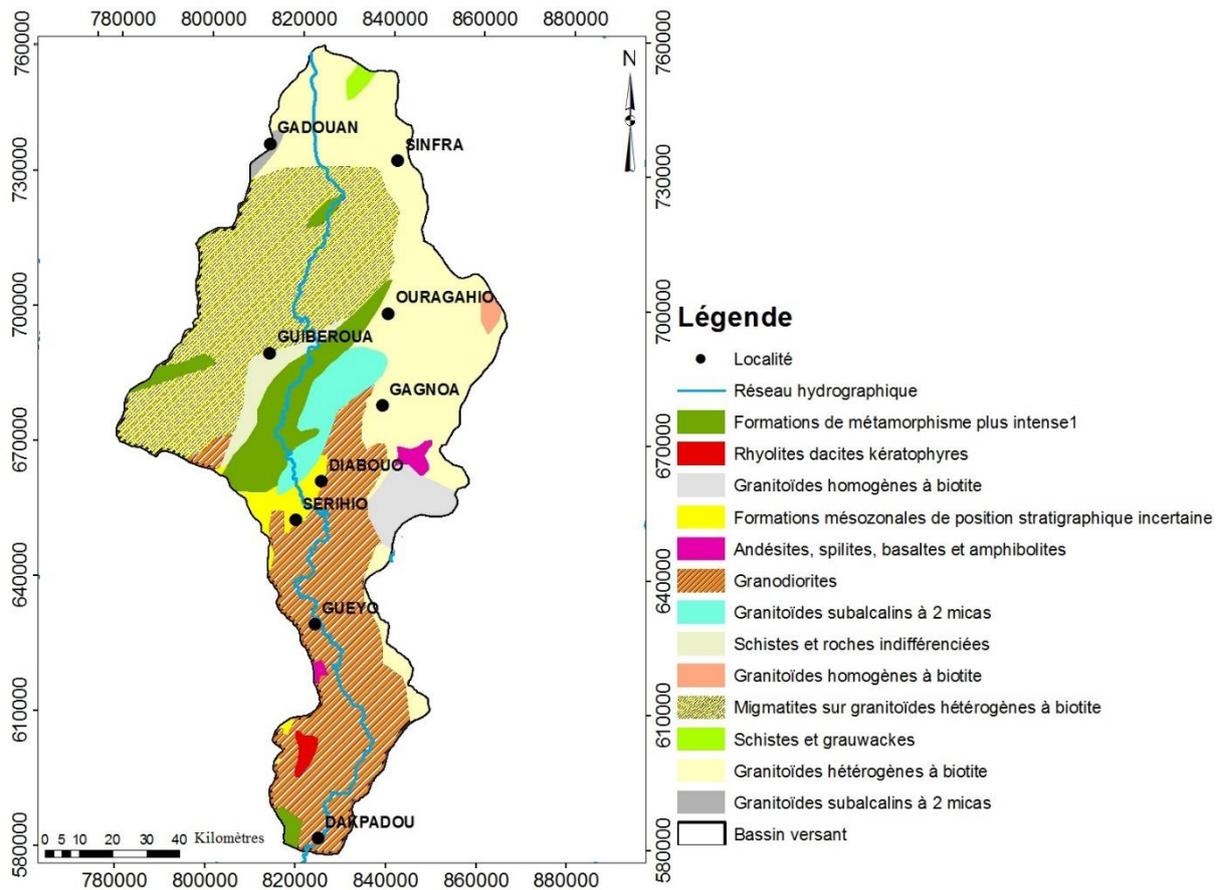


Figure 4: Géologie du bassin versant de la Davo

Les sols sont les ferralsols fortement désaturés sous pluviométrie atténuée et les ferralsols fortement désaturés sous forte pluviométrie dans la partie sud (Figure 5). Les sols sont fertiles et sont en grande partie occupés par les cultures industrielles qui sont les plus dominants (cacao, café, hévéa et palmier à huile).

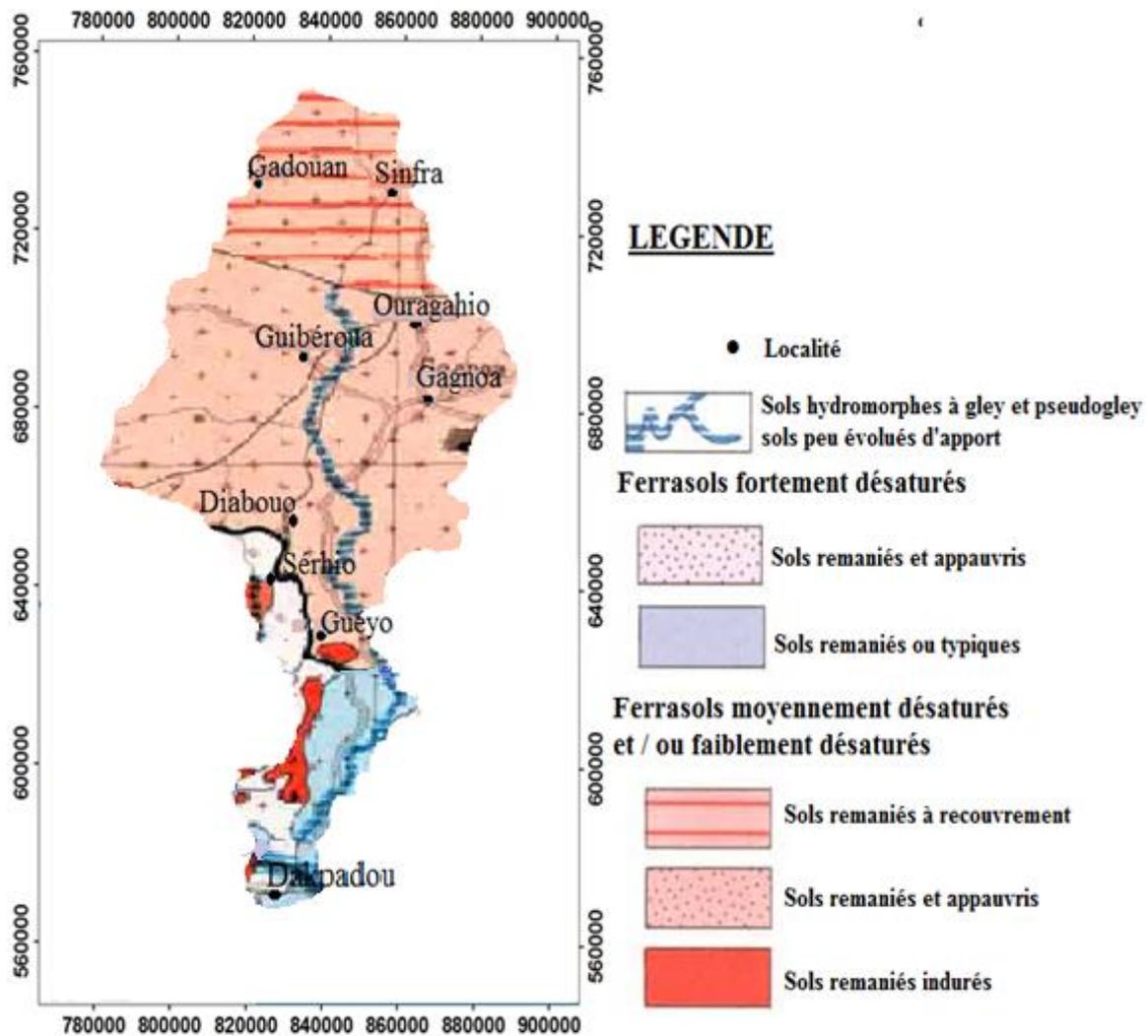


Figure 5: Pédologie du bassin versant de Davo

1.2.4 Occupation du sol et relief

La figure 6 montre la carte d'occupation du sol. La superficie agricole et jachère occupe la plus grande superficie suivie de la superficie des zones bâties et sols nus. La superficie de la forêt vient en troisième position (Kouamé, 2017). Ces forêts sont fortement dégradées. Cette dégradation est due en majeure partie à l'activité humaine, notamment l'agriculture extensive et non contrôlée. Les forêts humides sont composées de deux entités, à savoir les forêts humides sempervirentes et les forêts humides semi-décidues. Les forêts humides sempervirentes sont toujours fermées, vertes et constituées de trois niveaux :

- la strate basse ou herbacée, peu importante et parfois inexistante ;
- la strate moyenne, arbustive et riche en espèces végétales atteignant 20 à 30 m de haut ;
- la troisième strate est dominée par des grands arbres de 50 à 60 m de haut.

Les forêts humides semi-décidues sont constituées par endroit des mêmes strates comme dans la forêt humide sempervirente. Seulement, la troisième strate est assez réduite avec une faible

proportion de grands arbres de 50 à 60 m de haut. Quant aux forêts défrichées, elles sont composées de forêts défrichées ombrophiles et de forêts défrichées mésophiles. Les forêts ombrophiles sont caractérisées par de grands arbres atteignant en moyenne 50 m de hauteur, d'une abondance de lianes, d'épiphytes et d'une rareté d'herbes en sous-bois. Cette formation végétale entretient un microclimat chaud, humide et sombre. Les forêts mésophiles sont constituées essentiellement d'essences qui perdent leurs feuilles au cours de la saison sèche.

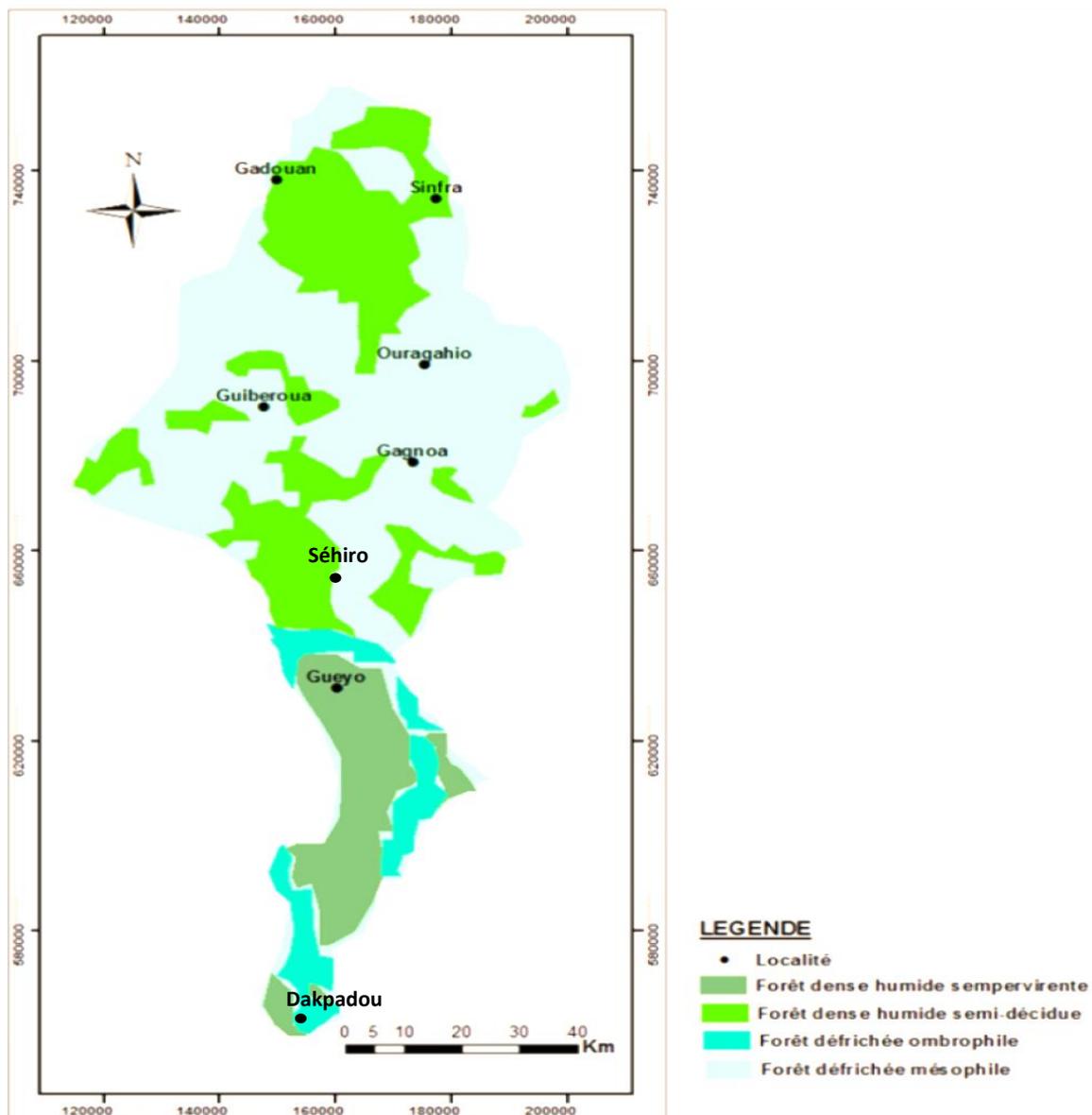


Figure 6: Carte d'occupation du sol (Kouamé, 2017)

De l'aval à l'amont du bassin versant, les altitudes rencontrées sont comprises entre 34 m et 300 m pour près de 90 % de sa superficie (Figure 7). Les altitudes supérieures à 500 m sont situées au sud du département de Gagnoa. Les altitudes comprises entre 400 et 500 sont rencontrées tout juste à l'extrême nord du bassin.

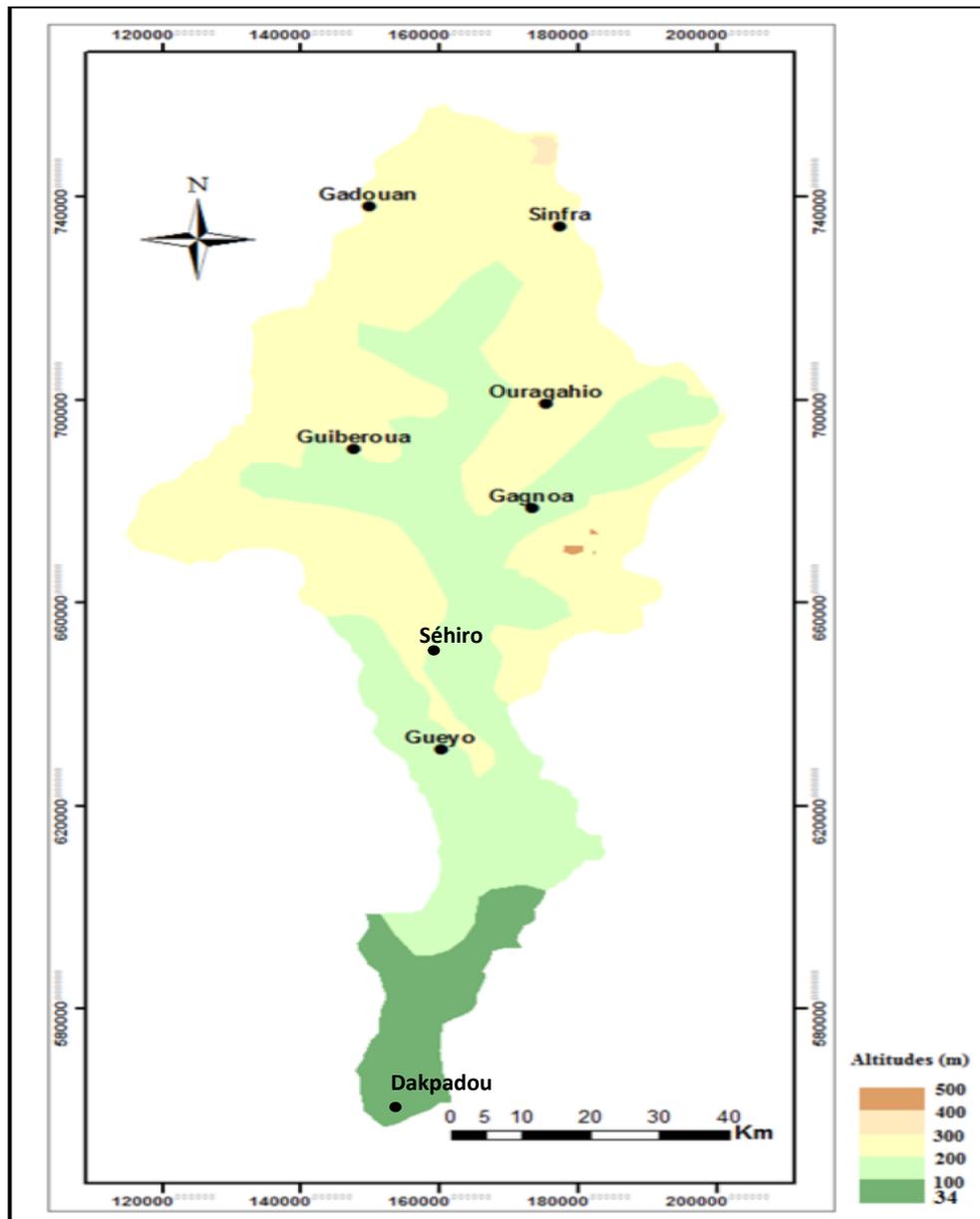


Figure 7: Carte du relief

1.3 GÉNÉRALITÉS SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

✚ Définition des changements climatiques

Le GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) définit un changement climatique comme « tout changement du climat dû à sa variabilité naturelle ou résultant de l'activité humaine ». La Convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) restreint cette définition en parlant de « changements qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée sur une échelle de temps comparables ». Pour le GIEC (2007), le changement climatique se réfère à un

changement statistiquement significatif dans l'état moyen du climat ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste sur une longue période de temps (décennies ou plus). Selon le GIEC (2007), le changement climatique peut être dû aux processus naturels internes ou à des forçages exogènes ou à des activités anthropiques persistantes dans l'atmosphère ou dans les usages du sol.

1.4 GENERALITES SUR LES MODELES CLIMATIQUES

1.4.1 Modèles climatiques globaux (MCG)

Les modèles climatiques globaux sont une représentation mathématique simplifiée du système climatique fondée sur des lois physiques (Kouakou, 2011). Selon cet auteur, les différentes composantes du système climatique doivent y être représentées (atmosphère, biosphère, hydrosphère et cryosphère) ainsi que leurs processus d'échanges. Ces différents éléments ont été modélisés séparément depuis le début de l'année 70 avant d'être couplés dans les modèles globaux. Les équations mathématiques sont résolues au moyen de grilles tridimensionnelles couvrant la surface du globe (Kouakou, 2011). L'espace est subdivisé en milliers de colonnes permettant de recouvrir la totalité de la surface terrestre et des océans. Les colonnes sont elles-mêmes subdivisées en plusieurs couches (Viner & Hulme, 1997, cités par Kouakou (2011)). Selon ces auteurs, les MCG ont typiquement une résolution horizontale comprise entre 250 km et 600 km, de 10 à 20 couches verticales dans l'atmosphère, et parfois jusqu'à 30 couches dans les océans. La fréquence à laquelle les processus sont calculés à l'intérieur du modèle, constitue la résolution temporelle du modèle Kouakou (2011).

1.4.2 Modèles climatiques régionaux (MCR)

Les modèles climatiques régionaux sont des représentations mathématiques des processus physiques à petite échelle par rapport aux modèles globaux. Ce sont des modèles numériques semblables aux modèles globaux, mais ils ont une résolution supérieure qui permet une meilleure représentation, par exemple, du relief présent dans le domaine du modèle (Viner et Hume, 1997 *in* Kouakou, 2011). Selon ces auteurs, les modèles régionaux commencent la résolution des équations à partir des résultats d'un modèle global qui lui servent de conditions initiales et la plupart des techniques de réduction d'échelle ou "downscaling" sont à sens unique (la simulation avec les modèles climatiques régionaux n'envoie pas de rétroaction vers le MCG directeur). Dans cette étude, le modèle climatique régional RCA4 sera utilisé. Le modèle RCA4 de résolution $0,44^\circ \times 0,44^\circ$ (soit 49km x49km) concerne des données de climat futur provient du "Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)". Le modèle RCA4 est issu du modèle climatique global (CNRM) développé par le Centre Européen de Recherche et de

Formation Avancée en Calcul Scientifique – Couplé Modèle 5 (CNRM-CERFACS-CM5) (Yéo, 2017 ; Coulibaly *et al*, 2018) le tableau II donne des informations sur le modèle RCA4.

Tableau II: Information sur le modèle climatique régional

Institut	MCR	Résolution	Modèle Global	Source
SMHI	RCA4	~50km (0,44 *0,44°)	CNRM	Suédois Météorologique et Hydrologique Institut- Rossby Centre Atmospheric model 4

Ce modèle climatique régionale (RCA4) utilise les scénarios d'émission de gaz (RCP2.6 ; RCP4.5, RCP6.0 et RCP8.5). Dans le cadre de notre étude le MCR sera utilisé suivant les scénarios RCP4.5 et RCP8.5.

1.4.3 Description des scénarios RCP4.5 et RCP8.5

Les caractéristiques des scénarios RCP4.5 et RCP8.5 sont détaillées dans le tableau III. (Yéo, 2017)

Tableau III: Caractéristiques des scénarios RCP4.5 et RCP8.5 (Yéo, 2017).

Composant du scénario	RCP4.5	RCP8.5
Emission de gaz à effet de serre	Très bas Atténuation : faible à moyen	Très élevé
Surface agricole	Très faible	Moyen
Pollution de l'air	Moyen	Moyen à élevé

Le RCP4.5 suppose une mise en œuvre intermédiaire des politiques mondiales en matière des changements climatiques, ce qui se traduira par une stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère d'ici 2100. Le RCP8.5, cependant, suppose qu'il n'y aura pas d'action internationale efficace sur les changements climatiques avec une forte croissance démographique et des revenus plus faibles dans les pays en développement, ce qui entraînerait des émissions plus élevées (donc des concentrations) de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre. Par conséquent, le RCP8.5 devrait être considéré comme un scénario pessimiste,

alors que le RCP4.5 constituerait un scénario intermédiaire rendant compte des efforts déployés pour atténuer les changements climatiques (Yéo, 2017).

DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL

2.1.1 Données

Dans cette étude, nous avons utilisé des données climatiques de la période d'observation datant de 1997 à 2016 et des données hydrométriques de la rivière Davo à Dakpadou. Ces données concernent :

- les précipitations observées aux stations de Daloa et Gagnoa ;
- les températures observées à la station de Daloa et Gagnoa ;
- les débits de la rivière Davo enregistrés à la station hydrométrique de Dakpadou.

Les données climatiques ont été fournies par la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM). Les données de débits de la rivière Davo enregistrées à la station hydrométrique de Dapkadou (exutoire du bassin versant considéré) ont été fournies par la Direction de l'Hydrologie (DH) sur la période 1997-2016. Pour l'évaluation des impacts des changements climatiques dans le bassin versant de la Davo les données suivantes ont été utilisées :

- les pluies et températures simulées par le modèle climatique (RCA4) sous les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 sur la période 1997-2016, 2041-2060 et 2081-2100 ;

2.1.2 Outils

Les outils de traitement des données utilisés sont constitués de :

- tableur Excel pour l'organisation des données et les calculs des paramètres statistiques ;
- logiciel R pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)
- logiciel ArcGis 10.4.1 pour la réalisation des cartes
- modèle GR2M pour la simulation des écoulements dans le bassin versant de la rivière Davo à Dakpadou sur la période de référence (1997-2016) et aux horizons 2060 et 2100.

2.2 MÉTHODES

2.2.1 Caractérisation de la variabilité climatique

Pour caractériser la variabilité du climat, les méthodes utilisées sont celles du calcul des principaux paramètres statistiques (moyenne et écart type) et l'indice standardisé de précipitation et d'évapotranspiration (SPEI) pour déterminer la variabilité décennale et annuelle du climat.

2.2.2. Méthodes des indices climatiques

Les indices climatiques permettent d'analyser la variabilité climatique. Plusieurs indices ont été proposés tels que, l'indice de Nicholson (I), l'indice standardisé de précipitations (SPI), l'indice

de pluviosité (IP) et l'indice standardisé de précipitation et d'évapotranspiration (SPEI) (Nicholson *et al.*, 1988 ; McKee *et al.*, 1993 ; Bergaoui & Alouini, 2001 ; Vicente *et al.*, 2010). Dans le cadre de cette étude, l'indice SPEI a été utilisé. Cet indice s'avère plus robuste que les autres car il corrige les insuffisances des autres indices en prenant en compte l'évapotranspiration potentielle donc la température (Vicente *et al.*, 2010).

2.2.2.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

Plusieurs formules ont été proposées par des auteurs tels que Thornthwaite, Penman, Turc et Hargreaves pour évaluer l'ETP. Des quatre (4) méthodes évoquées, celle de Hargreaves est appliquée dans cette étude (Hargreaves & Zohrab, 1985). La formule de Hargreaves (Equation 2) exprime l'ETP (mm) en fonction de la température et latitude. D'ailleurs, Ibrahim (2012) a montré que cette formule permet d'estimer les valeurs d'ETP très proches de celles obtenues avec la formule de Penman-Monteith qui est plus complexe. Elle s'écrit :

$$ETP = 0,0023R_a(T_{mean} + 17,8)(T_{max} - T_{min})^{0,5} \quad (\text{Équation 2})$$

Où,

Ra= équivalent en eau du rayonnement extraterrestre (mm/jour) ;

Tmean : température moyenne de l'air (° C) ;

Tmax : température maximale de l'air (° C) ;

Tmin : température minimale de l'air (° C).

2.2.2.2. Calcul de l'indice standardisé de précipitation et d'évapotranspiration (SPEI)

Cet indice a été proposé par Vicente *et al.* (2010). Il prend en compte à la fois les précipitations et l'ETP (qui inclut la température) pour analyser les processus de sécheresse. Le SPEI permet d'analyser le processus de sécheresse sous-jacent (Rosni & Himayoun, 2019). Vicente *et al.* (2010) suggèrent une distribution logistique à trois paramètres pour le calcul des valeurs du SPEI. La distribution la mieux ajustée de la série de bilans hydriques climatiques (BHC) standardisés à toutes les échelles de temps est sélectionnée en utilisant le test des critères de Kolmogorov-Smirnov (Vicente *et al.*, 2010). Basée sur la distribution log-logistique à trois paramètres, l'équation 3 de probabilité distributive de la série de la BHC est exprimée comme suit :

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x + \gamma} \right)^\beta \right]^{-1} \quad (\text{Équation 3})$$

Où α est le paramètre de forme, β est le paramètre d'échelle et γ est le paramètre d'origine. Le SPEI (équation 4) peut être obtenu sous la forme des valeurs normalisées de F(x) comme suit :

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3}$$

Où

$$W = \sqrt{-2 \ln(F(x))} \quad \text{pour } F(x) < 0,5$$

$$W = \sqrt{-2 \ln(1 - F(x))} \quad \text{pour } F(x) > 0,5$$

Les paramètres C_0 , C_1 , C_2 , d_1 , d_2 , d_3 sont des constantes avec $C_0 = 2,51551$, $C_1 = 0,80285$,

$C_2 = 0,01033$, $d_1 = 1,43279$, $d_2 = 0,18927$ et $d_3 = 0,00131$. Les valeurs positives de SPEI indiquent les conditions d'humidité supérieures à la moyenne, tandis que les valeurs négatives indiquent les conditions de sécheresse. Un événement de sécheresse est défini lorsque la valeur de SPEI est inférieure ou égale à (-1) au cours d'une certaine période. Les catégories de sécheresse en fonction des valeurs de SPEI sont présentées dans le Tableau IV.

Tableau IV: Classification du degré de sécheresse et d'humidité en fonction des indices standardisés de précipitations et d'évapotranspiration (Bouly *et al.*, 2020)

Séquences de sécheresses	Valeurs de SPEI	Séquences d'humidités	Valeurs de SPEI
Légèrement sèche	$-0,99 < SPEI \leq 0,00$	Légèrement humide	$0,00 \leq SPEI < 0,99$
Modérément sèche	$-1,49 < SPEI \leq -1,00$	Modérément humide	$1,0 \leq SPEI < 1,49$
Sévèrement sèche	$-1,99 < SPEI \leq -1,50$	Sévèrement humide	$1,50 \leq SPEI < 1,99$
Extrêmement sèche	$SPEI < -2$	Extrêmement humide	$SPEI > 2$

2.2.3. Fréquence des séquences de sécheresse

La fréquence cumulée (F) de sécheresse donne une idée sur l'occurrence des séquences sèches sur la période d'étude. Elle est obtenue en faisant le rapport de l'effectif cumulé des séquences sèches par l'effectif total des années.

2.2.4. Caractérisation des changements climatiques aux horizons 2060 et 2100

La méthodologie utilisée passe par : (i) l'évaluation de la fiabilité des sorties du modèle, (ii) la correction des données de sortie du modèle (iii), l'évaluation de la corrélation entre les données corrigées et observées et (iv) analyse du changement climatique aux horizons 2060 et 2100.

2.2.4.1. Évaluation de la fiabilité des sorties du modèle climatique régional RCA4

La performance d'un modèle pour la production de scénarii climatiques futurs est élevée s'il est capable de reproduire correctement le climat présent. Ainsi, une comparaison est effectuée

d'une part entre les données de températures observées et simulées par le modèle sur la période 1997-2016, et d'autre part, entre les données de précipitations observées et simulées sur la période 1997-2016. L'écart entre ces données observées et simulées constitue l'erreur commise par le modèle. Le calcul de l'erreur relative a été retenu comme critère numérique pour évaluer la performance du modèle RCA4. L'erreur relative (E_r) permet de savoir si le modèle climatique surestime ou sous-estime les paramètres analysés. Ce paramètre est estimé à travers l'équation 4.

$$E_r = 100 \times \frac{X_{cal} - X_{obs}}{X_{cal}} \quad (\text{Équation 4})$$

Avec :

X_{cal} : valeur du paramètre calculé par le modèle ;

X_{obs} : valeur du paramètre observé.

Si $E_r > 0$ le modèle surestime le paramètre calculé

Si $E_r < 0$ le modèle sous-estime le paramètre calculé

La vérification de la performance du modèle a été réalisée par la comparaison graphique des données observées et simulées.

2.2.5. Correction des données de sortie du modèle

Toute sortie de modèle climatique est généralement biaisée. Ainsi avant d'utiliser ces données pour la modélisation hydrologique, nous devons corriger ces erreurs par la méthode delta. Cette approche est appliquée le plus souvent sur les variables climatiques en hydrologie, notamment la pluie, la température et l'évapotranspiration (Mora *et al*, 2014). Elle définit certains facteurs de correction en comparant les propriétés statistiques des variables simulées sur la période de référence aux observations historiques. Ces facteurs sont ainsi appliqués aux simulations climatiques pour corriger les erreurs. La méthode corrige deux types d'erreurs selon les équations 5 et 6 suivantes :

✚ Erreurs additives : pour les températures

$$T_{Scen,j,c} = T_{Obs,j} + (T_{Scen,m} - T_{ref,m,h}) \quad (\text{Équation 5})$$

Où :

$T_{Scen,j,c}$: température journalière corrigée

$T_{Obs,j}$: température journalière observée

$T_{Scen,m}$: est la température moyenne mensuelle interannuelle de la période considérée

$T_{ref,m,h}$: est la température moyenne mensuelle interannuelle de la période historique

✚ Erreurs multiplicatives : pour les précipitations :

$$P_{scen,j,c} = P_{obs,j} \times \left(\frac{P_{scen,m,f}}{P_{ref,m}} \right) \quad (\text{Équation 6})$$

Où :

$P_{scen,j,c}$: pluie journalière corrigée

$P_{obs,j}$: pluie observée.

$P_{scen,m,f}$: pluie moyenne mensuelle interannuelle sur la période future.

$P_{ref,m}$: pluie moyenne mensuelle interannuelle sur la période de référence.

2.2.6. Évaluation de la corrélation entre les données corrigées et observées (1997-2016)

Le test de corrélation est utilisé pour évaluer une association (dépendance) entre deux variables. Le calcul du coefficient de corrélation est effectué en utilisant différentes méthodes. Ce sont la corrélation r de Pearson, la corrélation tau « τ » de Kendall et le coefficient de corrélation rho « ρ » de Spearman. La première citée est utilisée dans ce travail car elle est la plus robuste. La force d'association entre deux variables quantitatives peut être estimée par le coefficient de corrélation noté r . Il est égal au rapport de la covariance entre X et Y , divisé par le produit de leur écart-type. L'hypothèse nécessaire à la validité de cette mesure est que la distribution de X et de Y soit conjointement normale. Son expression mathématique (équation 7) est la suivante :

$$r = \frac{S_{XY}^2}{S_X \cdot S_Y} \quad (\text{Équation 7})$$

S_{XY}^2 est la covariance de chaque variable

2.2.7. Détermination des taux de variation des pluies et températures

Nous comparons les données mensuelles et annuelles simulées à l'horizon selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 avec les valeurs observées sur les périodes de référence (1997-2016). Les deux périodes futures sont 2041-2060 et 2081-2100 Le taux est exprimée en pourcentage, les amplitudes des variables considérées sont calculées selon l'équation 8 :

$$\phi_i^{hor} = 100 \times \frac{X_i^{hor} - X_i^{ref}}{X_i^{ref}} \quad (\text{Équation 8})$$

Avec :

X_i^{hor} : valeur moyenne annuelle calculée sur la période considérée

X_i^{ref} : valeur moyenne annuelle calculée sur la période de référence

i : l'horizon.

Φ_i^{hor} : croissance ou décroissance relative des précipitations et des températures annuelles futures du bassin

2.2.3 Simulation de l'évolution des ressources en eau aux horizons futurs 2060 et 2100

La méthode employée pour étudier l'impact du changement climatique sur les ressources en eau est constituée de quatre étapes (Kouakou, 2011) :

- (a) - la préparation des données d'entrée et de sorties du modèle ;
- (b) - le calage et la validation du modèle conceptuel GR2M avec les données réellement observées ;
- (c) - la construction de séries climatiques réalistes (pluies et ETP) pour les horizons futurs (2041-2060 et 2081-2100) à partir des données climatiques effectivement observées sur la période de référence (1997-2016) et celles simulées sur les périodes 2041-2060 et 2081-2100.
- (d) - Simulation des écoulements à l'aide du modèle conceptuel GR2M à partir des paramètres calés à l'étape (b) et des séries chronologiques construites à l'étape (c).

2.2.3.1. Description, structure et fonctionnement de GR2M

Le modèle GR2M (modèle du Génie Rural à 2 paramètres Mensuels) est un modèle conceptuel pluie-débit comportant deux réservoirs régulés par deux paramètres ajustables (Mouelhi, 2003). Ce modèle a été mis en place par le Cemagref (Lavabre *et al*, 1993 ; Makhoulf & Michel, 1994) *in* Yao, 2015). Il a connu plusieurs versions, proposées successivement par Kabouya (1990), Kabouya & Michel (1991), Makhoulf & Michel (1994) *in* Yao (2015), Mouelhi (2003) et Mouelhi *et al*. (2006), qui ont permis d'améliorer progressivement sa performance. La structure du modèle, bien qu'empirique, l'apparente à un modèle conceptuel à réservoirs, avec une procédure de suivi de l'état d'humidité du bassin qui semble être le meilleur moyen de tenir compte des conditions antérieures et d'assurer un fonctionnement en continu du modèle. La version utilisée ici est celle de Mouelhi *et al*. (2006). La structure de ce modèle est présentée par la figure 6. Le mode de fonctionnement général est le suivant :

- Une fraction de la pluie mensuelle participe à l'écoulement direct ;
 - Le niveau d'eau dans le réservoir qui représente le stock d'eau évolue en fonction de la fraction de pluie restante et de l'évapotranspiration potentielle par l'intermédiaire d'une évapotranspiration réelle ;
 - Une vidange progressive de ce stock d'eau produit l'écoulement retardé. Les deux paramètres à caler sont notés X1 et X2.
- X1 est le paramètre de réglage de la fonction de production et s'exprime en mm. Il représente la capacité en eau maximale du réservoir sol (réservoir de production). La fonction de

production met en évidence la répartition de l'eau précipitée entre les différents termes du bilan hydrique, elle permet essentiellement de déterminer l'évapotranspiration réelle (ETR), le ruissellement superficiel et la partie de l'eau qui transite par la fonction de transfert appelée "eau gravitaire".

- X2 est le paramètre de réglage de la fonction de transfert du modèle. C'est donc un coefficient d'échanges souterrains. La fonction de transfert contrôle la répartition temporelle de l'eau qui alimente l'écoulement. Il est sans unité.

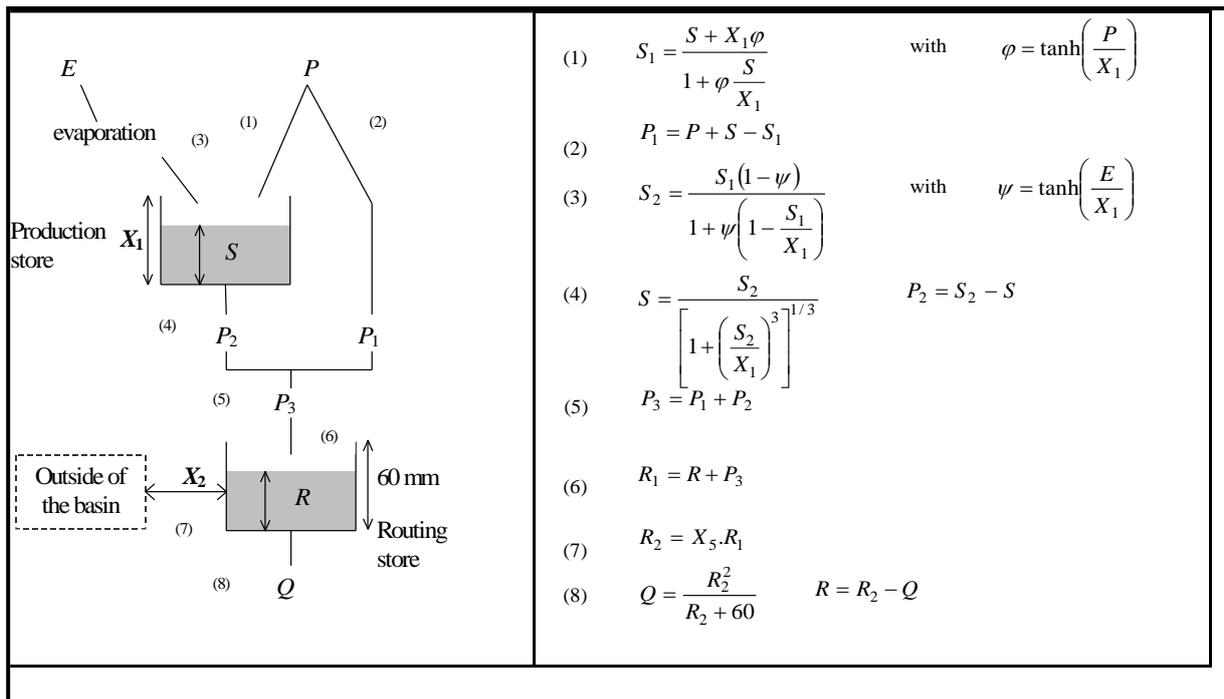


Figure 8: Structure et fonctionnement du modèle GR2M (Mouelhi *et al*, 2006)

Dans cette zone, les caractéristiques du sol (perméabilité et structure) permettent d'assimiler la capacité de rétention en eau du réservoir sol du modèle hydrologique GR2M à la capacité en eau du sol (FAO-UNESCO, 1974-1981 *in* Yéo, 2017). Ainsi nous prenons :

- la capacité du réservoir de production initiale $S_0 = 200$;
- la capacité du réservoir de routage initial $R_0 = 20$.

➤ Critère d'optimisation du modèle GR2M

La mesure des performances d'un modèle se fait selon les objectifs qu'on se fixe, et par conséquent, le critère qu'on choisit. Un même modèle peut être évalué de plusieurs façons, l'unique contrainte étant l'objectif du jugement, le critère le plus connu et le plus utilisé pour les modèles conceptuels est le critère évalué par Nash & Sutcliffe (1970) qui s'exprime par l'équation 9.

(Équation 9)

$$NASH(Q) = 100 \times \left[1 - \frac{\sum(Q_o - Q_s)^2}{\sum(Q_o - Q_m)^2} \right]$$

Avec :

Q_s : débit simulé

Q_o : débit observé

Q_m : débit moyen observé.

La performance du modèle peut être jugée selon les valeurs prises par le critère de Nash (Perrin, 2000) :

- Nash \geq 90 % : le modèle est excellent ;
- 80 % < Nash < 90 % : le modèle est très satisfaisant ;
- 60 % < Nash < 80 % : le modèle est satisfaisant ;
- Nash < 60 % : le modèle moins bon.

Le modèle est considéré comme performant, quand les débits estimés se rapprochent des débits observés, c'est-à-dire quand la valeur du critère de Nash est proche de 100 %. On peut affirmer qu'un critère de moins de 60 % ne donne pas une concordance satisfaisante entre les hydrogrammes observés et simulés par le modèle.

2.2.3.2 Calage et validation du modèle GR2M

Le calage et la validation ont pour but d'ajuster les paramètres du modèle de façon à ce que l'adéquation entre les débits simulés et observés soit maximale. La méthodologie consiste à subdiviser la période d'observation en périodes de calage et de validation. Toutefois, il faut réserver une période de mise en route. Les paramètres d'entrée sont l'ETP, la pluie et le débit.

2.2.3.2 Simulation des débits aux horizons futurs dans le bassin de Davo

Une fois les nouvelles séries climatiques futures générées, elles sont utilisées en entrée du modèle hydrologique GR2M pour produire les écoulements attendus aux horizons 2040-2060 et 2081-2100. Pour rendre possible la simulation des écoulements futurs, l'on garde constant les paramètres ayant servi au calage et à la validation sur les périodes de références. En effet, le modèle hydrologique nécessite certes des données climatiques, mais aussi les données de capacité en eau du sol.

2.2.3.3 Estimation des termes du bilan hydrologique

Le bilan hydrologique permet de connaître les apports et les pertes en eau du bassin et donc de quantifier de façon globale les ressources en eau. Il traduit de manière quantifiable le cycle de l'eau au niveau d'une région ou d'un bassin versant. Il exprime le partage des précipitations entre les différentes composantes du cycle de l'eau dont l'équation 10 de base est :

$$P = Q + ETR + I + \Delta S \quad (\text{Équation 10})$$

Avec :

P : précipitation (mm)

Q : lame d'eau ruisselée (mm)

ET : évapotranspiration (mm)

I : lame d'eau infiltrée (mm)

ΔS : variations de stock des différents réservoirs du domaine (réservoirs de surface, humidité de la zone non saturée et variation des réserves de la nappe). A l'échelle du cycle hydrologique annuel, les variations de stock s'annulent sur un grand bassin (Mahé *et al*, 1998). L'équation 11 du bilan se simplifie alors aux seuls termes de l'évapotranspiration, du ruissellement et de l'infiltration profonde qui peut constituer une source de recharge pour les eaux souterraines.

Ainsi, le bilan hydrologique s'exprime comme suit :

$$P = Q + ETR + I \quad (\text{Équation 11})$$

La lame d'eau infiltrée (I) est déduite selon la formule donnée par l'équation 12 :

$$I = P - (ETR + Q) \quad (\text{Équation 12})$$

Selon l'équation 8, les précipitations et les débits étant mesurés sur le terrain, les paramètres évapotranspiration réelle (ETR) et infiltration (I) seront déterminés par l'utilisation du modèle GR2M. Dans le cas de cette étude, la détermination de l' ETR est basée sur la modélisation de la relation pluie-débit par le modèle GR2M qui est un modèle à réservoir et de bilan. L'expression de l' ETR , pour un mois considéré, est donnée par la relation de l'équation 13 suivante :

$$ETR = S1 - S2 \quad (\text{Équation 13})$$

Avec :

$S1$: niveau d'eau dans le réservoir sol après une pluie

$S2$: niveau d'eau dans le réservoir après l'évapotranspiration.

TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats

3.1.1. Caractérisation de la variabilité climatique du bassin versant de la rivière Davo

3.1.1.1 Evolution des indices de sécheresse météorologique

L'application de SPEI montre une variation saisonnière caractérisée une alternance d'années humides et sèches sur l'ensemble du bassin (Figure 9). Cette alternance se présente comme suit :

- à Gagnoa, on enregistre deux périodes : une période sèche (1997-2003) avec des valeurs de SPEI inférieures ou égales à -2,6 suivie d'une période très humide de (2003-2016) avec des valeurs de SPEI inférieures ou égales à 2,2 avec alternance de période sèche et en 2006, 2012 et en 2016.
- à Daloa, on enregistre également deux périodes : une période moyennement sèche (1997-2007) avec des valeurs de SPEI inférieures ou égales à 2. Elle est suivie d'une période très humide (2008-2014) avec des valeurs de SPEI inférieures ou égales à 2. Enfin la période sèche (2015-2016) avec les valeurs de SPEI inférieures à 2.

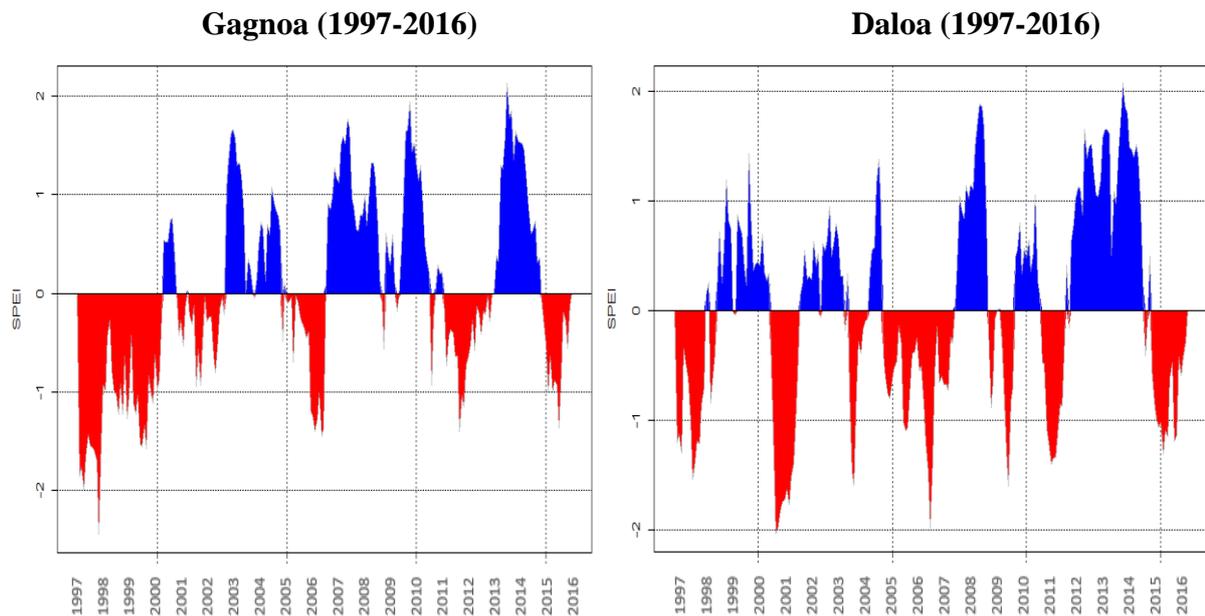


Figure 9: Évolution temporelle des valeurs SPEI de 1997 à 2016 à Gagnoa et à Daloa

3.1.1.2. Fréquence des séquences de sécheresse météorologique

La séquence de sécheresse qui domine la période d'étude est la sécheresse de type : légèrement sèche avec une fréquence de 29,58% et 39,17% respectivement aux stations de Gagnoa et de Daloa. La sécheresse de type modérément sèche est de 12,8% et 12,50% respectivement aux stations de Gagnoa et de Daloa. La sécheresse de type : Sévèrement sèche est de 4,58% et 5%

respectivement aux stations de Gagnoa et de Daloa. On observe une sécheresse de type : extrêmement sèche de 0,42% et 0,83% respectivement aux stations de Gagnoa et de Daloa.

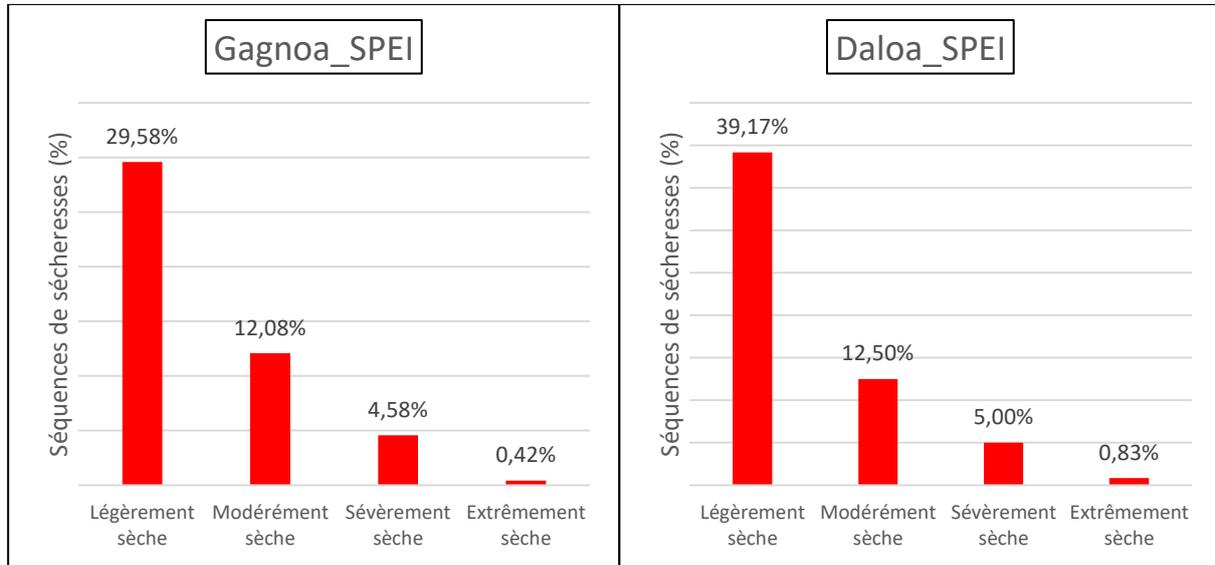


Figure 10: Fréquences des séquences de sécheresse à Gagnoa et à Daloa (1997-2016)

3.1.2 Caractérisation des changements climatiques aux horizons 2060 et 2100 du bassin versant de la rivière Davo

3.1.2.1 Fiabilité des précipitations et températures issues du modèle climatique RCA4

✚ Précipitations

Les erreurs de sorties du modèle climatique régional (MCR) RCA4 sur les données de pluie simulées ont été évaluées sur la période 1997-2016. Il sous-estime le pic des saisons pluvieuses.

Le modèle n'arrive pas à reproduire les pluies des mois les plus pluvieux (Figure 11).

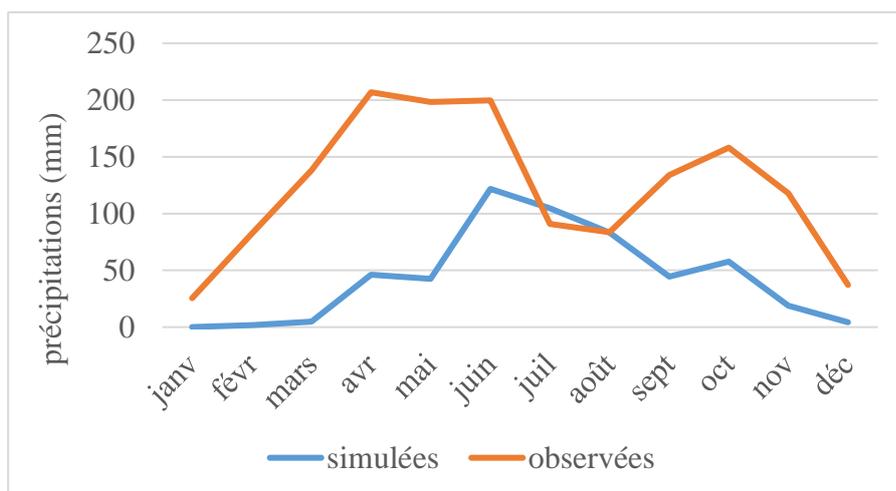


Figure 11: Comparaison des précipitations moyennes mensuelles interannuelles observées à Gagnoa sur la période 1997-2016

RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats sont conformes à ceux du Tableau V. On constate que pour les mois de l'année, le modèle sous-estime les hauteurs de pluie observées à l'exception du mois de juillet où le modèle surestime les hauteurs de pluie observées.

Les écarts varient entre -63,9% à 99,6%. La valeur la plus faible est -0,1%.

Tableau V: Evaluation des erreurs de précipitations simulées par le modèle comparativement aux précipitations observées

Mois	Pluies (mm)		
	Moy. Obs	Moy. Sim	Taux (%)
Janvier	25,5	0,1	-99,6
Février	82,1	1,6	-98,1
Mars	138,1	4,8	-96,5
Avril	206,9	46,1	-77,7
Mai	198,4	42,6	-78,5
Juin	199,7	121,8	-39
Juillet	90,8	104,8	15,4
Août	83,6	83,2	-0,1
Septembre	134,1	44,6	-66,7
Octobre	158,1	57,7	-63,2
Novembre	117,9	18,8	-84,1
Décembre	37,3	4,4	-88,2
Moy. Annuelle	1472,5	530,7	-63,9

3. Températures moyennes

Le modèle RCA4 reproduit fidèlement la tendance des températures observées. Contrairement à la pluie où les écarts entre données observées et données simulées par le modèle climatique régional RCA4 sont importants, ceux des températures est moins importants (Figure 12).

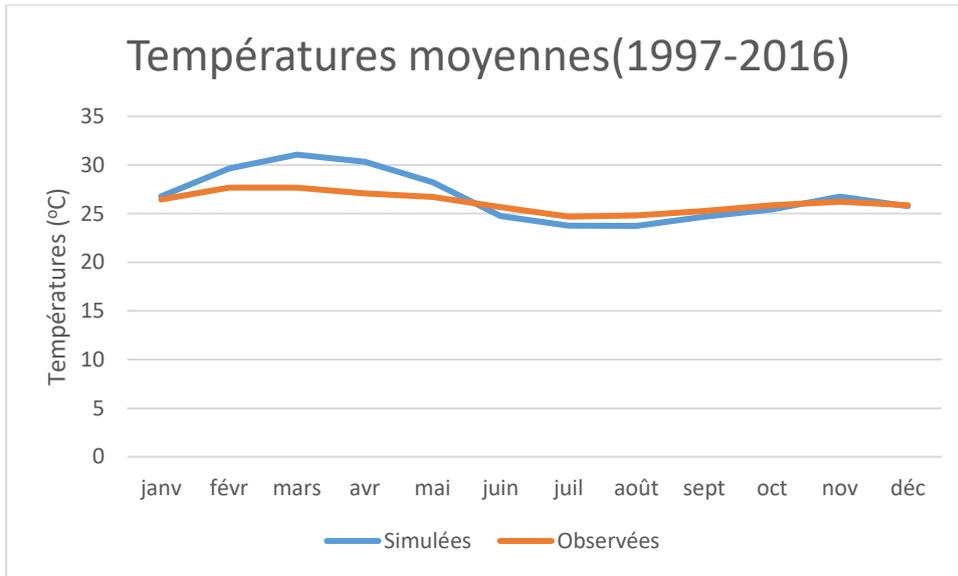


Figure 12: Comparaisons des températures minimales et maximales interannuelles simulées et observées à la station de Gagnoa cas du scénario RCP4.5.

Le modèle climatique surestime également les températures moyennes interannuelles de 0,59 °C comparativement à la période de référence (Tableau VI).

Tableau VI: Evaluation des erreurs commises par le modèle climatique RCA4 sur les données de températures minimales et maximales

	Température moyenne (° C)		
	Moyenne annuelle observée	Moyenne annuelle simulée	Erreur (%)
Moyennes annuelles	26,15	26,74	0,59

✚ Evaluation de la corrélation entre les données corrigées et observées

La correction des données simulées a permis d’avoir dans l’ensemble une bonne corrélation. On obtient des corrélations de précipitation de 0,9335 et 0,8178 respectivement pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5. Pour les températures minimales, on obtient respectivement des corrélations de 0,9141 et 0,8414. Concernant les températures maximales, on obtient respectivement 0,9099 et 0,8749 suivant les mêmes scénarios sur la période de référence. La méthode utilisée est celle de la regression linéaire sur la période de référence 1997-2016.

➤ **Précipitations**

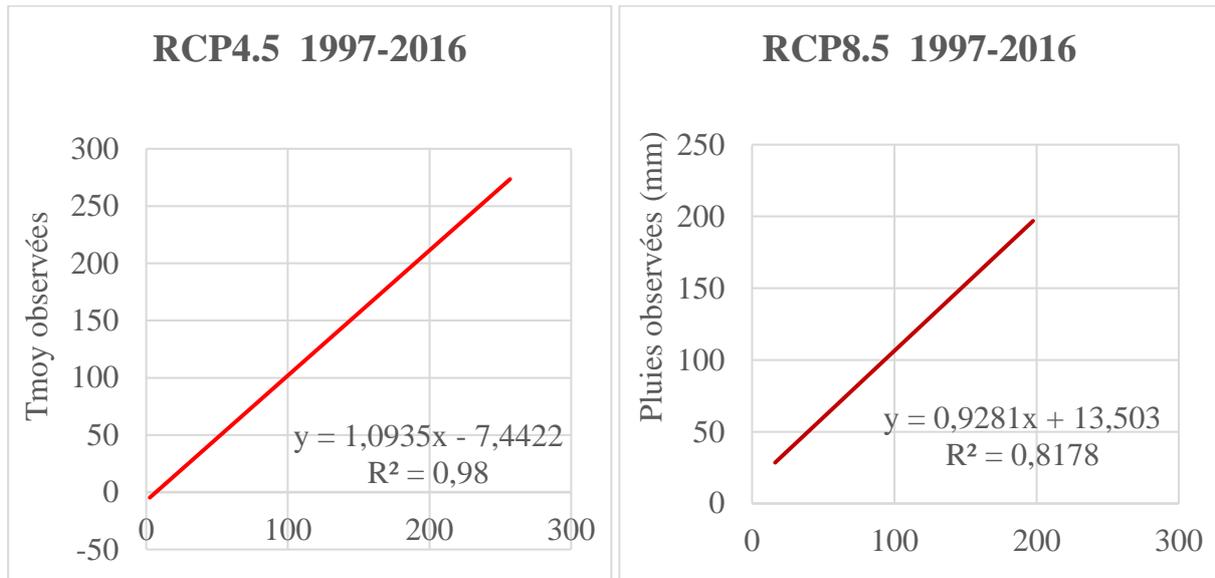


Figure 13: Corrélation entre les précipitations observées et corrigées

➤ **Températures**

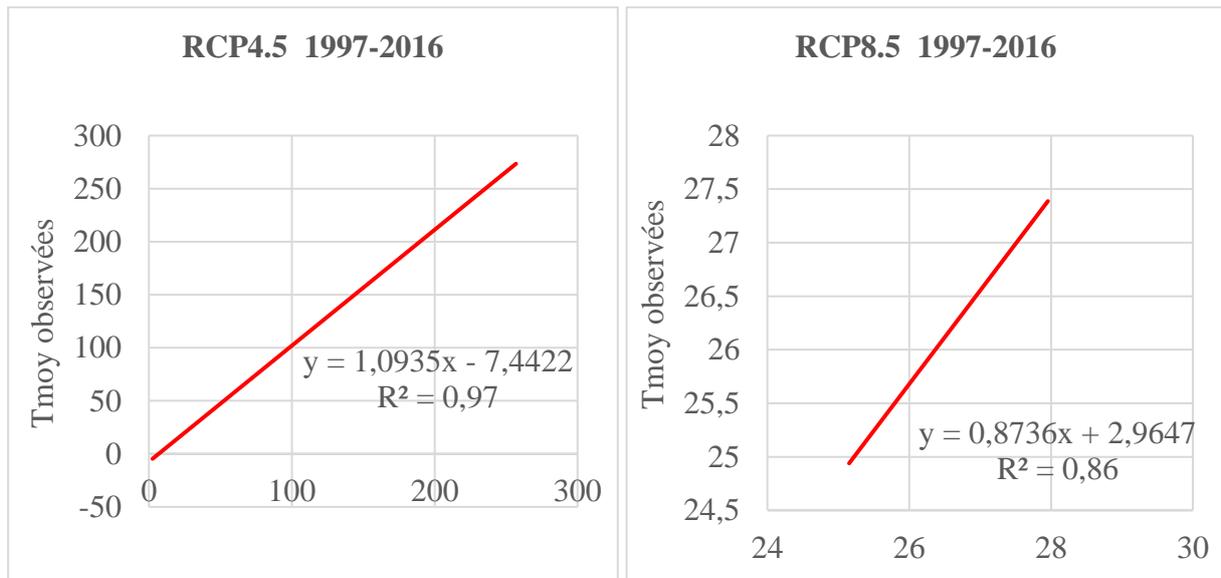


Figure 14: Corrélation entre les températures moyennes observées et corrigées

La valeur des coefficients de corrélation entre les valeurs observées et simulées étant élevée, nous pouvons faire une bonne simulation aux horizons futurs.

3.1.2.2. Evolution des séquences climatiques futures

➤ **Avec le scénario RCP4.5**

La figure 16 présente l'évolution des indices de sécheresse en fonction du scénario RCP4.5 sur les périodes 2041-2060 et 2081-2100. Les résultats montrent une alternance de périodes sèches et humides sur tout le bassin. Elle se présente comme suit :

RESULTATS ET DISCUSSION

- à la station de Gagnoa pour la période 2041-2060, nous enregistrons quatre grandes périodes distinctes. La première période de 2041-2048 est une alternance d'années sèche et humide. La deuxième période allant de 2048 à 2052 est une période sèche interrompue par une période humide de 2 ans (2048-2049). La troisième période allant de 2052 à 2057 est sévèrement sèche. La quatrième allant de 2058 à 2060 est une période très humide dont le SPEI est inférieur ou égale à 2,5. Cette tendance d'humidité est observée sur les dix premières années de l'horizon 2081-2090 et une période atténuée de sécheresse sur les dix dernières années (2091-2100).

- à la station de Daloa, trois périodes se dégagent : d'abord la période 2041-2048 est une période modérément humide interrompue par une période sèche 3 ans (2044-2046) puis suivie de la période 2048-2057 qui est modérément sèche et enfin la période 2058-2060 qui est une période extrêmement humide. Cette tendance d'humidité et de sécheresse est observée respectivement sur les dix premières et dernières années (2081-2090) et (2091- 2100).

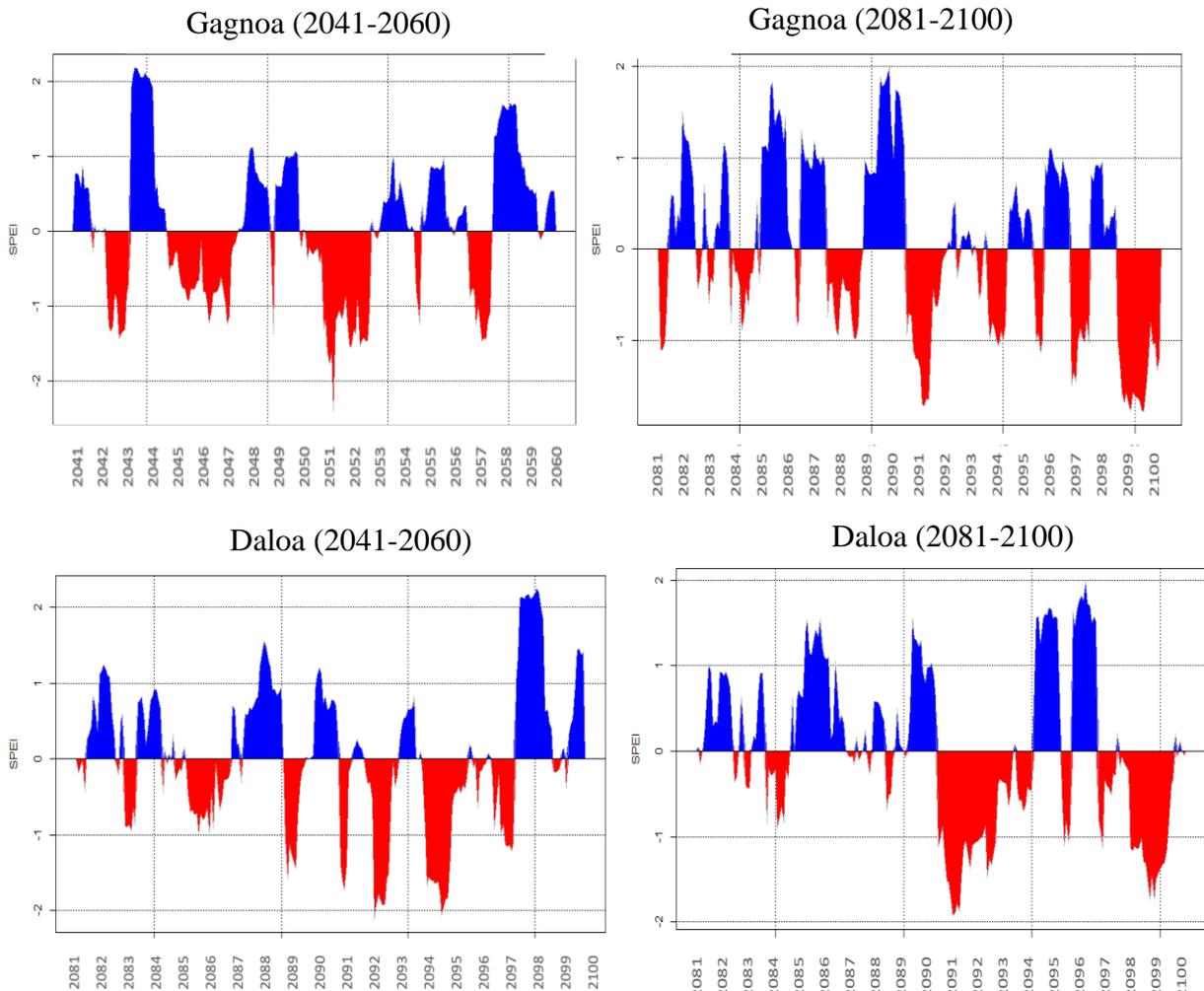


Figure 15: Variation temporelle des valeurs SPEI des périodes 2041-2060 et 2081-2100 dans le cas du scénario RCP4.5 sur le bassin de la rivière Davo

➤ Avec le scénario RCP8.5

Dans le cas du scénario RCP8.5 dit « pessimiste », pour les périodes 2041-2060, les projections des précipitations et des températures ont permis de calculer les indices SPEI. Comme l'illustré à la figure 17 on observe une alternance de périodes humides et sèches au niveau des deux régions climatiques du bassin. L'analyse de ces graphiques fournit les résultats presque similaires liés à la variabilité et aux tendances à la sécheresse pour la période 2041-2060.

- A la station de Gagnoa, on observe deux périodes sèches de 2041-2047 et de 2052-2059 avec des valeurs de SPEI inférieur à -2 et une période humide de 2047-2052 avec des valeurs de SPEI inférieur à 2. Néanmoins une reprise des précipitations est observée sur l'ensemble du bassin à la fin de cette période (2059-2060). Pour la période 2081-2100, on observe une alternance de sécheresse et d'humidité.

- A la station de Daloa, on observe une période humide de 2042-2052 et une période sévèrement sèche de 2053-2060. Pour la période 2081-2100, on observe une alternance de sécheresse et d'humidité.

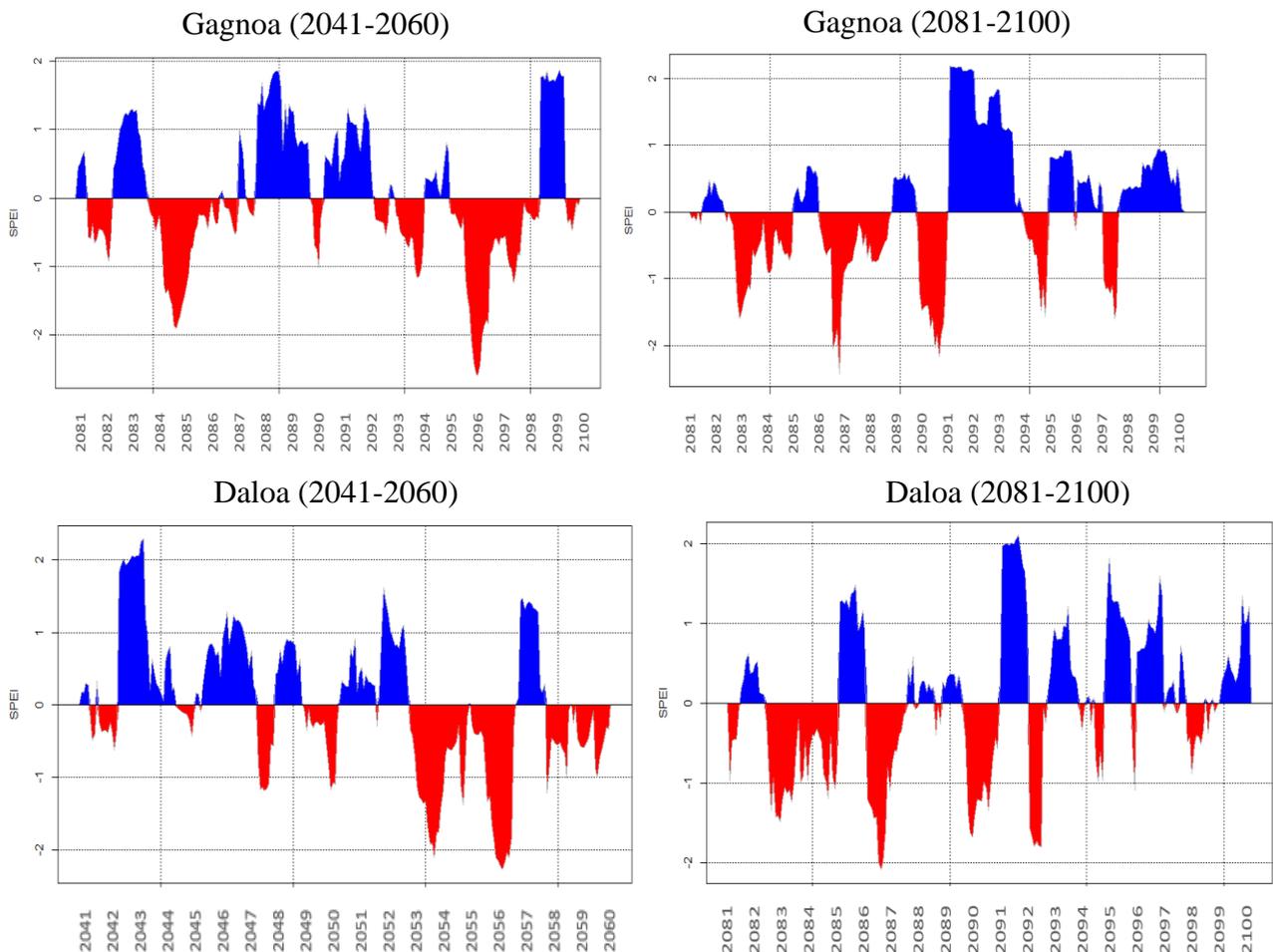


Figure 16: Variation temporelle des valeurs SPEI des périodes 2041-2060 et 2081-2100 dans le cas du scénario RCP8.5 sur le bassin de la rivière Davo

3.1.3. Evolution des paramètres climatiques (pluies et températures) dans le bassin

➤ **Pluviométrie**

L’analyse des données de pluies moyennes simulées par le modèle climatique régional RCA4 aux horizons 2041-2060 et 2081-2100 (Tableau VII).

Tableau VII: Evolution des précipitations dans le bassin selon le modèle RCA4

		1997-2016	2041-2060		2081-2100	
Paramètre	Scénarios	Moy. Obs	Moyenne	Taux (%)	Moyenne	Taux (%)
Pluies (mm)	RCP4.5	1472,5	1157,7	-21,4	1372,8	-6,8
	RCP8.5		1105,3	-24,9	1455,2	-1,2

La pluviométrie moyenne annuelle observée sur la période de référence (1997-2016) dans le bassin de la rivière Davo est de 1472,5 mm/an, à l’horizon 2060, elle est de 1157,7 mm/an suivant RCP4.5 et de 1105,3 mm/an avec le scénario RCP8.5. La comparaison entre les précipitations moyennes annuelles simulées par le modèle climatique régional RCA4 et les précipitations moyennes annuelles observées montre une baisse des précipitations de 21,4 % (soit 315,1 mm) et 24,9% (soit 366,7 mm) à l’horizon 2060 respectivement pour le scénario RCP4.5 et RCP8.5. Á l’horizon 2100 les précipitations moyennes annuelles seraient de 1372,82 mm/an et 1455,2 mm/an respectivement suivant les scénarios RCP4.5 et RCP8.5. Á cet horizon, le modèle RCP4.5 et RCP8.5 prévoient respectivement une baisse de 6,8 % soit 99,7 mm et de 1,2 % soit 17,2 mm.

Cependant, l’augmentation des précipitations varie selon le mois et le scénario. Á l’horizon 2060, on observe une baisse de la pluviométrie sur tous les mois à l’exception du mois de juillet et de septembre pour le scénario RCP4.5.

Le scénario RCP8.5 prévoit également une baisse de la pluviométrie sur tous les mois à l’exception des mois de juin, d’août, de septembre et de décembre.

Par contre à l’horizon 2100, les mois de décembre et juin deviennent plus pluvieux.



Figure 17: Comparaison entre les précipitations moyennes mensuelles interannuelles observées (à la station de Gagnoa) et projetées à l'horizon.

➤ **Températures**

La comparaison entre températures observées et simulées aux horizons 2060 et 2100 et les données de température observées sur la période 1997-2016 a été abordée dans cette étude. La comparaison entre les températures moyennes mensuelles simulées et celles observées sur la période de référence (1997-2016) a également été faite (Figure 19). La variation moyenne annuelle des températures (minimales et maximales) est consignée dans le tableau VIII.

Tableau VIII: Evolution des températures moyennes annuelle dans le bassin selon le modèle RCA4

		1997-2016	2041-2060		2081-2100	
Paramètres	Scénarios	Moy. Obs	Moy. Obs	T.V (°C)	Moy. Obs	T.V (°C)
Tmoy (°C)	RCP4.5	26,15	27,83	+1,68	28,29	+2,14
	RCP8.5		28,48	+2,33	29,97	+3,82

Tmin : Températures Minimales ; Tmax : Températures Maximales ; T.V : Taux de variation

Les températures moyennes suivant le scénario RCP4.5 connaîtraient une hausse moyenne annuelle de 1,68 °C et 2,14 °C respectivement à l’horizon 2060 et 2100 par rapport à la moyenne annuelle observée sur la période de référence (1997-2016). Suivant le scénario RCP8.5, le modèle prévoit également une hausse des températures moyennes de 2,33 °C et 3,82 °C respectivement aux horizons 2060 et 2100 dans le bassin (figure19). Cette augmentation de la chaleur est plus significative, suivant le scénario RCP8.5 à l’horizon 2060 2100. Cela est dû à l’augmentation continue des Gaz à Effet de Serre (GES).

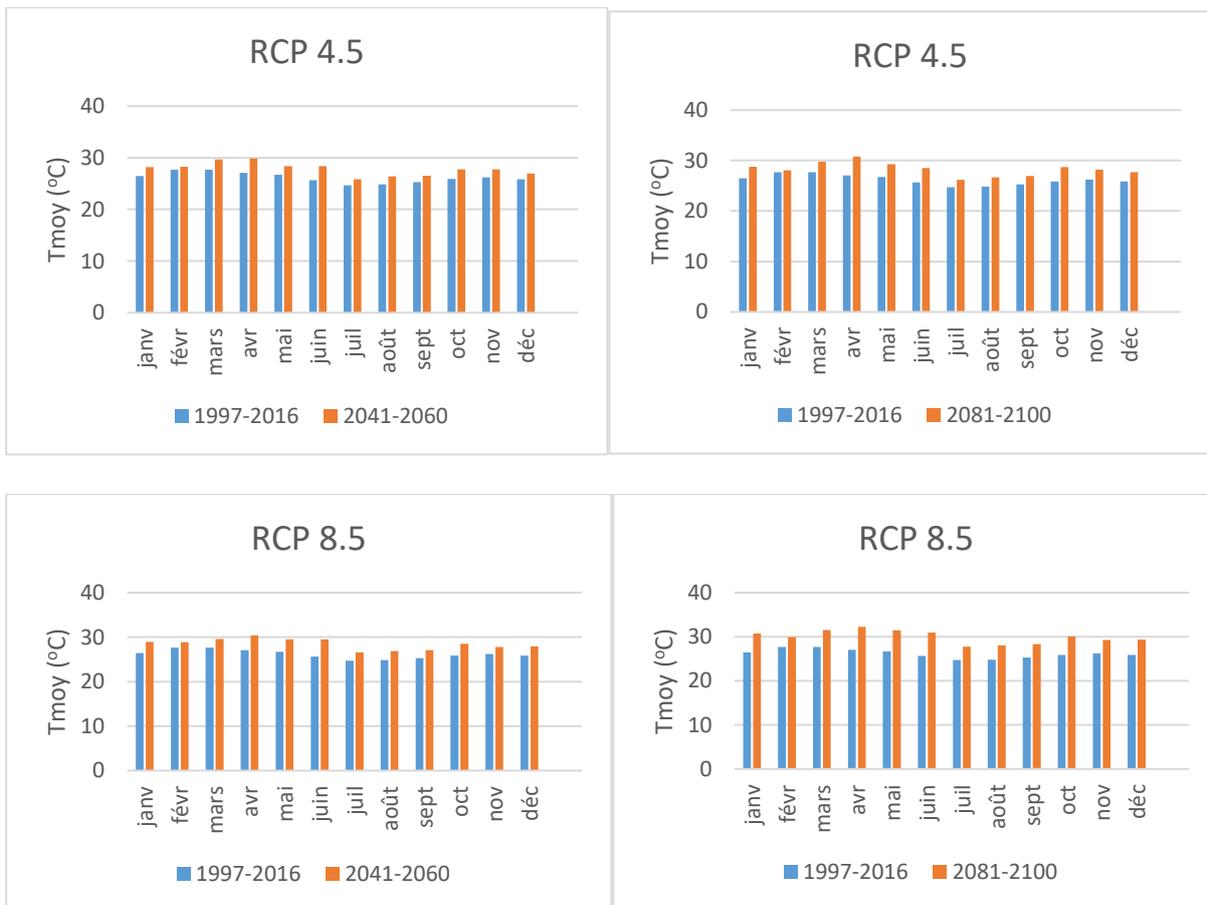


Figure 18: Variation moyenne mensuelle des températures moyennes interannuelles (à la station de Gagnoa)

3.1.2.5 Impact potentiel des changements climatiques sur le bilan hydrologique

➤ **Calage et validation du modèle**

Le modèle a été calé et validé sur plusieurs périodes parmi lesquelles nous avons retenu la meilleure période c'est-à-dire celle qui présente le meilleur critère de Nash au calage et à la validation. Ainsi les périodes retenues sont 1976-1982 (pour le calage) et 1984-1993 (pour la validation). Ainsi les périodes retenues sont 1976-1982 (pour le calage) et 1984-1993 (pour la validation) respectivement pour Dakpadou (Tableau IX).

Tableau IX: Résultats des calages et validations du modèle hydrologique GR2M

		Phases	
		Calage	Validation
		Dakpadou	Dakpadou
Périodes		1976-1982	1984-1993
Paramètres	X1	6,38	7,80
	X2	0,70	0,70
	Nash (%)	69,9	57,3

La calibration du modèle GR2M donne des résultats satisfaisants pour la station de Dakpadou. Le critère de Nash obtenus lors de la calibration du modèle avec les données de la station est de 69,9 %. La validation a donné un résultat moins bon avec pour Nash 57,3%. Les figures 20 et 21 présentent les hydrogrammes des débits observés et simulés au calage et à la validation dans la station de Dakpadou. L'analyse des graphes obtenus lors de cette simulation montre que la dynamique des écoulements est respectée. Cependant, des écarts très importants existent. Le modèle hydrologique GR2M, à la validation, traduit la dynamique des écoulements (figure 20).

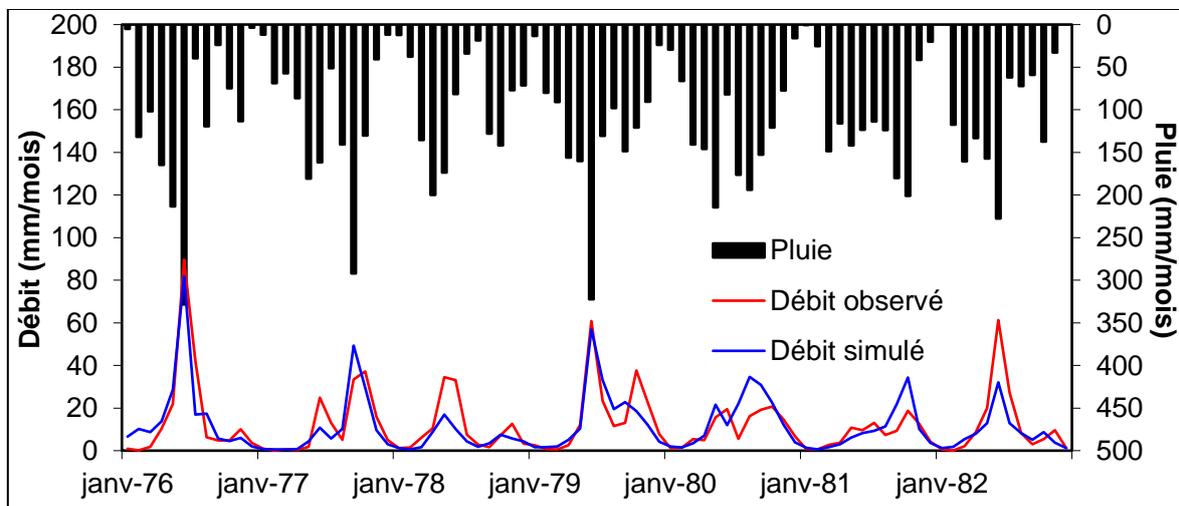


Figure 19: Calage de GR2M à Dapkadou 1976-1982 (7 ans)

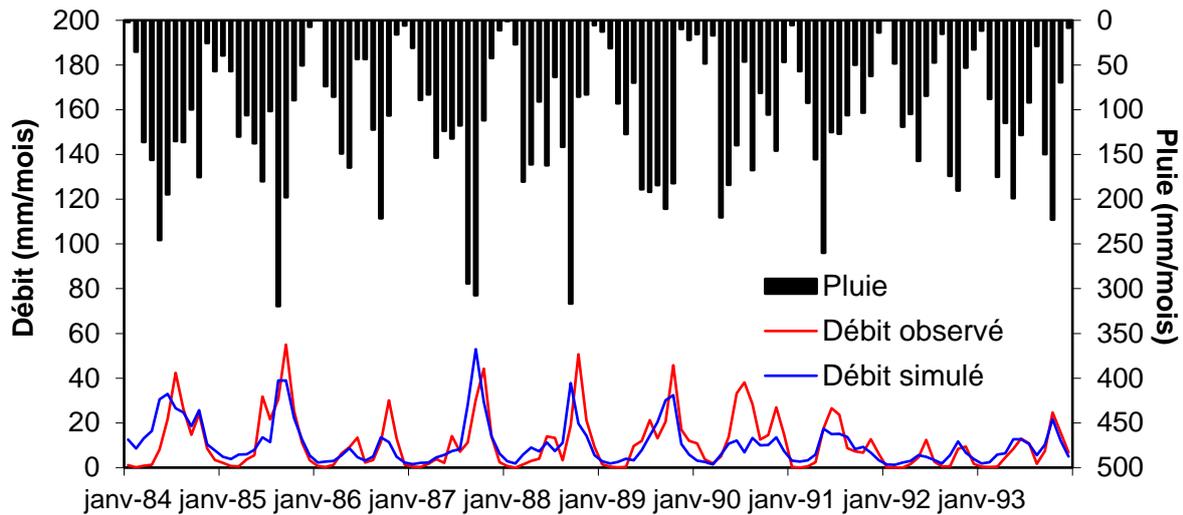


Figure 20: Validation de GR2M à Dapkadou 1984-1993 (10 ans)

3.1.2.6 Simulation des écoulements observés (1997-2016) et futurs (2041-2060)

L'évolution des débits aux horizons futurs prévoit une diminution des débits à l'horizon 2060 et une reprise à l'horizon 2100. En 2016, le débit est de 28,3 m³/s et à l'horizon 2060 et 2100, le débit est respectivement de 27,2 m³/s et 52,6 m³/s dans le cas du scénario RCP4.5. Par contre, le scénario RCP8.5 prévoit un débit de 10,3 m³/s à l'horizon 2060 et un débit de 21,1 m³/s à l'horizon 2100. Cette différence de débits entre les deux scénarios est due à l'augmentation continue des gaz à effet de serre.

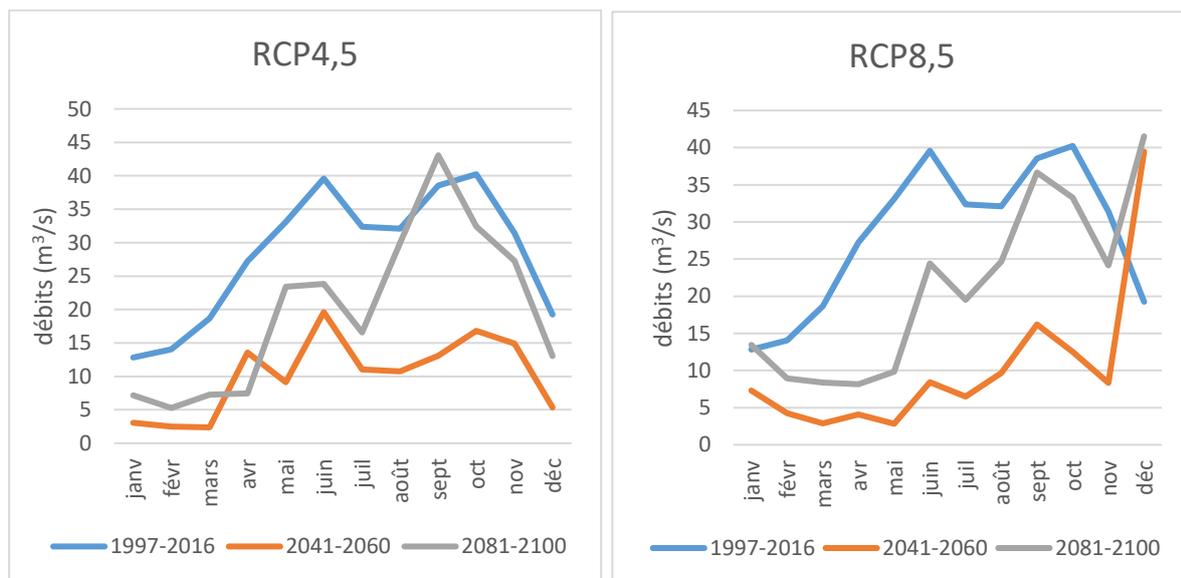


Figure 21: Evolution des débits actuels (1997-2016) et aux horizons 2060 et 2100

3.1.3. Evolution des paramètres du bilan hydrologique aux horizons futurs

Le bilan hydrologique à l'horizon 2060 révèle, selon le scénario RCP4.5, des valeurs de 122,1 mm/an, 884,5 mm/an, 151,1 mm/an respectivement pour les écoulements, l'ETR et l'infiltration. Suivant le scénario RCP8.5, les valeurs des écoulements, de l'ETR et des infiltrations sont respectivement de 99,5 mm/an, 877,4 mm/an et 128,4 mm/an sur à l'horizon 2060. A l'horizon 2100, les écoulements, l'ETR et les infiltrations sont respectivement évaluées à 236,7 mm/an, 979,7 mm/an et 156,4 mm/an selon le scénario RCP4.5. Selon le scénario RCP8.5, à l'horizon 2100, les valeurs sont évaluées à 253 mm/an pour les écoulements, 956,5 mm/an pour l'ETR et 241,5 mm/an pour les infiltrations dans le bassin versant de la rivière Davo à Dakpadou. La comparaison entre les paramètres du bilan hydrologique futur et ceux du bilan hydrologique actuel a révélé des variations des termes du bilan hydrologique dans le bassin versant de la rivière. A l'horizon 2060, selon le scénario RCP4.5, la précipitation moyenne annuelle serait de 1157,7 mm/an. Les lames ruisselées et infiltrées seraient respectivement de 122,1 mm, soit 10,46% des précipitations et 151,1 mm, soit 13,05% des précipitations. L'Evapotranspiration est estimée à 884,5 mm, soit 76,4% des précipitations. Comparativement à la période de référence, les lames d'eau écoulées, l'infiltration de la lame d'eau et l'ETR connaîtraient une baisse respective d'environ 24,8%, 26,14% et 11,03% pour le scénario RCP4.5. Selon le scénario RCP8.5 sur la période 2041-2060, le modèle prévoit une baisse plus significative de la lame d'eau écoulée, l'infiltration et de l'ETR. Par ailleurs, la lame d'eau écoulée enregistrerait une baisse de 38,7 %, l'ETR serait en baisse de 11,74% et l'infiltration connaîtrait une baisse de 37,2% par rapport à la période 1997- 2016. Sur la période 2081-2100 les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 prévoient une hausse importante de ruissellements et une baisse de l'ETR et de lame d'eau infiltrée. La lame d'eau ruisselée serait en hausse d'environ 45,6 % et 55,69 % respectivement pour RCP4.5 et RCP8.5 alors que l'ETR et la lame d'eau infiltrée seraient en baisse respectivement de 1,46% et 23,55% pour le scénario RCP4.5. Cependant le scénario RCP8.5 prévoit une baisse de 3,8% de l'ETR et hausse de 18 % par rapport à la période 1997-2016 (période de référence).

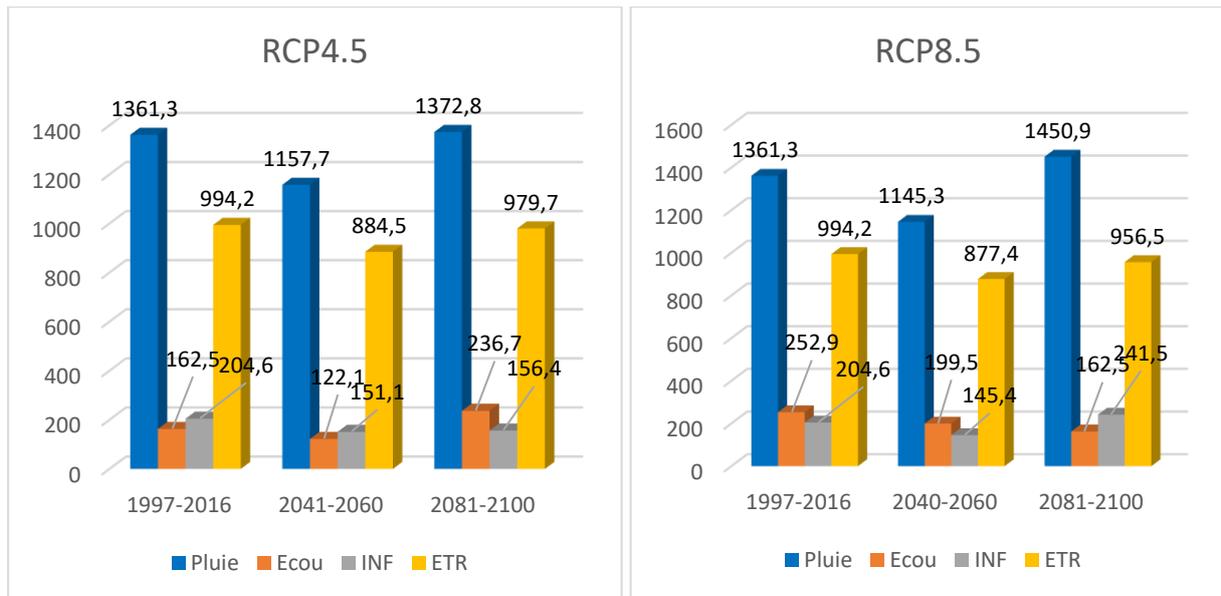


Figure 22: Evolution des paramètres du bilan hydrologique dans le bassin versant de la rivière Davo

Dans l'ensemble, la projection des paramètres climatiques (pluies et températures) et la simulation des paramètres du bilan hydrologiques (Pluie, lame d'eau écoulee, Evapotranspiration réelle et l'infiltration) aux différents horizons montre d'une part une baisse de la pluviométrie à l'horizon 2060 et 2100. Les températures seraient en hausse sur les deux horizons. Cependant, les lames d'eau écoulées et l'ETR et l'infiltration seraient en baisse sur la période 2041-2060. Sur la période 2081-2100, l'infiltration d'eau serait en baisse (RCP4.5) et en hausse (RCP8.5) alors que l'ETR et la lame d'eau connaîtraient une baisse moins significative.

3.2 DISCUSSION

Les résultats de la comparaison des températures et précipitations moyennes mensuelles simulées par le modèle RCA4 avec celles observées a permis de vérifier la fiabilité du modèle climatique. Le modèle RCA4 traduit assez fidèlement les variations saisonnières des températures et des précipitations du bassin versant de la rivière Davo où le climat comporte deux saisons dont une pluvieuse et une sèche (Kouassi et al., 2018). L'analyse de l'indice standardisé des précipitations et d'évapotranspiration (SPEI) appliqué aux précipitations de la période de référence 1997-2016 a permis de mettre en évidence deux types de période sur l'ensemble du bassin. Une première période humide de 2003 à 2016. Une seconde période relativement sèche en 2006 et 2012 apparaît sur l'ensemble du bassin versant. Ces résultats ont une bonne similitude avec la plupart des études menées en Afrique de l'Ouest en générale et en Côte d'Ivoire en particulier par Aké (2010) et Kouakou (2011). Les résultats de la comparaison

RESULTATS ET DISCUSSION

entre les données climatiques de la période de référence (1997-2016) ont montré une diminution des débits à l'horizon 2060. Le scénario RCP4.5 et RCP8.5 prévoient respectivement un débit de 122,1 mm/an et 199,5 mm/an par rapport à la période 1997-2016 où le débit est de 162,5 mm/an. Cette baisse est relative à l'augmentation de la température. Par contre on obtient une augmentation du débit à l'horizon 2100 par rapport à la période de référence. Le scénario RCP4.5 et RCP8.5 prévoient respectivement un débit de 236,7 mm/an et 162,5 mm/an par rapport à la période 1997-2016.

A la lumière des résultats du calage et de la validation, il ressort que le modèle GR2M produit, dans l'ensemble, des performances satisfaisantes. Les critères de Nash obtenus en calage (1976-1982) et en validation (1984-1993) sont respectivement de 69,9% pour le calage et 57,3% pour la validation avec respectivement les données de la station de Dakpadou. Cependant, plusieurs auteurs (Perrin, 2000 ; Kouassi, 2007 ; Kouakou, 2011 ; Mangoua, 2013) ont montré une dégradation des valeurs de Nash en passant du calage à la validation. D'ailleurs, sur ce même bassin, Ardoin (2004) a trouvé des valeurs de Nash en calage (1971-1987) et en validation (1988-1995) respectives de 62% et 56,6%. Par ailleurs, le modèle GR2M calé et validé a permis d'effectuer les simulations sur la période 1997-2016. Ainsi, les principaux paramètres du bilan hydrologique que sont les hauteurs de pluies annuelles, l'évapotranspiration réelle (ETR), le débit et la lame d'eau infiltrée ont été évaluées. Ce bilan montre que l'ETR est le paramètre le plus dominant avec une valeur de 994,2 mm/an à Dakpadou, soit 73% des précipitations. L'importance de ce terme sur le bassin versant de la rivière est due à la mise à nu des sols due à l'agriculture et à la destruction du couvert forestier (Yao, 2015). Les résultats de cette étude se situent dans le même ordre de grandeur que ceux obtenus par Kouakou (2011), Mangoua (2013) et Yao (2015) respectivement sur les bassins de la Comoé, de la Baya et de la Lobo. A la suite de l'ETR, vient par ordre d'importance la lame d'eau infiltrée. L'infiltration du bassin de la rivière Davo est estimée à 204,6 mm/an (15% des précipitations) à Dakpadou. Cette valeur s'intègre bien dans le ratio observé par la plupart des études menées dans d'autres parties de la Côte d'Ivoire (Kouassi, 2007 ; Dibi, 2008 ; Kanohin, 2010 ; Kouakou, 2011 ; Mangoua, 2013). Les valeurs de recharges estimées dans ces études sont généralement comprises entre 10% et 25% des précipitations.

La simulation des paramètres climatiques aux horizons 2060 et 2100 à Dakpadou a permis de prévoir à l'horizon le comportement hydrologique du bassin versant de la rivière Davo soumis aux changements climatiques. L'analyse de ces projections montre qu'il se produirait des changements importants dans le bassin de la rivière Davo d'ici à 2100 comme prévu dans les

bassins de la Comoé (Yéo, 2017) et de Sassandra (Coulibaly *et al.*, 2018) qui entraîneraient une baisse des écoulements superficiels et souterrains à l'horizon 2060. En dépit des variations de la dynamique des écoulements de la rivière Davo, le régime hydrologique reste inchangé. Ces perturbations du débit ont été observées par Ardoin *et al.* (2009) dans le bassin du Sassandra. La baisse de l'infiltration a également été révélée par les travaux de Kouakou (2011) dans le bassin de la Comoé qui ont annoncé une diminution de 50% de la lame d'eau infiltrée sur l'ensemble du bassin. La hausse de la lame d'eau écoulée suivant le scénario RCP8.5 à période 2081-2100 est dû à la mise à nu des sols due à l'agriculture et à la destruction du couvert forestier (Yao, 2015).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cette étude, il était question d'évaluer l'impact des changements climatiques sur le bilan hydrologique dans le bassin versant de la rivière Davo à Dakpadou en vue d'un approvisionnement possible en eau potable à Guéyo. Les objectifs spécifiques se déclinaient en trois (3) axes. Dans le premier axe, il était question de caractériser la variabilité climatique actuelle dans le bassin, le second axe visait à caractériser la variabilité climatique aux horizons futurs et le dernier axe visait la simulation des ressources en eau de la rivière Davo. L'analyse de la variabilité pluviométrique a montré que la période sèche débutée dans les années 1997 dans le bassin de la rivière Davo s'est poursuivie avec incursion d'humidité jusqu'en 2016 dans la localité de Daloa et Gagnoa selon notre observation. Les effets des changements climatiques sous les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 dans le bassin ont été évalués à l'aide du modèle climatique régional RCA4. Le modèle prévoit, d'une part une hausse des températures moyennes de 1,68 °C et 2,14 °C à sur les périodes 2041-2060 et 2081- 2100 sous le scénario RCP4.5 et d'autres parts sous le scénario RCP8.5, une augmentation de 2,33 °C à 3,82 °C serait constatée respectivement pour les mêmes horizons. Le modèle RCA4 prévoit en outre, une baisse de la pluviométrie moyenne annuelle de 21,4% (RCP4.5) et 24,9% (RCP8.5) sur la période 2041-2060 et une baisse de 6,8% prévu suivant le scénario RCP4.5 et 1,2% suivant le scénario RCP8.5 sur la période 2081-2100. La robustesse du modèle hydrologique GR2M a été évaluée dans cette étude afin d'estimer les effets des changements climatiques sur les écoulements. Le modèle hydrologique GR2M a été calé et validé sur les stations pluviométriques à Dakpadou. Le calage et la validation du modèle ont donné des critères de Nash 69,9% pour le calage et 57,3% pour la validation. Le bilan hydrologique effectué sur la période 1997-2016 a révélé une pluviométrie moyenne de 1361,3 mm et une perte par évapotranspiration réelle de 994,2 mm soit 73% des précipitations. La lame d'eau ruisselée et infiltrée représente respectivement 162,5 mm et 204,6 mm, soit respectivement 11,94% et 15% des précipitations. Comparativement à ce bilan de la période 1997-2016, la période 2041-2060 enregistrera une baisse de la lame d'eau ruisselée et infiltrée et de l'évapotranspiration. Cependant, le modèle prévoit une hausse des écoulements au détriment d'une baisse de l'ETR et de la lame d'eau infiltrée à l'horizon 2100 selon le scénario RCP4.5. Cette étude, loin de traiter tous les enjeux liés aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eaux dans le bassin versant de la rivière Davo, ouvre la voie à plusieurs perspectives en vue d'éviter des problèmes liés à la disponibilité en eau dans le bassin. Il est question de :

- approfondir l'évaluation des impacts des changements climatiques sur les ressources en eau dans le bassin versant de la rivière Davo à l'aide de modèle distribué qui subdivise le bassin

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

versant en plusieurs sous-bassins pour mieux étudier les variations et prendre en compte l'état physique du bassin versant ;

- utiliser plusieurs modèles climatiques régionaux (CCLM, RACCM22T, ...) pour mieux approcher les valeurs des paramètres climatiques dans le bassin versant de la rivière ;
- mettre en place un modèle climatique régional à l'échelle réduite à la Côte d'Ivoire pour mieux traiter les phénomènes de changements climatiques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adja M.G. (2009). Etude de l'état hydrique saisonnier du bassin versant de la Bagoé dans un contexte de variabilité climatique. Département de Boundiali et Tengrela (milieux soudano-sahéliens au Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 184 p.
- Anoh K.A. (2014). Apport d'un SIG et du modèle Agro-hydrologique SWAT dans la gestion durable des ressources en eau du bassin versant du lac de Taabo (Centre de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 162 p.
- Ardoin B. S. (2004). Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II (France), 330 p
- Banque Africaine de Développement (2000). Vision Africaine de l'eau pour 2025 Exploitation équitable et durable de l'eau aux fins de développement socio-économique. Rapport principal ; *BAD/UA/CEA*, 251 : 29-64.
- Biemi J. (1992). Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Hydrostructurale, Hydrodynamique, Hydrochimie et Isotopie des aquifères discontinus de sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat d'Etat, Université d'Abidjan (Abidjan, Côte d'Ivoire), 424 p.
- Goula B.T.A., Savane I., Konan B., Fadika V., Kouadio G.B. (2006). Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'zo et N'zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide), *Vertigo*, 1 : 1-12.
- Kabouya M. et Michel C., (1991). Estimation des ressources en eau superficielle aux pas de temps mensuel et annuel, application à un pays semi-aride. *Revue des Sciences de l'Eau*, 4(4) : 569-587.
- Kouakou K. E. (2011). Impacts de la variabilité climatique et du changement climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest : Cas du bassin versant de la Comoé. Thèse Unique de Doctorat, Université Abobo-Adjamé (Côte d'Ivoire), 186 p
- Kouassi A. M. (2007). Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat Unique, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 210 p.
- Makhlouf, Z. (1994). Compléments sur le modèle pluie-débit GR4J et essai d'estimation de ses paramètres. Thèse de Doctorat, Université Paris XI Orsay, 426 pp.
- Mouelhi, S. (2003). Vers une chaîne cohérente de modèles pluie-débit conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel et journalier. Thèse de Doctorat, ENGREF, Cemagref Antony (France), 323 p.
- Mouelhi S. Michel C., Perrin C. & Andréassian V. (2006). Stepwise development of a two parameter monthly water balance model. *Journal of Hydrology*, 318(1-4) : 200-214.
- Mora D.E., Campozano L., Cisneros F., Wyseuré G. & Willems, P. (2014). Climate changes of hydrometeorological and hydrological extremes in the Paute basin, Ecuodorea Andes. *Hydrological Earth System Science*, 18 : 63-648.
- Nash J.E. & Sutcliffe J.V. (1970). River flow forecasting through conceptual models. Part I : a discussion of principles. *Journal of hydrology*, 10 : 282-290.
- Nicholson S.E. (1980). The nature of rainfall fluctuation in subtropical West Africa, *Monthly Weather Review*, 108 : 473-487.
- Ouédraogo M. (2001). Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante : normes hydrologiques et modélisation régionale. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II (France), 258 p.
- Rosni T. & Himayoun D. (2019). Spatio-temporal variation of drought characteristics, water resource availability and the relation of drought with large scale climate indices: A case study of Jhelum basin, India. *Elsevier*, 525 : 140–150.
- Sorokoby V.M. (2013). Étude hydrologique et hydrogéologique de la région de Soubré (SudOuest de la Côte d'Ivoire) dans un contexte de variabilité climatique. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 164 p,
- Thorntwaite, C.W., (1948). An approach toward a rational classification of climate. *The geographical review*, 55-94
- Yao A.B. (2015). Evaluation des potentialités en eau du bassin versant de la Lobo en vue d'une gestion rationnelle (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 192 p

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Yéo W.E. (2017). Effects of climate change and human activities on water resources in the Comoe river basin (West Africa). Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou (Republic of Benin), 118 p.

RÉSUMÉ

Cette étude a pour but d'évaluer les impacts potentiels des changements climatiques sur les ressources en eau de la rivière Davo à Dakpadou pour l'approvisionnement en eau potable de la ville de Guéyo. La méthodologie s'appuie sur les sorties du modèle climatique régionale RCA4 selon les scénarios RCP4.5 et RCP8.5. La simulation des débits aux horizons 2060 et 2100 a été effectuée par le modèle GR2M. Les résultats de la caractérisation des changements climatiques montrent que les températures connaîtront une hausse de 1,68 °C et 2,14 °C respectivement aux horizons 2060 et 2100 pour le scénario RCP4.5.

Le scénario RCP8.5 montre une hausse de 2,33°C et 3,82 °C respectivement aux horizons 2060 et 2100. Au niveau des précipitations, on note une baisse de 21,4% et de 24,9% respectivement aux horizons 2060 et 2100 pour le scénario RCP4.5. Quant au scénario RCP8.5, les résultats montrent une baisse de 24,9% et de 1,2% respectivement aux horizons 2060 et 2100.

L'impact de ces variations sur les paramètres du bilan hydrologique indique une baisse des écoulements de 40 mm à l'horizon 2060 ; par la suite ces écoulements connaîtront une reprise (augmentation) de l'ordre de 114 mm par rapport à l'horizon 2100 pour le scénario RCP 4.5.

Le scénario RCP8.5 prévoit une baisse des écoulements de 53,4 mm à l'horizon 2060 par rapport à la période 1997-2016 et une baisse de 37 mm par rapport à l'horizon 2100. Ces résultats constituent un important outil d'aide à la décision pour l'amélioration de la gestion des ressources en eau de la ville de Guéyo.

Mots-clés : changement climatique, bilan hydrologique, GR2M, rivière Davo, Côte d'Ivoire

ABSTRACT

This study aims to assess the potential impacts of climate change on the water resources of the Davo River in Dakpadou for the drinking water supply of the city of Guéyo. The methodology is based on the outputs of the RCA4 regional climate model according to the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios. The simulation of flows in the 2060 and 2100 horizons was carried out by the GR2M model. The results of the climate change characterization show that temperatures will increase by 1,68 °C and 2,14 °C respectively by 2060 and 2100 for the RCP4.5 scenario.

The RCP8.5 scenario shows an increase of 2,33 °C and 3,82 °C respectively for the 2060 and 2100 horizon. In terms of precipitation, there is a decrease of 21,4% and 24,9% respectively for the 2060 and 2100 horizons. for the RCP4.5 scenario. As for the RCP8.5 scenario, the results show a drop of 24,9% and 1,2% respectively for 2060 and 2100.

The impact of these variations on the water balance parameters indicates a drop in flows of 40 mm by 2060; Subsequently, these flows will experience a recovery (increase) of the order of 114 mm compared to the 2100 horizon for the RCP 4.5 scenario.

The RCP8.5 scenario predicts a decrease in flows of 53,4 mm by 2060 compared to the period 1997-2016 and a decrease of 37 mm compared to the horizon 2100. These results constitute an important tool of decision support for improving the management of water resources in the city of Guéyo.

Keywords: climate change, hydrological balance, GR2M, Davo river, Ivory Coast