Dynamiques des conditions climatiques dans le bassin versant de la Lobo (centre ouest de la Côte d'Ivoire)

dynamics of climatic conditions in the lobo watershed (central-western Côte d'Ivoire)

[1]DAGNOGO Beh Siaka, [2]N'DA Kouadio Christophe et [3]DIBI-ANOH Agoh Pauline

Résumé

À l'instar de la situation climatique qui prévaut à l'échelle du pays ces dernières décennies, le climat dans le centre-ouest de la Côte d'Ivoire est particulièrement instable et donc peu prévisible. L'agriculture de type pluvial subit les conséquences de ces perturbations climatiques. Pour s'adapter efficacement et anticiper les effets probables, il est nécessaire de comprendre les tendances actuelles et futures du climat. Dans cet élan, la présente étude a pour objectif d'analyser l'évolution des précipitations et températures actuelles (1982-2020) et futurs (2021-2080) en vue de prévoir des options d'adaptation.

L'approche méthodologique s'est basée sur l'utilisation de données climatiques historiques (1982-2020) et futures (2021-2080) collectées sur un pas de temps journalier. Les données CHIRPS ont permis l'étude du climat historique tandis qu'une moyenne multimodèle du programme CORDEX est utilisée pour le futur.

Les résultats indiquent que le climat devrait se réchauffer à l'échelle du bassin versant. Les températures pourraient augmenter de 1,85°C au nord à plus de 2,59°C au sud autour de 2080 où les moyennes historiques sont respectivement de 27°C et 26°C. Ce réchauffement se traduit également par l'augmentation du nombre de jours chauds dans le nord où il atteint à partir de 2012 plus de 80 jours, largement supérieur à la moyenne locale située autour de 40 jours. Les projections climatiques prévoient une diminution des précipitations de -156,97mm à Daloa et -180,43mm à Issia. À Vavoua, c'est plutôt une hausse de 122 mm qui est attendue en 2080. Le régime bioclimatique affichera une tendance unimodale à l'horizon 2080 contrairement à la période historique où il est de type bimodal. Pendant que l'humidité s'installe dès le mois de mars sur la période historique, l'unique saison humide future pourrait démarrer avec deux mois de retard, entre juin et juillet.

Mots clés : Côte d'Ivoire, Bassin-versant de la Lobo, Scenario climatique RCP8.5, Réchauffement climatique.

Abstract

Like the climatic situation prevailing across the country in recent decades, the climate in the central-west of Côte d'Ivoire is particularly unstable and therefore unpredictable. Rain-fed agriculture suffers the consequences of these climatic disturbances. To adapt effectively and anticipate probable effects, it is necessary to understand current and future climate trends. In this context, the present study aims to analyze the evolution of current (1982-2020) and future (2021-2080) precipitation and temperature in order to propose adaptation options. The methodological approach was based on the use of historical (1982-2020) and future (2021-2080) climate data collected on a daily time scale. CHIRPS data allowed the study of the historical climate, while a CORDEX multi-model average is used for future projections. The results indicate that the climate is expected to warm across the watershed. Temperatures could increase by 1.85°C in the north to more than 2.59°C in the south around 2080, where historical averages are respectively 27°C and 26°C. This warming also manifests in an increase in the number of hot days in the north, where it exceeds 80 days starting from 2012, well above the local average of around 40 days. Climate projections predict a decrease in precipitation of -156.97 mm in Daloa and -180.43 mm in Issia. In Vavoua, an increase of 122 mm is expected by 2080. The bioclimatic pattern will show a unimodal trend by 2080, unlike the historical period when it was bimodal. While humidity historically begins in March, the future single rainy season could start with a two-month delay, between June and July.

Keywords: Côte d'Ivoire, Lobo watershed, RCP8.5 Climate scenario, Global warming.

Introduction

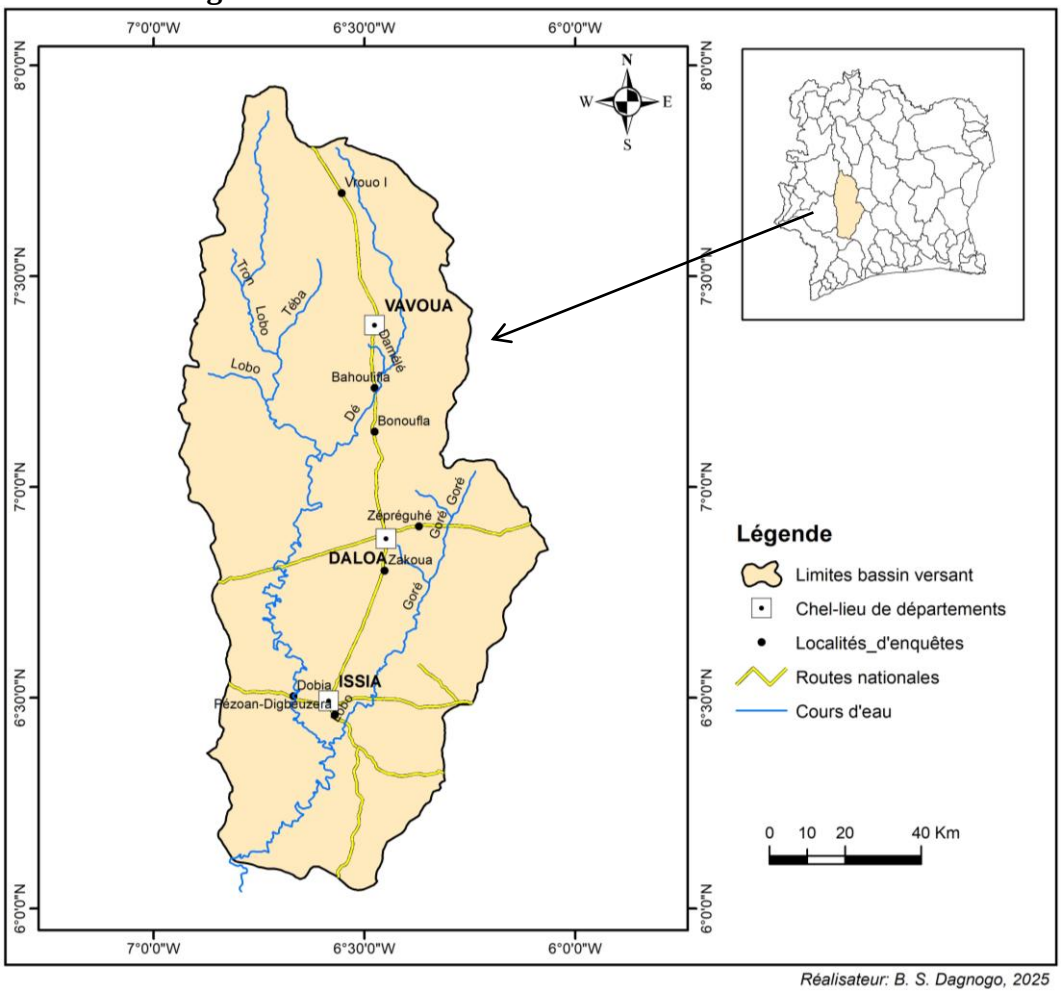
En Côte d'Ivoire, des analyses sur ces 50 dernières années indiquent que le climat est particulièrement instable et sensible aux variations des interactions entre l'océan, l'atmosphère et les modifications environnementales (K. C. N'DA 2016, p. 105). Il est également démontré que l'homme a une importante part de responsabilité dans ce dérèglement actuel du climat. En effet, d'après les récents travaux du GIEC (2021, p. 4), il est noté sans équivoque que l'influence humaine a réchauffé les océans et la Terre. Ce réchauffement a produit des modifications importantes et rapides dans l'atmosphère et la biosphère parmi lesquelles figure en première ligne la perturbation spatiotemporelle des paramètres climatique (GIEC 2021, p. 4).

Particulièrement en Côte d'Ivoire, dans la plupart des stations de mesure météorologique, une hausse continue des températures et des ruptures pluviométriques sont constatées autour des années 1970 (Y. T. BROU 2005, p. 534). L'aridification du climat ivoirien s'est faite de manière progressive d'une décennie à l'autre en s'étendant graduellement au centre et à l'ouest avant d'atteindre le littoral du pays à la fin des années 1980 (M. DIOMANDÉ 2013, p. 11).

En raison de leurs potentielles répercussions immédiates et durables sur le milieu naturel et sur l'homme (E. NUAMA 2010, p. 40), les questions de variabilité climatique sont placées au centre de cette étude. L'enjeu étant la connaissance des conditions climatiques actuelles et futures dans une perspective d'adaptation. D'où la question de savoir *:* quelles sont les dynamiques actuelles et futures des conditions hydroclimatiques dans le bassin versant de la Lobo ?

L'objectif de ce travail est d'analyser l'évolution des paramètres climatiques à l'échelle du bassin versant de la Lobo. Ce bassin versant est situé dans le centre-ouest de la Côte d'Ivoire entre les longitudes 6° et 6°55 Ouest, et les latitudes 6° 20 et 7° 55 Nord avec une superficie de 12 745 km² (figure 1).

Figure 1 : Localisation du bassin versant de la Lobo



Source des données : BNETD, 2016

1. Données et méthodes de l'étude

1.1. Données de l'étude

Les données de la présente étude concernent les séries de température (maximale, minimale et moyenne) et de précipitations collectées sur un pas de temps journaliers. Elles couvrent les périodes 1982-2020 et 2021-2080. Les données historiques sont issues des réanalyses CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed with Station). Elles ont été téléchargées à une résolution de 0,25° x 0,25° sur le site https://clim-engine.appspot.com/climateEngine. Le choix de ces données repose sur leur validation et large utilisation dans plusieurs études et leur libre accès (R. SANKARA 2020, p. 23 ; H. J. AMON 2022, p. 35).

Pour ce qui est des données de projections, elles ont une résolution spatiale de 0,50° x 0,50° et sont issues du projet CORDEX (COordinated Regional climate Downscalling EXperiment) qui a l'avantage de combiner des modèles climatiques globaux et régionaux. Pour cette étude, la moyenne issue de 14 simulations de 8 Modèles Climatiques Régionaux (MCR) (F. GIORGI et W. GUTOWSKI 2015, p.470) est utilisée. À ce propos, les recherches antérieures sur

l'Afrique de l'Ouest, y compris la Côte d'Ivoire (B. DOUKPOLO 2014, p. 39 ; F. ALLECHY et al. 2021, p. 96) montrent que l'ensemble moyen des modèles fournit des résultats plus fiables que les observations isolées. Le scénario RCP 8.5 (le plus pessimiste) qui suppose une forte dépendance continue aux énergies fossiles et une absence de politiques climatiques ambitieuses est celui pris en compte dans l'étude. Il permet d'anticiper les variations climatiques futures les plus sévères possibles, afin de renforcer la résilience des systèmes socioécologiques face aux impacts climatiques projetés (D. VAN VUUREN et al. 2011, p. 20).

1.2. Méthodes d'analyse de la variabilité climatique

1.2.1. Indice climatique de Lamb

En vue d'apprécier la variabilité climatique dans le bassin versant de la *Lobo* sur la période d'étude, la méthode de l'indice de P. LAMB (1982) a été appliquée. Elle permet de mesurer les écarts entre les quantités de pluies de chaque année et la moyenne établie sur la période historique et future. Un indice supérieur à 1 correspond à une année humide tandis qu'un indice inférieur -1 reflète une année sèche. Si l'indice est compris entre -1 et 1, alors l'année est considérée comme proche de la moyenne. Ces indices normalisés ont été utilisés dans plusieurs études pour caractériser les tendances climatiques (K. C. N'DA, 2016, p. 85, H. J. AMON 2016, p. 15). Il a également été utilisé pour les températures par la formule suivante :

$$I = \frac{X_i - M}{\sigma}$$

Avec : I : Indice pluviométrique de l'année i ; X_i : pluie saisonnière de l'année i ; M : Valeur moyenne de la pluie sur la période de référence, dans cette étude : 1982-2020 ; σ : écart type de la pluie sur la période de référence.

1.2.2. Identification du nombre de jours chauds dans l'année

Dans la présente étude, est considéré comme jour chaud, un jour où la température maximale est supérieure ou égale à 35°C. Sur cette base, les jours répondant à ce critère sont identifiés puis agrégés au pas de temps annuel. La détermination de cet indice a été facilitée par l'utilisation du logiciel Climpact2Master disponible sous l'environnement de R et qui nécessite impérativement des données de précipitations et de températures (maximale et minimale).

1.2.3. Détermination des saisons culturales

Depuis les années 1970, les études menées sur le démarrage de la saison des pluies en Afrique de l'Ouest proposent trois grandes approches : climatologique, hydrologique et agronomique (R. MARTEAU, 2010, p. 46). Dans la présente étude, le démarrage agronomique notamment par la méthode développée par M. SIVAKUMAR (1988, p. 298) et adaptée par T. A. GOULA et al. (2010, p. 5996) en Côte d'Ivoire est privilégié. Suivant cette approche :

- Les dates de début de la première et de la seconde saison humide correspondent respectivement aux dates X et Y respectivement après le 11 mars et le 1er août quand il y a au moins 20 mm de pluie en deux (2) jours consécutifs sans une période sèche de plus de sept (7) jours consécutifs dans les trente (30) jours suivants.
- Les dates de fin de la première et de la seconde saison humide interviennent respectivement après le 1er juillet et le 1er novembre lorsque le stock d'eau du sol est inférieur ou égal à 0,5 mm, donc quand la consommation en eau de la plante est supérieure à la réserve utile du sol.

La longueur de la saison humide, quant à elle, correspond à la différence entre ces deux dates.

2. Résultats

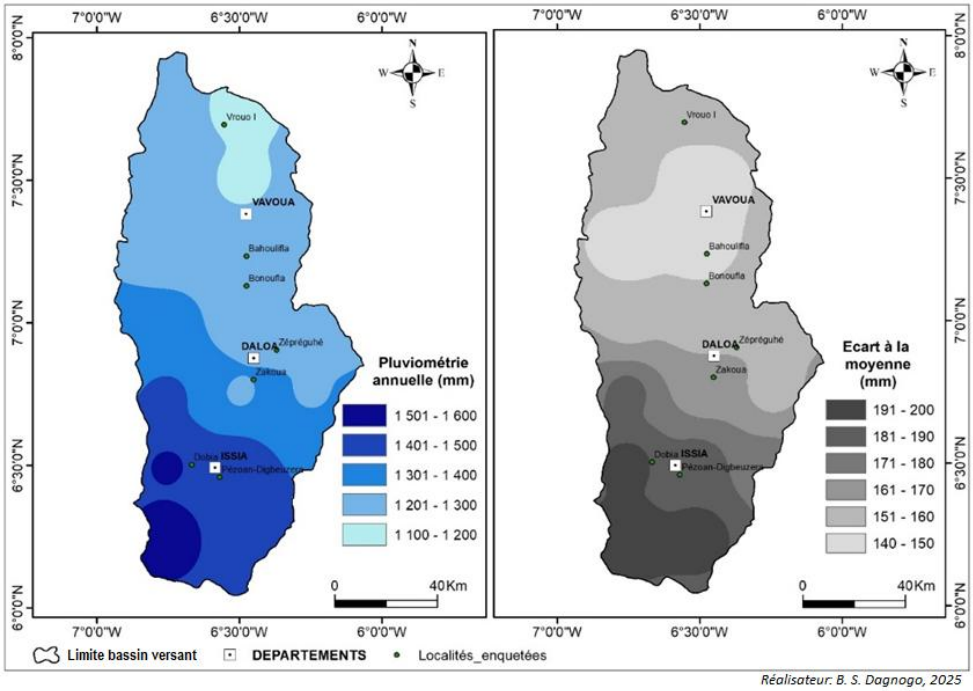
2.1. Tendances contrastées des précipitations dans le bassin de la Lobo

2.1.1. Hausse des précipitations actuelles à l'échelle du bassin versant de la Lobo

La

Fig présente la répartition spatiale des cumuls pluviométriques annuels dans le bassin versant de la Lobo sur la période 1982-2020. L'analyse met en évidence une importante variabilité spatiale des cumuls pluviométriques avec 1157 mm dans le nord-est et 1600 mm au sud-ouest du bassin versant.

Figure 2 : Répartition spatiale des pluies moyennes annuelles dans bassin versant de la Lobo



Source des données : CHIRPS, 2022

Ces cumuls à l'échelle du bassin sont dominés par des isohyètes situées entre 1200 et 1400 mm, avec des écarts moyens de l'ordre de 140 à 200mm. Les zones sud et sud-ouest sont

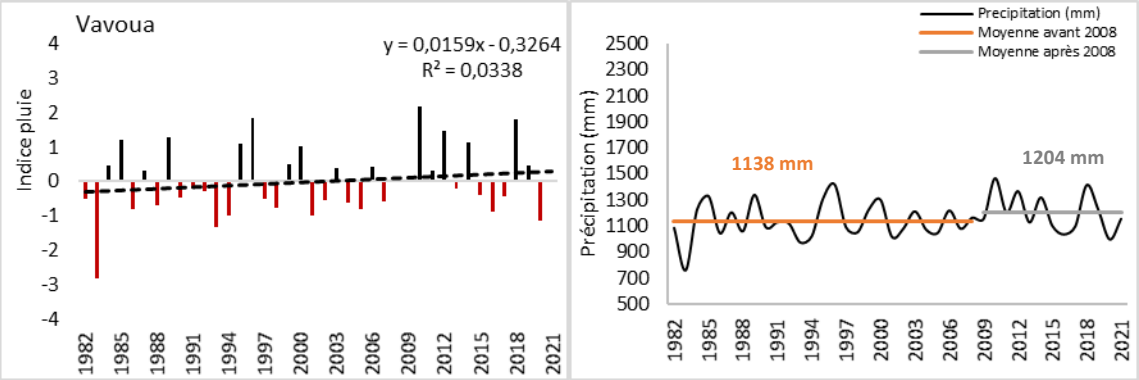
celles qui reçoivent les plus importantes précipitations, généralement autour de 1500 à 1600 mm. Cependant, les variations y sont également les plus élevées, autour de 181mm à 200mm d'une année à l'autre. Les zones centre et nord reçoivent quant à elles des précipitations moyennes autour de 1100mm à 1300mm. La pluviométrie dans le bassin versant de la Lobo obéit donc à un gradient croissant nord-sud.

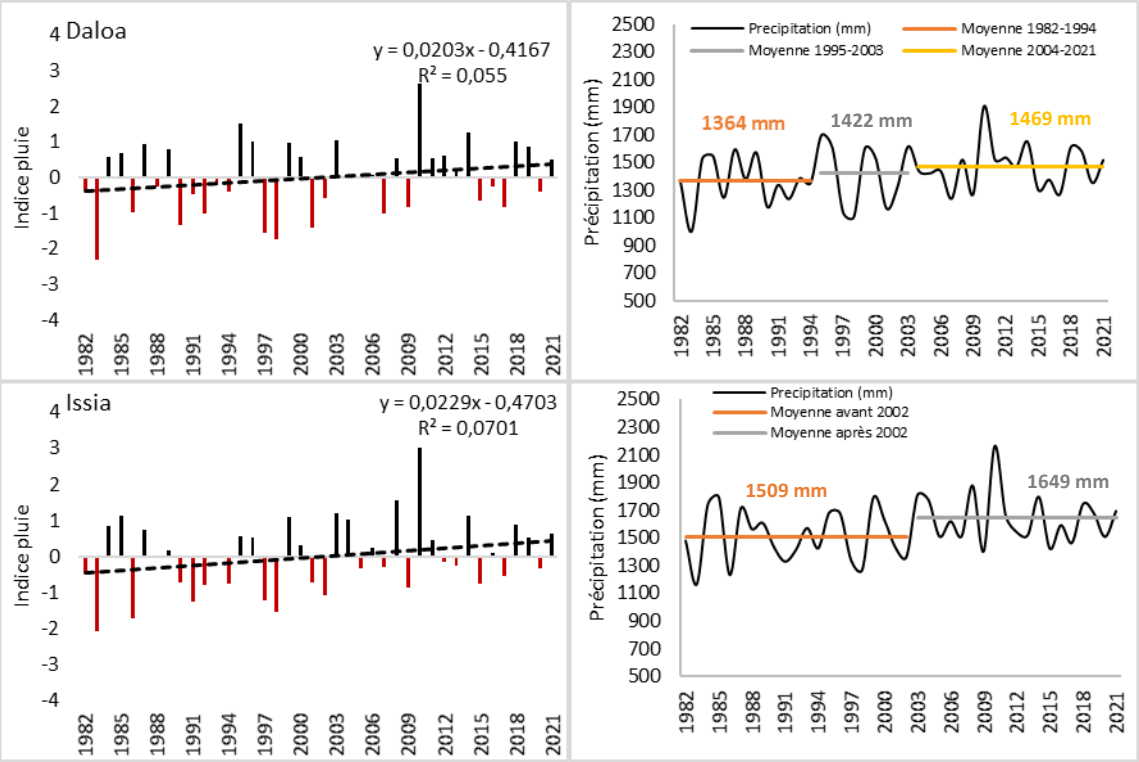
Concernant l'évolution des précipitations dans les zones nord, centre et sud du bassin versant respectivement représentées par les localités de Vavoua, Daloa et Issia, leur tendance est croissante de 1982 à 2020. Cette hausse comporte cependant différentes phases tantôt humides ou sèches (figure 3Figure).

Dans le nord, la tendance à la hausse des précipitations inclut 60% d'années sèches entre 1982 et 2020. Au cours de ces années déficitaires, la pluviométrie est inférieure à la normale de Vavoua estimée à 1161,3 mm/an. Deux phases caractérisent l'évolution des précipitations à Vavoua : une, déficitaire, avant 2008 et l'autre, excédentaire, dès 2008.

La période précédant 2008 comprend 63% d'années sèches avec des années qui se distinguent par leur niveau d'extrême sècheresse comme 1983 et 1993 où les précipitations sont respectivement estimées à 765,91mm (-34% de la normale) et 977,63mm (-15,8%). La pluviométrie moyenne de 1982 à 2007 est estimée à 1138mm/an. À partir de 2008, les précipitations vont augmenter pour atteindre environ 1204mm/an. La phase 2008-2020 est donc humide. Elle comporte des années extrêmement (2010) et fortement humides (2012, 2014 et 2018). De la période 1982-2007 à celle de 2008-2020, les précipitations augmentent globalement d'environ 6% (67mm). C'est donc un signe de reprise des précipitations.

Figure 3 : Variabilité des précipitations dans le bassin versant de la Lobo





Source des données : CHIRPS, 2022

À la différence du nord, dans le centre du bassin versant de la Lobo, 45% des années sont humides entre 1982 et 2020. Dans cette partie du bassin versant, il tombe environ 1424,3 mm/an. L'évolution des précipitations dans le département de Daloa se fait en trois phases : 1982-1994, 1995-2003 et 2004-2020.

La première (1982-1994) est sèche avec seulement 30% d'années humides. Pendant cette phase, la pluviométrie moyenne est d'environ 1364 mm/an, soit 5% (61mm) moins que la moyenne de Daloa. L'année la plus sèche de la sérié chronologique est 1983 où il a plu à peu près 1001,69 mm, soit 30% moins (422,6 mm) que la pluviométrie habituelle de Daloa. C'est un niveau de sècheresse jamais vécu dans le département de Daloa depuis les ruptures pluviométriques des années 1970.

La seconde période (1995-2003) quant à elle présente une évolution des précipitations marquée d'une parité (50%) entre le nombre d'années sèches et humides. La pluviométrie moyenne durant cette période, de l'ordre de 1422mm est sensiblement proche de la normale locale. Concernant la phase 2004-2021, la pluviométrie est en moyenne de 1469 mm/an. Cette séquence a une tendance humide avec une hausse de la pluviométrie d'environ 8% par rapport à la période 1982-1994 et de 3% par rapport à la moyenne dans la localité.

Dans le sud du bassin versant de la Lobo, il pleut environ 1575 mm/an. L'analyse de l'évolution des précipitations annuelles dans le département d'Issia présente deux séquences. La première, de 1982 à 2002, est sèche (57% des années) avec quelques années modérément à

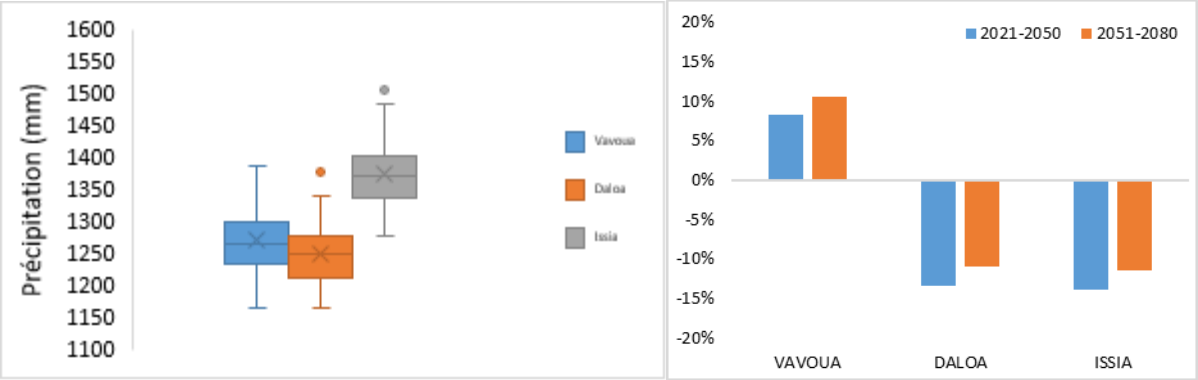
extrêmement sèches. Il tombe en moyenne 1509 mm de pluie par an entre 1982 et 2002, soit 4% moins que la moyenne locale. La seconde phase (2003-2020) en revanche, est humide avec des précipitations moyennes autour de 1649 mm de pluie par an, soit une hausse de 9,3% par rapport à la période 1982-2002. Dans l'ensemble, la zone sud est mieux lotie en termes de précipitations, en raison de sa proximité avec les flux de mousson.

2.1.2. Baisses significatives des précipitations futures par rapport à la période historique.

Aux horizons 2050 et 2080, les précipitations dans le bassin versant de la Lobo indiqueraient des tendances contraires selon les localités. Alors qu'elles seraient déficitaires à Daloa et Issia, elles devraient augmenter à Vavoua.

Les scénarios climatiques prévoient une dépréciation des cumuls pluviométriques de 13,5% à Daloa et 14% à Issia à l'horizon 2050 et de 11% à 11,5% autour de 2080 comparativement à la période 1982-2020 (figure 4).

Figure 4 : Variabilité de la pluviométrie future par rapport à celle de 1982-2020



Source des données : CHIRPS &CORDEX, 2022

Ces pertes représentent environ 150mm à 220mm de perte de précipitations.

À Vavoua, la tendance, plutôt humide, se caractérise par une augmentation de 96 mm (+8,3% de pluie) et de 122 mm (+10,6% de pluie) respectivement en 2050 et 2080 par rapport à la période historique. Ainsi, la pluviométrie moyenne dans le bassin versant de la Lobo en 2050 et 2080 sera estimée à 1257,5mm et 1284,2mm à Vavoua, 1231,96mm et 1266,67mm à Daloa et autour de 1353,83mm et 1393,4mm à Issia (tableau 1).

Tableau 1 : Synthèse des précipitations annuelles dans le bassin de la Lobo.

	Précipitation moyenne (mm)			**Variation des précipitations (mm)**		
Précipitation (mm)	Vavoua	Daloa	Issia	Vavoua	Daloa	Issia
1982-2020	1161,39	1423,64	1573,83			
2021-2050	1257,50	1231,96	1353,83	96,11	-191,68	-220
2051-2080	1284,19	1266,67	1393,40	122,80	-156,97	-180,43

Source des données : CHIRPS &CORDEX, 2022

Sur ces bases, les indices pluviométriques auront différentes tendances dans le futur. Dans les localités de Daloa et Issia, la pluviométrie sera fortement sèche tant à l'horizon 2050 comme

autour de 2080. Les baisses pluviométriques prévues dans ces localités s'accompagneront donc d'une aridification du climat local comparativement à la période 1982-2020. Pour ce qui est du département de Vavoua situé dans le nord du bassin versant de la Lobo, le climat pourrait devenir plus humide que la période actuelle d'après les projections climatiques. Un niveau d'humidité modéré défini par un maximum de 141,28mm (figure 5).

Figure 5 : **Indices pluviométriques (historique et futur) des localités de Vavoua, Daloa et Issia.**

Indices de précipitations	VAVOUA	DALOA	ISSIA
1982-2020			
2021-2050			
2051-2080			

Sècheresse extrême	*Sècheresse forte*	*Sècheresse modérée*	*Humidité modérée*	*Humide forte*	*Humidité extrême*

Source des données : CHIRPS &CORDEX, 2022

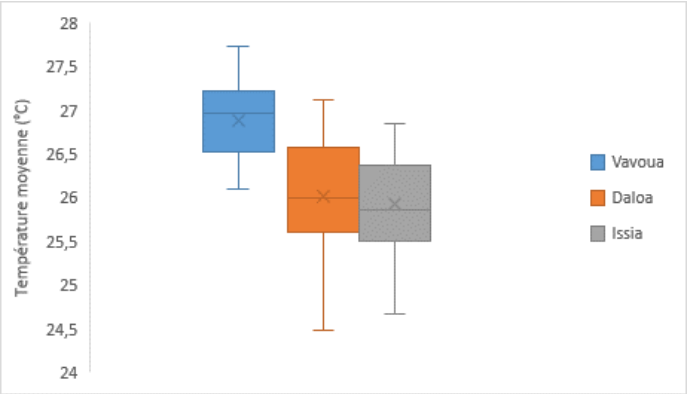
Avec les scénarios climatiques futurs, la situation pluviométrique dans le bassin versant sera marquée de pertes dans les zones centre et sud. Une situation qui s'avère inquiétante pour ces zones surtout avec une agriculture, tributaire des conditions climatiques, comme principale activité. Les agriculteurs pour éviter d'importantes pertes devront mettre en place des stratégies d'adaptation telles que l'introduction de variétés résistantes au stress hydrique et prévoir des mécanismes de gestion optimisée des ressources en eau.

2.2. Réchauffement des températures locales dans le bassin versant de la Lobo.

2.2.1. Tendance au réchauffement des températures actuelles

La figure 6 présente la variation des températures moyennes à l'échelle des départements dans le bassin versant. Ces températures oscillent entre 26,10°C et 27,8°C à Vavoua, de 24,5°C à 27,12°C à Daloa et de l'ordre de 24,7°C à 26,84°C à Issia. La zone nord du bassin versant est donc la plus chaude avec 27°C à Vavoua contre environ 26°C à Daloa et Issia (figure 6).

Figure 6 : Distribution des températures moyennes actuelles (1982-2020) par localité



Source des données : CHIRPS, 2022

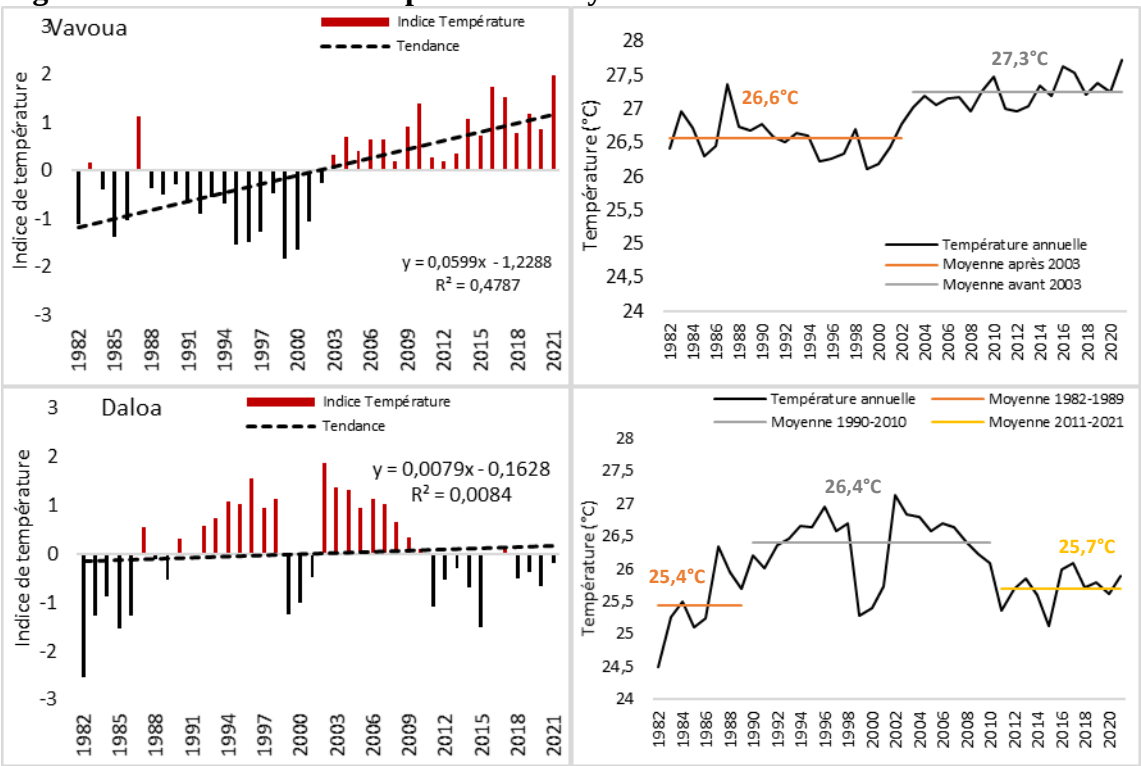
Au niveau de l'évolution interannuelle, les températures moyennes ont une tendance plutôt à la hausse à Vavoua et Daloa. Cependant, à Issia, elle a une légère baisse comme l'indique le coefficient directeur de la droite de tendance (-0,001) de 1982 à 2020 (Figgure 7).

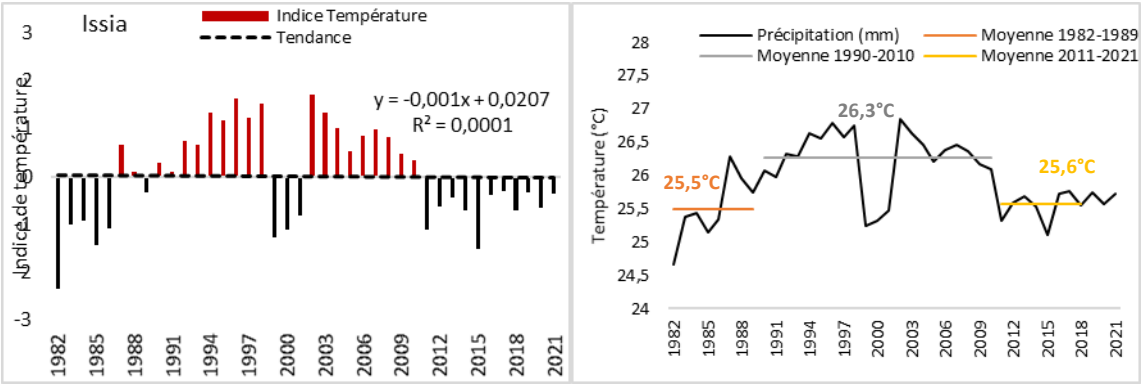
Concernant le département de Vavoua, la tendance des températures moyennes présente deux périodes : 1982-2002 et 2003-2020. La première, moins chaude, présente des températures moyennes (26,6°C) inférieures à la moyenne de la série (27°C). Cependant, de 2003 à 2020, les températures moyennes sont à plus de 27,3°C, soit une hausse d'environ 3% (+0,7°C).

Au niveau des départements de Daloa et Issia, l'évolution des températures suit des allures similaires même si dans la première localité, les températures ont une tendance légèrement croissante et contrairement à la seconde localité, où elles sont sensiblement en baisse. Ainsi, dans ces localités, l'évolution des températures indique trois principales phases : deux moins chaudes, 1982-1989 et 2011-2020 et une, plus chaude de 1990 à 2010.

Dans les départements de Daloa et Issia, les deux séquences moins chaudes ont des températures moyennes annuelles de l'ordre de 25,5°C tandis que pendant la phase chaude, les températures moyennes annuelles sont de l'ordre de 26,5°C.

Figure 7 : Variabilité des températures moyennes dans le bassin versant de la Lobo





Source des données : CHIRPS, 2022

Les températures augmentent dans un premier temps d'environ 4% (soit 1°C) de la période 1982-1989 à celle de 1990-2010, avant de baisser par la suite d'environ 3% (0,7°C). Les variations interannuelles des températures moyennes (2 à 4 %) témoignent d'une relative stabilité, bien que les périodes de hausse thermique deviennent plus fréquentes, après 2000, surtout dans le département de Vavoua.

2.2.2. Tendance continue des températures futures par rapport à la période 1982-2020

Les scénarios futurs prévoient, à l'instar de la période historique, des températures sans cesse croissantes avec des disparités suivant les localités et les périodes (2021-2050 et 2051-2080). Les températures moyennes sont analysées sur deux normales climatiques. Sur la période 2021-2050, elles seront sensiblement égales dans ces localités, de l'ordre de 27,10°C. Cependant, par rapport à la période de référence, les températures pourraient connaitre des hausses de 0,3°C, 1,1°C et 1,17°C respectivement à Vavoua, Daloa et Issia (tableau 2). Ces augmentations représenteraient 1,13% à Vavoua, 4,22% à Daloa et 4,5% à Issia.

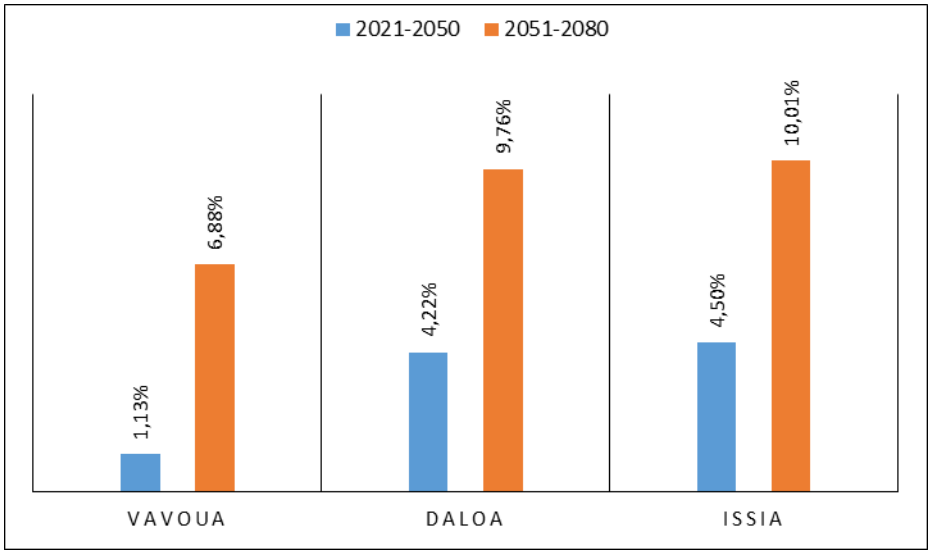
Tableau 22 : Synthèse des températures moyennes dans le bassin de la Lobo.

	Températures moyennes (°C)			Hausse/Baisse des températures (°C)		
Température (°C)	VAVOUA	DALOA	ISSIA	VAVOUA	DALOA	ISSIA
1982-2020	26,86	26,02	25,94			
2021-2050	27,16	27,12	27,10	0,30	1,10	1,17
2051-2080	28,71	28,56	28,53	1,85	2,54	2,59

Source des données : CHIRPS &CORDEX, 2022

Au cours de cette phase, le niveau de croissance attendu des températures en prenant comme référence la période 1982-2020 est moins important que celui attendu entre 2051 et 2080. Autour des années 2080, les températures moyennes avoisineraient 28,71°C à Vavoua, 28,56°C à Daloa et 28,53°C à Issia. Ce qui traduit un réchauffement de 1,85°C (+ 6,88%) à Vavoua, 2,54 °C (+ 9,76%) à Daloa et 2,59°C (+ 10,01%) à Issia. En comparant les niveaux de chaleur prévue dans les scénarios climatiques aux données actuelles, le constat est sévère. Les projections climatiques prévoient des niveaux de chaleur extrême à l'horizon 2080 dans chacun des départements (figure 8).

Figure 8 : Écarts des températures moyennes aux horizons 2050 et 2080, par rapport à la période de référence 1982-2020 dans le bassin versant de la Lobo



Source des données : CORDEX, 2021

Cependant autour des années 2050, la chaleur sera modérée à Vavoua, forte à Daloa et extrême à Issia (figure 9). Ces élévations du niveau de chaleur pourraient amplifier les risques de stress hydrique et compromettre le développement des plantes.

Figures 9 : Indices des températures moyennes des localités de Vavoua, Daloa et Issia.

Indices de températures	VAVOUA	DALOA	ISSIA
1982-2020			
2021-2050			
2051-2080			

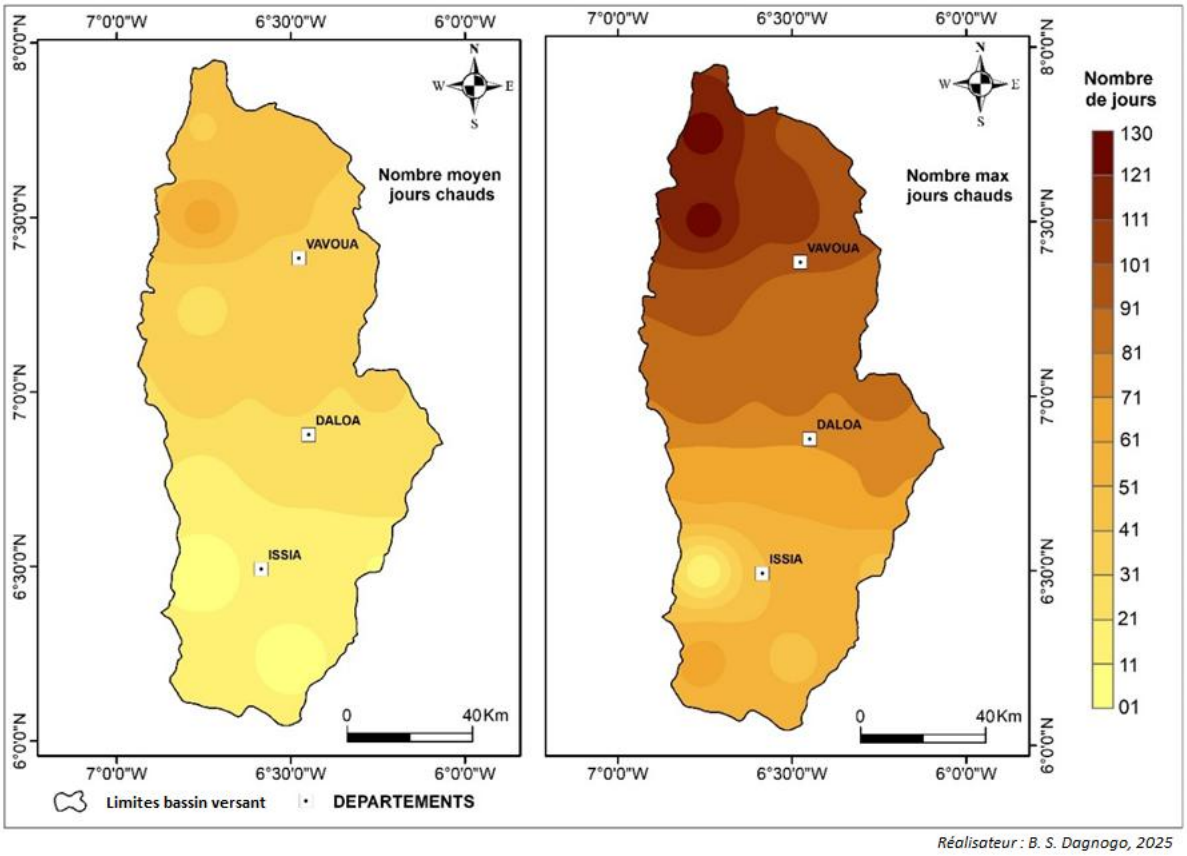
Très faible chaleur	*Faible chaleur*	*Chaleur normale*	*Chaleur modérée*	*Forte chaleur*	*Chaleur extrême*

Source des données : CHIRPS &CORDEX, 2022

2.2.3. Augmentation du nombre de jours chauds dans le bassin versant de la Lobo.

Le nombre de jours, avec des extrêmes, dépassant le seuil dommageable de 35 °C, constitue un risque climatique majeur pour une agriculture tributaire du climat. Les figures 10 et 11 mettent en exergue des statistiques liées à l'évolution du nombre de jours chauds (températures maximales supérieures ou égales à 35°C). Ainsi, le nombre de jours chauds dans le bassin versant de la Lobo a une tendance à la hausse.

Figure 103: Répartition du nombre de jours chauds avec Tmax >= 35 °C



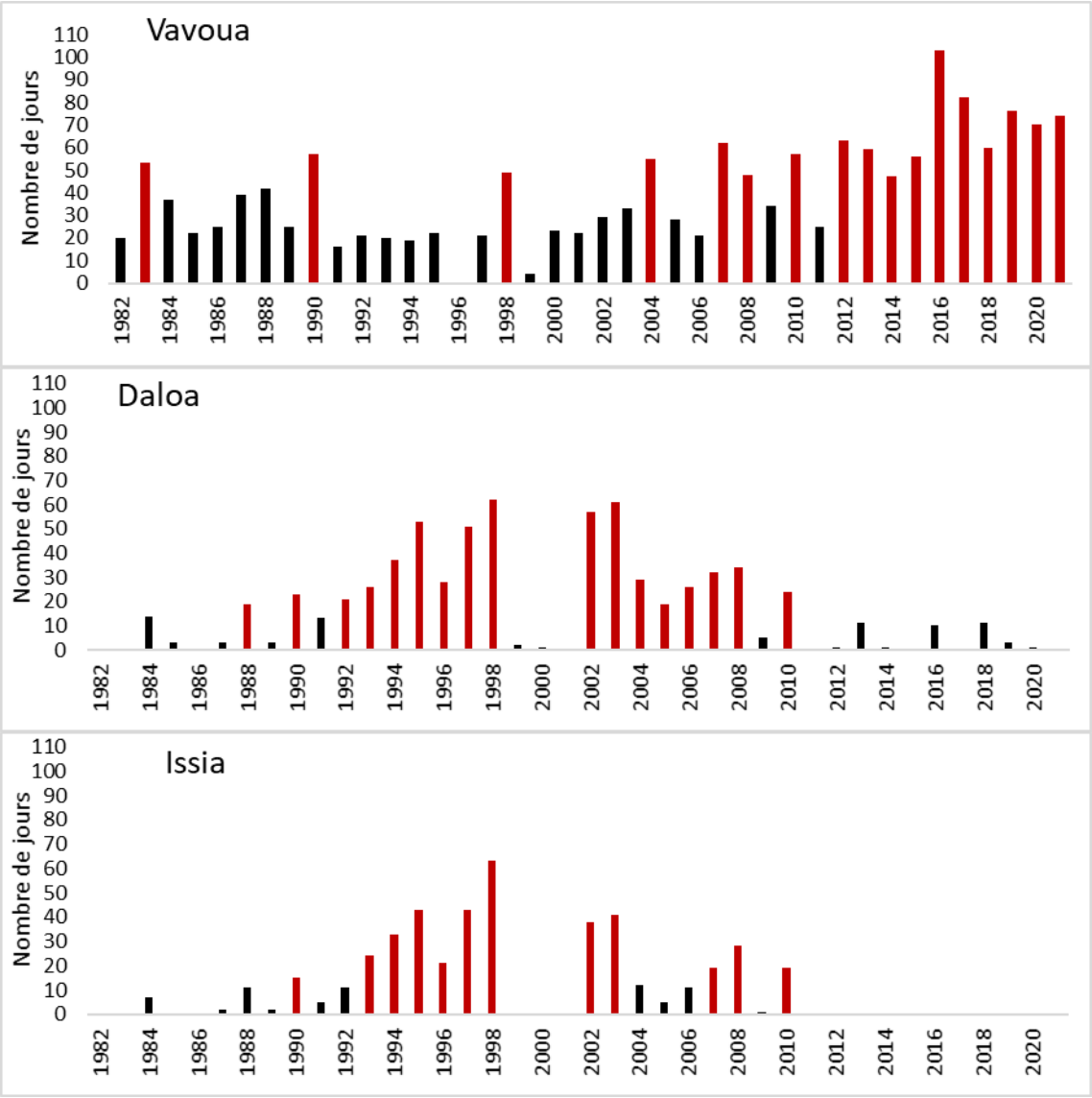
Source des données : CHIRPS, 2022

Dans le nord du bassin versant, le nombre de jours chauds par an atteint la centaine dès l'année 2000. Les deux dernières décennies sont cependant celles où ce nombre devient plus important et inquiétant. Il oscille désormais entre 100 à 125 jours. Dans le centre, le nombre maximum de jours chauds se situe entre 51 et 90 jours par an avec en moyenne 31 à 50 jours par an.

Ces valeurs s'observent généralement entre 1995 et 2010, traduisant une augmentation du nombre de jours chauds. Pour ce qui est du sud du bassin versant de la Lobo, le nombre de jours chauds est faible autour de 10 à 20 jours en moyenne et des maximums autour de 11 à 70 jours par an (figure 11).

Ainsi, la situation qui se perçoit dans le nord du bassin versant de la Lobo annonce des risques à prendre en considération dans les politiques agricoles. Cela permettra d'éviter d'éventuelles catastrophes, principalement dans le domaine de la sécurité alimentaire. Bien que le sud du bassin versant (Issia) soit moins affecté, l'augmentation des jours chauds au fil du temps demeure préoccupante depuis 1993 où le nombre de jours chauds dépasse désormais la plupart du temps 50 jours par an.

Figure 11 : Évolution interannuelle du nombre de jours chauds dans le bassin versant



Source des données : CHIRPS, 2022

Le dépassement fréquent du seuil thermique de 35 °C représente un risque important pour l'agriculture dans le bassin versant de la Lobo. Ces résultats appellent donc à un suivi renforcé des températures maximales et à l'intégration des prévisions climatiques dans la planification agricole locale.

2.3. Occurrence des paramètres agroclimatiques

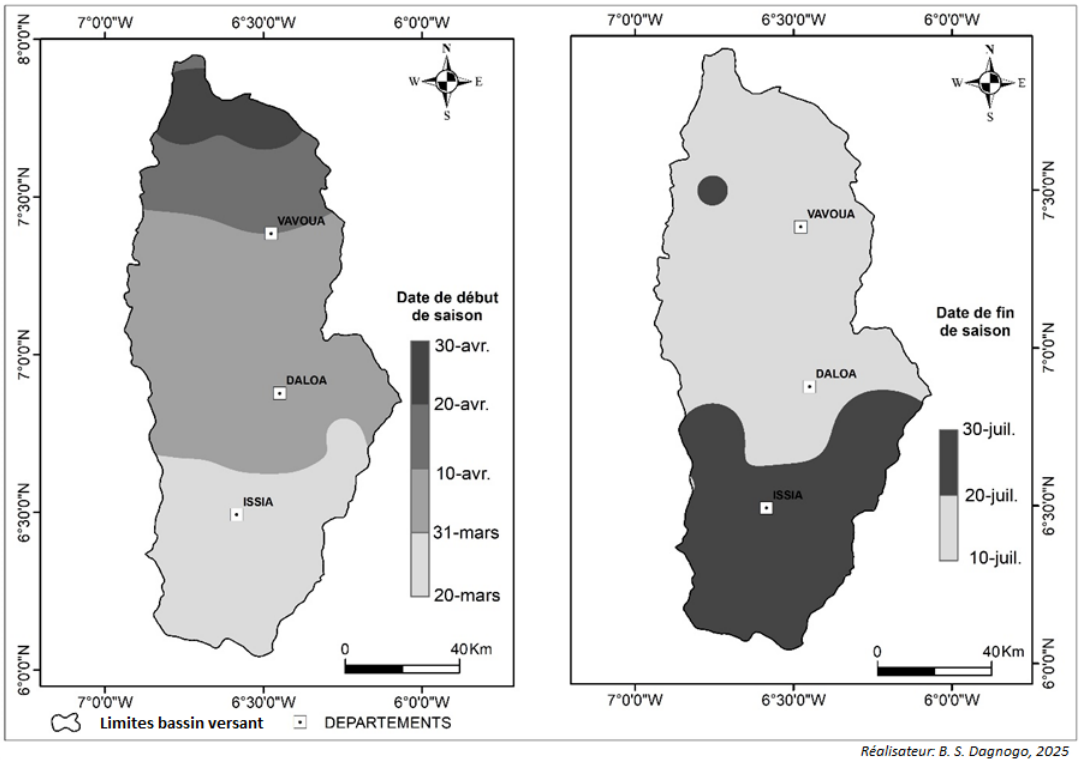
L'analyse des paramètres agroclimatiques (début, fin, longueur et cumul pluviométrique saisonnier) est essentielle pour comprendre les risques climatiques saisonniers. Elle permet de mieux planifier les activités, notamment celles liées à l'agriculture.

2.3.1. Occurrence des dates de début et de fin des saisons

Au niveau des dates de début et de fin des saisons, les données historiques (1982-2020) indiquent d'importantes variations spatiotemporelles. Elles se perçoivent tant au niveau de la

grande saison qu'avec la petite saison de pluies (figure 12Erreur ! Source du renvoi introuvable.).

Figure 12 : Début et fin de la grande humide dans le bassin versant de la Lobo



Source des données : CHIRPS, 2022

Dans le nord du bassin, les débuts de la première saison des pluies sont généralement tardifs comparativement au reste du bassin. Ils ont lieu entre les deux dernières décades d'avril, avec des variations moyennes annuelles de 18 à 25 jours. Au centre du bassin, l'installation des saisons humides est légèrement précoce. Elle intervient principalement dans la première décade d'avril, c'est-à-dire entre le 31 mars et le 10 avril, avec des écarts moyens annuels de 13 à 18 jours

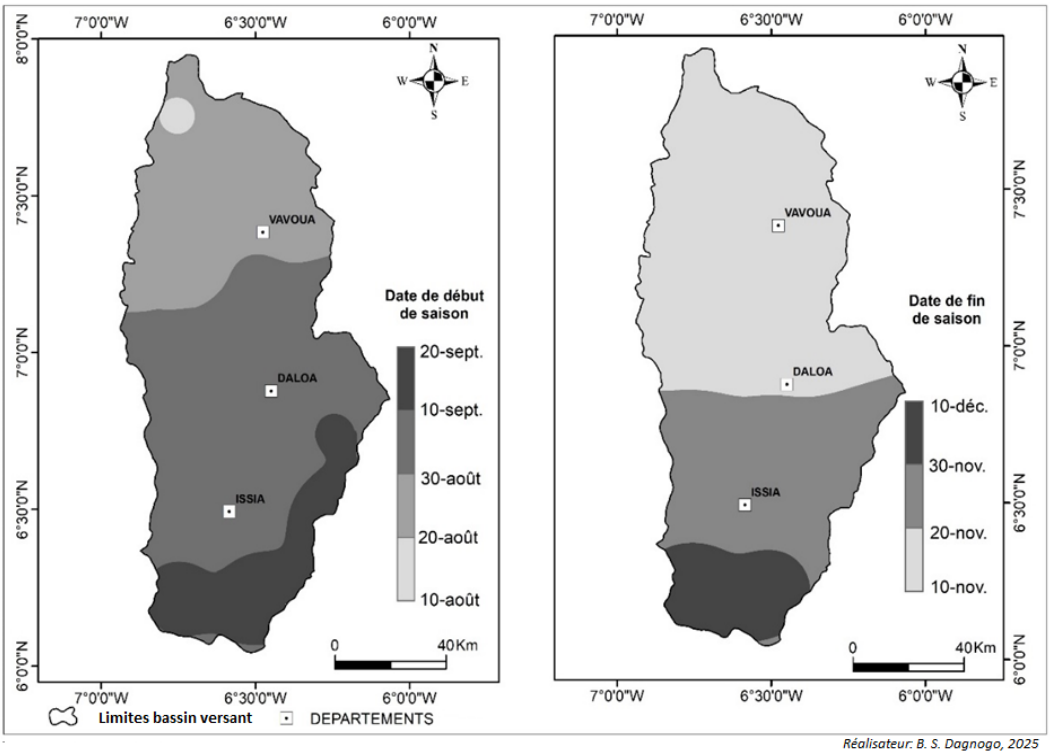
Dans le sud du bassin, la grande saison des pluies débute plus tôt, entre le 20 et 31 mars, soit deux décades avant le nord. Ces débuts admettent des variations interannuelles de l'ordre de 10% à 15%. Cette différence de variation confirme le caractère plus humide du climat dans le sud du bassin versant par rapport à la partie nord.

Les fins des saisons humides à la différence des débuts présentent de faibles variations (de 9 à 13 jours d'une année à l'autre). Elles ont généralement lieu pour la grande saison entre le 10 et le 30 juillet. Dans le nord, les fins se situent entre le 10 et le 20 juillet, et tendent vers le 30 du même mois dans le sud.

Au niveau de la petite saison humide, les débuts oscillent en moyenne entre le 10 août et le 20 septembre pendant que les fins se produisent en novembre et décembre. À la différence de la

première saison des pluies, la seconde saison est précoce dans le nord du bassin versant de la Lobo, entre le 10 et le 30 août (figure 13).

Figure 13 : Début et fin de la petite saison humide dans le bassin versant de la Lobo



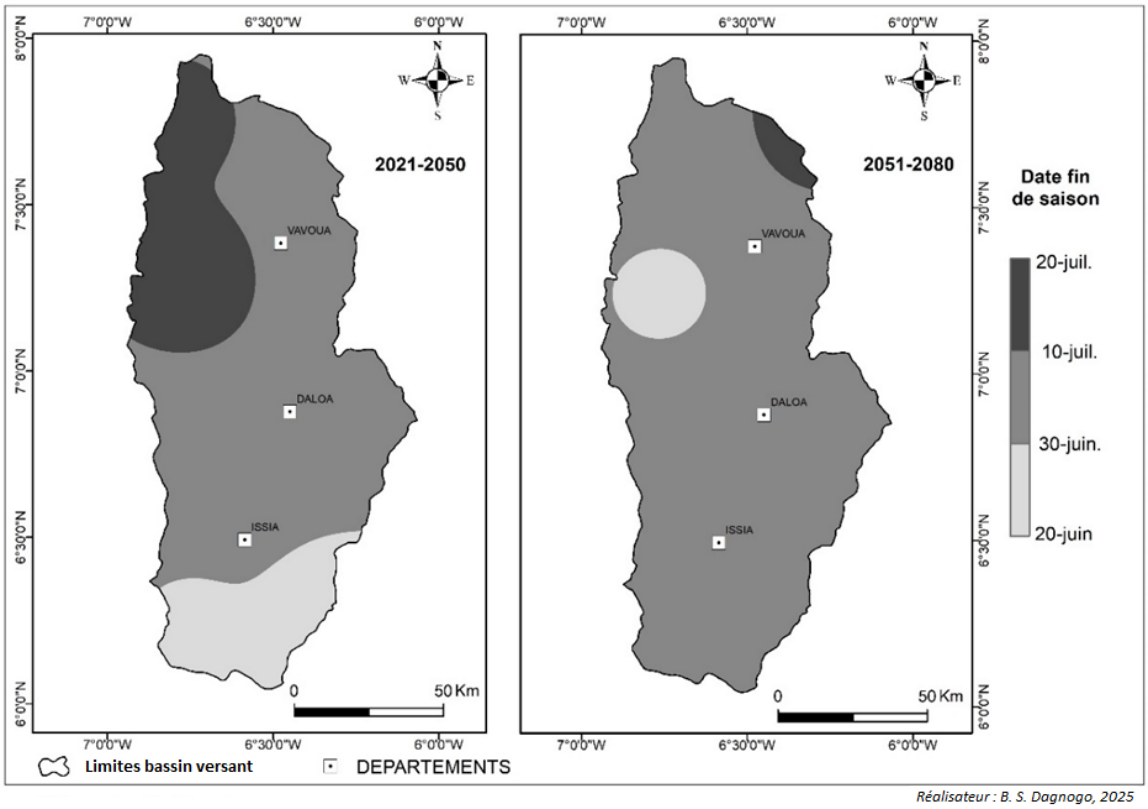
Source des données : CHIRPS, 2022

Dans les zones centre et sud, cette seconde saison débute en septembre. Elle est donc plus tardive dans ces zones comparativement à la situation qui prévaut dans le nord du bassin versant de la Lobo. Pour ce qui est de la fin de cette seconde saison humide, elle est observée dans la première moitié de novembre dans une grande partie des zones centre et nord. Dans la partie sud du bassin versant de la Lobo, cette fin de saison intervient entre le 20 novembre et le 10 décembre.

Les scénarios climatiques futurs prévoient des saisons humides unimodales au niveau de l'ensemble du bassin versant de la Lobo. Les débuts de saison des pluies devraient avoir lieu entre la seconde moitié de juin et la première partie de juillet, c'est-à-dire entre le 20juin et le 20 juillet. Les débuts les plus précoces sur la normale climatique 2021-2050 auront lieu dans les zones sud-est et centre du bassin versant. Dans ces zones, l'unique saison des pluies débutera entre le 20 juin et le 30 juin. Cependant, dans une partie du centre et du nord, la saison débutera avec un retard d'une à deux semaines. Au demeurant, avec la seconde normale climatique, cette réalité pourrait connaitre un changement radical. Les débuts seront sensiblement identiques dans le nord comme dans le sud avec un léger degré de précocité

dans le nord-est. Les débuts les plus tardifs seront vécus dans la bande centrale du bassin versant de la Lobo (figure 14).

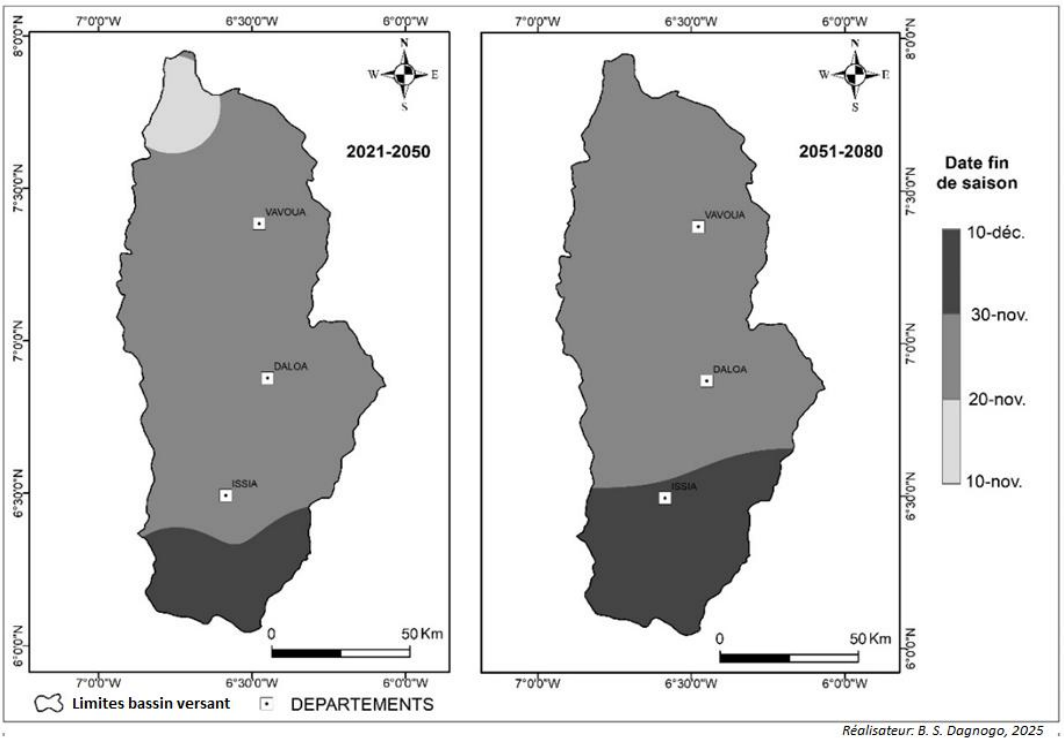
Figure 14 : Débuts des saisons humides dans le bassin versant de la Lobo.



Source des données : CHIRPS, 2022

En ce qui concerne les fins de saison, elles se dérouleront entre le 10 novembre et le 10 décembre. De la période 2021-2050 à 2051-2080, la tendance des fins variera peu (figure 15).

Figure 15 : Fin des saisons humides futures dans le bassin versant de la Lobo



Source des données : CHIRPS, 2022

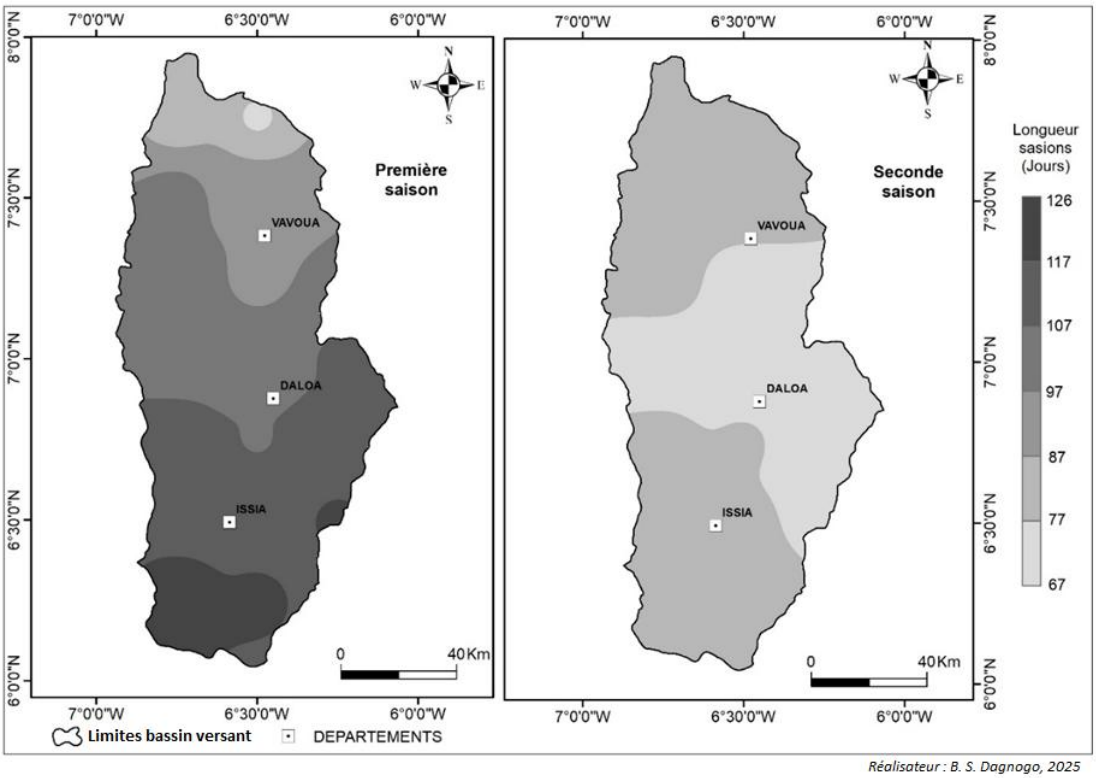
C'est seulement dans le sud-est que la fin aura une tendance plus tardive avec seulement trois jours supplémentaires. Les fins situées entre le 30 novembre et le 10 décembre vont s'étendre vers le centre. Alors que les fins précoces dans le nord au sein de la décade 10-20 novembre pourrait disparaitre du passage de l'horizon 2050 à 2080.

La situation est presque similaire à celle de la période historique où la seconde saison prend fin entre le 5 novembre et le 1er décembre. À la différence, sur la période historique c'est plutôt la seconde saison qui coïncide avec cette période.

2.3.2. Occurrence des longueurs et cumuls pluviométriques des saisons

La longueur des saisons humides est également un paramètre important en agriculture pluviale. Des saisons plus longues offrent une plus grande marge de manœuvre aux paysans pour la croissance des cultures. Les analyses des longueurs des saisons révèlent qu'à Vavoua, la première saison humide dure entre 67 et 87jours, tandis que la seconde saison dure entre 77 et 87jours, avec des écarts importants (figure 16).

Figure 16 : Longueur des saisons humides dans le bassin versant de la Lobo



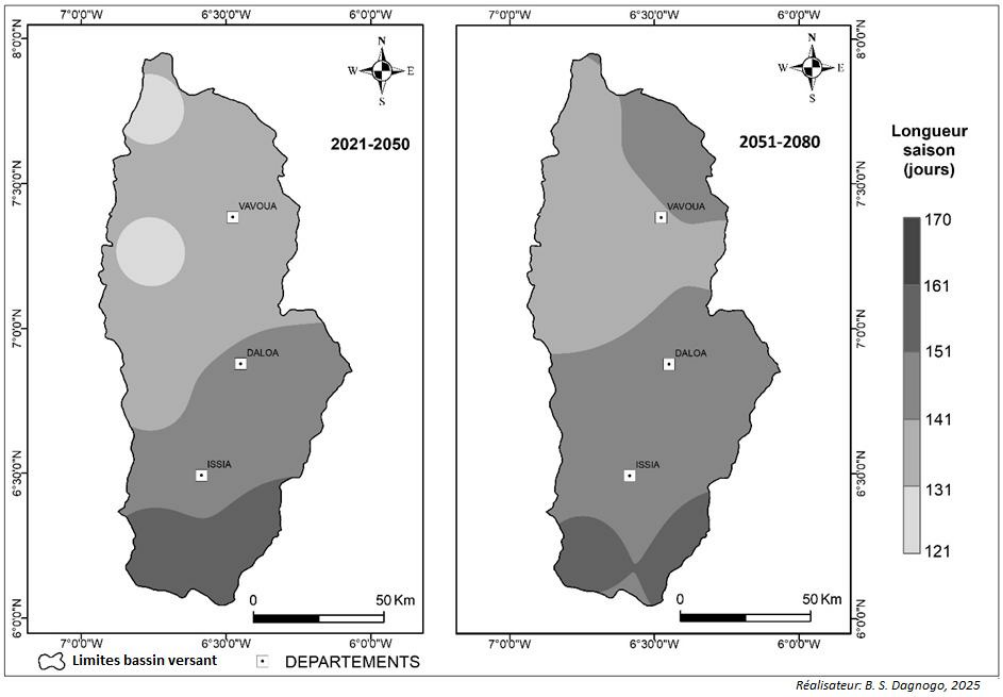
Source des données : CHIRPS, 2022

À Daloa, la première saison fait en moyenne 96 à 114 jours, et la durée de la seconde saison varie entre 67 et 77 jours. À Issia, la première saison plus longue, dure entre 107 et 126 jours, et la seconde saison est de l'ordre de 73 et 85 jours. Des saisons non maitrisées représentent un facteur de risque en agriculture pluviale.

La durée des saisons humides pourrait connaitre une augmentation, d'après les scénarios climatiques futurs. Elles pourraient atteindre environ 124 à 159 jours selon les localités.

La variable longueur de saison est appréhendée à travers une évolution spatiotemporelle. Sur la période 2021-2050, la durée de l'unique saison humide indique une répartition hétérogène entre les moitiés nord et sud du bassin versant de la Lobo. Pendant que dans la moitié nord, cette unique saison devrait durer entre 120 et 140 jours, dans la partie sud, elle pourrait atteindre 150 jours à 170 jours soit environ 6mois (figure 17).

Figure 17 : Longueur des saisons humides futures dans le bassin versant de la Lobo

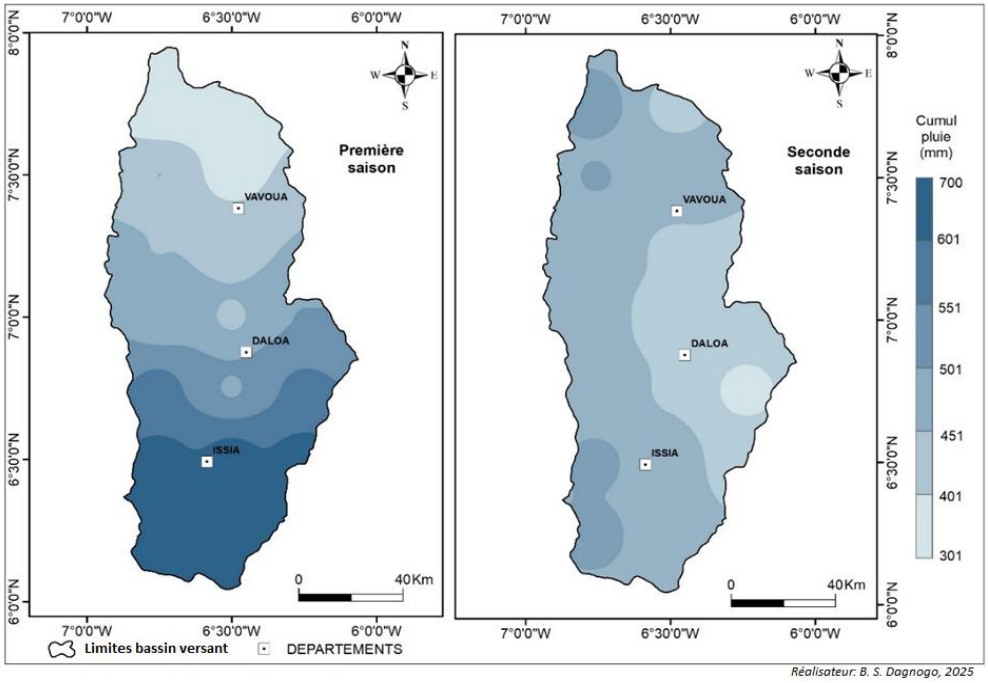


Source des données : CORDEX, 2022

Cela pourrait avoir un impact non négligeable sur les activités agricoles à travers la modification du calendrier agricole. Ce changement de durée de saison, surtout dans le sud, pourrait avoir des implications sur la production agricole, permettant potentiellement aux paysans de mieux adapter leurs cycles de culture et d'avoir une plus grande flexibilité à cultiver.

Cependant, les paysans ne pourront le faire que sur une saison pluvieuse. Ces longueurs de saison influenceront potentiellement les cumuls saisonniers. La répartition des précipitations saisonnières actuelles suit des gradients croissants nord-sud et ouest-est suivant les première et seconde saisons humides (figure 18) entre 1982 et 2020. Dans le nord, les cumuls saisonniers varient de 340 à 450 mm pour la première saison, et de 433 mm à 530 mm pour la seconde saison. Dans le centre, ces cumuls se situent autour de 437 mm à 570 mm pour la première saison et compris entre de 368 mm à 500 mm pour la seconde.

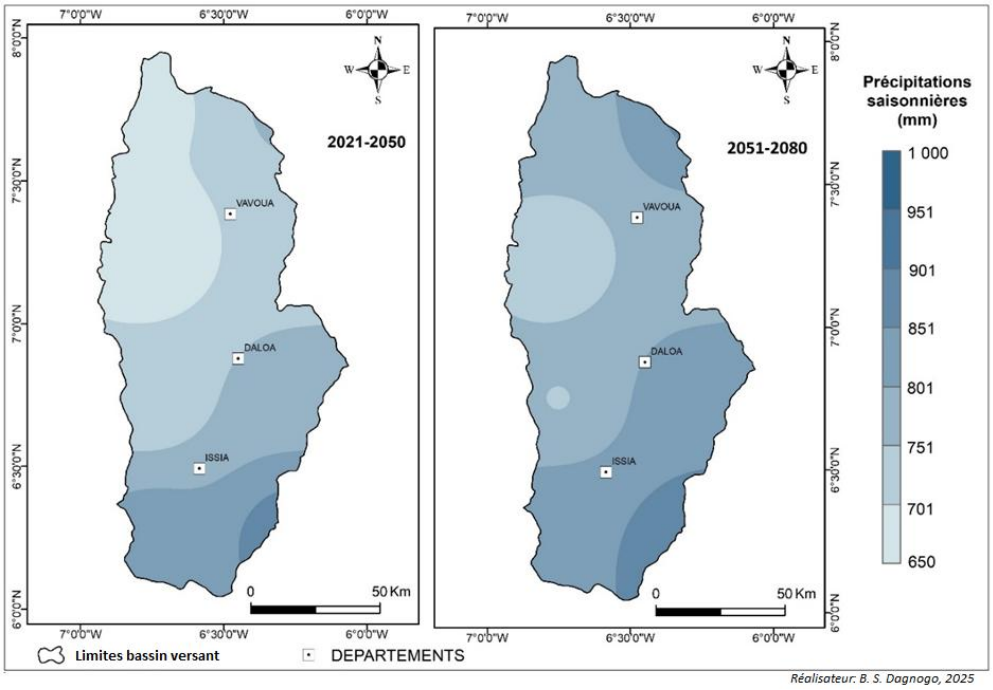
Figure 18 : Cumul pluviométrique des saisons humides dans le bassin versant de la Lobo



Source des données : CHIRPS, 2022

Pour ce qui est du sud du bassin versant, les pluies sont plus importantes, allant de 630 mm à 700 mm pour la première saison et de 414 mm à 519 mm pour la seconde. Les scénarios futurs prévoient une augmentation des cumuls pluviométriques, particulièrement dans le sud, où ces cumuls atteindront 797 mm à 920 mm d'ici 2050, et 829 mm à 999 mm d'ici 2080 (figure 19).

Figure 19 : Cumuls pluviométriques saisonniers futurs dans le bassin versant de la Lobo.



Source des données : CORDEX, 2022

Toutefois, ces augmentations ne seront pas uniformes et varieront annuellement avec des écarts d'environ 100 mm à 200 mm par an. Cette situation pourrait affecter l'agriculture dans le centre-ouest. Elles devront donc être accompagnées d'une gestion efficace de l'eau pour prévenir les risques d'inondations et de pertes de récoltes.

3. Discussion

L'étude réalisée à l'échelle du bassin versant de la Lobo, avec pour objectif d'analyser l'évolution des paramètres climatiques à l'échelle du bassin versant de la Lobo a permis de montrer le caractère variable de la pluviométrie annuelle. Globalement, une reprise des pluies s'observe à partir des années 2000. Les observations dans le bassin versant de la Lobo corroborent plusieurs recherches menées dans différentes régions de la Côte d'Ivoire et au-delà. Selon A. DIARRA et M. TAGBO (2020, p. 51) et F. ALLECHY et al. (2021, p. 101), une reprise des précipitations est notée dans le centre-ouest et le Sud-ouest ivoirien à partir des années 2000, avec des hausses estimées entre 11 et 16 %. Les travaux de K. C. N'DA (2016, p. 127) sur le bassin du Bandama rapporte également une rupture dans la sècheresse à partir de 1998, avec une tendance humide observée dans près de 50 % des stations étudiées.

Les tendances futures indiquent des évolutions contrastées des précipitations dans le bassin versant de la Lobo sous le scénario climatique RCP 8.5. Les précipitations pourraient globalement baisser de l'ordre de 11% à 14% à Daloa et Issia et augmenter d'environ 10,6% à Vavoua. Les résultats dans la présente étude à l'échelle du bassin versant de la Lobo s'écartent légèrement de celles observées en Afrique de l'Ouest. Alors que I. K. NOONI et al. (2021, p. 7) dans leurs études suggèrent une humidification dans les zones équatoriales, les projections dans le bassin versant montrent des variations plus complexes, avec des baisses générales par rapport aux données historiques.

Les températures moyennes annuelles quant à elles, décrivent une tendance au réchauffement de l'ensemble du bassin versant. Elles ont respectivement augmenté de 1,38°C, 1,34°C, et de1,27°C à Vavoua, Daloa et Issia. Cette tendance est cohérente avec les observations de R. KOUAMÉ et al. (2019, p. 17) et les travaux de O. SOHOU et al. (2020, p. 65), qui indiquent une augmentation significative des températures moyennes dans d'autres régions ivoiriennes comme dans l'Est et le Sud forestier ivoirien. Cette hausse des températures pourrait s'intensifier sur les périodes futures d'environ 7% (26,5 °C en 2020 à 29 °C en 2080) dans le sud et 10,1% à 11% (de 26,5 °C en 2021 à 29,5 °C en 2080 sous RCP8.5) dans les zones centre et nord.

Les tendances futures des températures obtenues pour le bassin de la Lobo s'inscrivent dans les tendances régionales et mondiales observées. Les résultats obtenus dans le bassin versant

sont en accord avec les augmentations de température de 2 °C à 6 °C prévus pour l'Afrique de l'Ouest à l'horizon 2100 (M. BOKO et al. 2007, GIEC, 2014). Cette élévation pourrait dépasser les seuils thermiques optimaux pour le bon développement des plantes et donc réduire les rendements, comme le souligne B. DOUKPOLO (2014, p. 224).

En plus de l'augmentation des températures moyennes annuelles, l'étude a également permis de monter que le bassin versant de la Lobo est sujet ces dernières décennies à une augmentation du nombre de jours chauds. Ces extrêmes de températures atteignent désormais plus de 100 jours par an dans le nord, autour de 80 jours dans le centre et environ 50 jours dans la partie du bassin versant de la Lobo. Les tendances relevées dans cette étude au niveau des températures extrêmes corroborent les observations de D. A. KOUASSI (2020, p. 106), qui signale une augmentation générale des températures maximales dans le bassin versant du N'Zi (Bandama), avec une rupture significative en 2002. Dans ses analyses, avant cette date, la moyenne des températures maximales était de 31,27 °C, contre 32,65 °C après la rupture, représentant une augmentation de 4,43 %. Ces changements confirment également une hausse du nombre de jours chauds, observée dans la sous-préfecture de Yamoussoukro (au centre de la Côte d'Ivoire), comme indiqué par D.A. KOUASSI (2020, p. 111). L'augmentation des jours chauds demeure un risque majeur pour l'agriculture dans le centre-ouest du pays.

Au niveau des paramètres agroclimatologiques, la présente étude met en avant un caractère très variable des débuts de saison (de l'ordre de 18 à 25 jours au nord, de 13 à 18 jours dans le centre et 10 jours dans le sud) dans le bassin versant de la Lobo. Les analyses indiquent également que les précipitations dans le bassin versant de la Lobo devraient être concentrées sur une période unique dans le futur (régime unimodal). Cette variabilité des paramètres agroclimatiques a également été analysée dans les travaux de D. A. KOUASSI (2020, p. 106). Ses résultats montrent que la variabilité des dates de démarrage et de fin des saisons est un facteur de risque important pour les agriculteurs.

Conclusion

Les travaux menés dans le bassin versant de la Lobo sur les aspects actuels et attendus du climat, ont permis de caractériser le climat actuel dans le bassin versant de la Lobo. Sur la période 1982-2020, l'ensemble des stations climatiques à l'échelle du bassin versant de la Lobo ont montré une tendance croissante des précipitations. Ainsi, la plupart des stations ont connu une hausse significative de l'ordre de 11 à 16%. Les précipitations obéissent à un gradient croissant nord-sud et ouest-est. Elles passent en moyenne de 1157 mm au nord à 1575 mm vers le sud et de 1232 mm à 1424 mm dans la direction ouest. Les températures moyennes annuelles indiquent une importante hausse sur la période d'étude.

Des précipitations certes croissantes, mais sujettes à des variations interannuelles décrivant deux à trois séquences sèches à humides. Ces variations des paramètres climatiques seront à la base de modifications intervenant dans les activités agricoles avec une incidence notable sur l'installation des saisons et leur durée. Les scénarios climatiques prévoient une aridification de la pluviométrie accompagnée d'un réchauffement des températures moyenne et des températures maximales. Ces tendances sont les signes annonciateurs de la dégradation des conditions climatiques avenir dont les politiques publiques devront tenir compte.

Références bibliographiques

ALLECHY Fabrice Blanchard, YOUAN Ta Marc, N'GUESSAN Bi Vami Hermann, YAPI Assa Fabrice, KOUAKOU José Ricardo Elfried et AFFIAN Kouadio, 2021. « Évolution passée et future des précipitations extrêmes dans le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire : cas du bassin versant de la rivière Lobo », in : *Afrique SCIENCE*, 20 (1), p. 93-111

AMON Ossein Henri-Joel, DIBI-ANOH Pauline Agoh et N'DA Kouadio Christophe, 2022. « Exploitation de données CHIRPS et Terraclimate pour l'étude des pluies urbaines sur le district autonome d'Abidjan (Côte d'Ivoire) », in : *Éditions Francophones Universitaires d'Afrique*, p.32-61

BOKO Michel, NIANG Isabelle, NYONG Anthony, VOGEL Coleen, GITHEKO Andrew, MEDANY Mahmoud, OSMAN-ELASHA Balgis, TABO Ramadjita et YANDA Pius, 2007, « Africa », in : PARRY Martin L., CANZIANI Osvaldo F., PALUTIKOF Jean P., VAN DER LINDEN Paul J. et HANSON Clair E. (éds), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, p. 433-467.

DIBI KANGAH Pauline Agoh, 2004, *Rainfall and agriculture in central West Africa since 1930*, PhD, University of Oklahoma, 283 p.

DIOMANDÉ Métangbo, 2013, *Impact du changement de pluviosité sur les systèmes de production agricoles en zone de contact forêt-savane de Côte d'Ivoire*, Thèse de doctorat unique en Hydrologie, Université Felix Houphouët Boigny Abidjan-Cocody, 181 p.

DOUKPOLO Bertrand, 2014, *Changements climatiques et productions agricoles dans l'ouest de la république centrafricaine*, thèse de doctorat unique de géographie, l'Université d'Abomey-Calavi, 337 p.

GIEC, 2021, « Résumé à l'intention des décideurs », in : *Changement climatique 2021 : les bases scientifiques physiques. Contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat,* [MASSON-DELMOTTE Valérie, ZHAI Panmao, PIRANI Anna, CONNORS Sarah L., PÉAN Clotilde, BERGER Sophie, CAUD Nada, CHEN Yang, GOLDFARB Leah, GOMIS Melania I., HUANG Mengtian, LEITZELL Katja, LONNOY Emma, MATTHEWS J. B. Robin, MAYCOCK Tom K., WATERFIELD Tyler, YELEKÇI Özge, YU Rong, et ZHOU Bin (éds.)], Cambridge University Press, Cambridge, p. 3-32.

IPCC, 2014, *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [CRE Writing Team, PACHOURI Rajendra K. et MEYER Leo A. (éds.)], IPCC, Genève, Suisse, 151 p.

GIORGI Filippo et GUTOWSKI William Jr, 2015. « Regional dynamical downscaling and the CORDEX initiative », in: *Annual Review of Environment and Resources*, Vol. 40, p. 467-490.

GOULA Bi Tié Albert, SROHOUROU Bernard, BRIDA Ange Benjamin, N'ZUÉ Kouadio Antoine et GOROZA Goroza, 2010. « Determination and variability of growing seasons in Côte d'Ivoire ». In: *International Journal of Engineering Science and Technology***,** vol. 2(11), p. 5993-6003.

KOUAMÉ Konan Roland, DIBI KANGAH Pauline Agoh et KOLI Bi Zuéli, 2019. « Variabilité climatique dans le centre-est de la Côte d'Ivoire: indicateurs, scénarios actuels et futurs », (*EDUCI), Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, n°1, p.7-20

KOUASSI Désiré Anicet, BROU Yao Casimir, KOUAKOU P.-M et TIENEBO Eric Olivier, 2020. « Identification des risques climatiques en riziculture pluviale dans le centre de la cote d'ivoire », in : *Agronomie Africaine,* Vol. 32 (1), p 1-14

LAMB Peter J., 1982. « Persistence of Subsaharan Drought », in *Nature,*: vol. 299, p. 46-47.

MARTEAU Romain, SULTAN Benjamin, MORON Vincent, BARON Christian, TRAORÉ Seydou B., 2010, « Démarrage de la saison des pluies et date de semis du mil dans le sud-ouest du Niger », in : *Risques et changement climatique,* XXIIIe colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Rennes, France. p. 379-384.

N'DA Kouadio Christophe, 2016, *Variabilité hydroclimatique et mutations agricoles dans un hydrosystème anthropisé : l'exemple du bassin versant du Bandama en Côte d'Ivoire,* Thèse de doctorat unique en Géographie, IGT, Université Felix Houphouët Boigny Abidjan, 271 p.

NOONI Isaac Kwesi; HAGAN Daniel Fiifi T.; WANG Guojie, ULLAH Waheed, LU Jiao; LI Shijie; DZAKPASU Mawuli, PREMPEH Nana Agyemang et LIM Kam Sian Kenny T.C. , 2021, « Future Changes in Simulated Evapotranspiration across Continental Africa Based on CMIP6 CNRM-CM6 », in: *Int. J. Environ. Res. Public Health*, Vol 18 (3), 6760, p. 1-17.

NUAMA Ekou, 2010, « L'efficacité technique des riziculteurs ivoiriens : la vulgarisation en question », in : *Économie rurale* n° 316, p.37-47.

SANKARA Rasmata, 2020 : *Contribution de l'imagerie satellitaire à la lutte Contre l'insécurité alimentaire au burkina Faso : Prévision de rendements du sorgho (Sorghum bicolor L. Moench) à partir des outils SPIRITS, GeoWRSI et des images du NDVI*, Mémoire de Master en Gestion des risques et des Catastrophes, Université de liège, 45 p.

SIVAKUMAR Mannava V. K., 1988. « Predicting rainy season potential from the onset of rains in Southern Sahelian and Sudanian climatic zones of West Africa », in: *Agricultural and Forest Meteorology,* Vol. 42 (4), p. 295-305.

VAN VUUREN Detlef P., EDMONDS Jae, KAINUMA Mikiko, RIAHI Keywan, THOMSON Allison, HIBBARD Kathy, HURTT George C., KRAM Tom, KREY Volker, LAMARQUE Jean-François, MASUI Toshihiko, MEINSHAUSEN Malte, NAKICENOVIC Nebojsa, SMITH Steven J. et ROSE, Steven K, 2011. « The Representative Concentration Pathways: An Overview », in: *Climatic Change*, Vol. 109(1-2), p. 5-31.

Auteurs

[1]Doctorant, École Doctorale SCALL, Université Félix Houphouët Boigny, dagnogo.dbs@gmail.com

[2]Maitre-Assistant, Institut de Géographie Tropicale, Université Félix Houphouët Boigny, christndak@gmail.com

[3]Professeur Titulaire, Institut de Géographie Tropicale, Université Félix Houphouët Boigny, line237@yahoo.com