

Impacts des variations climatiques sur les ressources en eau dans le sous bassin du Massili (bassin du Nakanbé) au Burkina Faso

Hortense TRAORÉ, Oumar SOUMARÉ et Nicolas KAGAMBEGA*

École Nationale d'Ingénieurs Abderhamane Baba Touré (ENI-BAT), Département de Géologie, BP 242 Bamako, Mali École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Fada N'Gourma (ENSIF), Département de Génie des mines, BP 46 Fada N'Gourma, Burkina Faso

* Correspondance, courriel : *kaninicolas@yahoo.fr*

Résumé

Cette présente étude a pour objectif d'identifier les impacts des variations climatiques sur les ressources en eau à travers une analyse de la variation climatique présente et future dans le sous bassin du Massili. La méthodologie adoptée consiste à la collecte d'un ensemble de données météorologiques (pluviométrie, température, vitesse du vent, évapotranspiration potentielle, et insolation) auprès des structures administratives dont relève le sous bassin du Massili. Ces données sont complétées par des travaux de terrains sur les plans d'eau et auprès des populations de la zone d'étude. Les résultats obtenus montrent que les impacts des variations climatiques sur les ressources en eau du sous bassin sont principalement : i) une augmentation de l'évapotranspiration potentielle de 234,2mm entre 1994 et 2013, consécutive à une hausse des températures de 2°C sur cinquante ans (1963 à 2013) et un accroissement de la vitesse du vent ; ii) Une baisse de la pluviométrie depuis 1977 avec des périodes sèches de plus en plus récurrentes et un accroissement des débits à l'exutoire depuis 1983. Une prévision des données climatiques sur plusieurs dizaines d'années montre une augmentation des températures moyennes de 0,8°C à l'horizon 2025 et de 1,7°C à l'horizon 2050 accompagnée d'une variation saisonnière. La pluviométrie subira également une diminution sensible de -3,4 % en 2025 et de -7,3 % en 2050.

Mots-clés : changements climatiques, ressources en eau, bassin du Nakanbé, sous bassin du Massili, Burkina Faso.

Abstract

Impacts of climate variations on water resources in the Massili sub-basin (Nakanbe basin) in Burkina Faso

This study aims to identify the impacts of climate change on water resources through an analysis of current and future climate variation in the Massili sub-basin. The methodology adopted consists in collecting meteorological data (rainfall, temperature, wind speed, potential evapotranspiration and sunstroke) from administrative offices in the Massili sub-basin. These data are supplemented by fieldwork on water bodies and populations of the study area. The results obtained on the basis of data collected, show that the impacts of climate variations on water resources in the sub-basin are mainly : i) increase in potential evapotranspiration of 234.2 mm between 1994 and 2013, following a temperature rise of 2°C, over fifty years (1963 to 2013) and an increase in wind speed; ii) decrease in rainfall since 1977 with increasingly recurrent dry periods and increase in outflow since 1983. A forecast of climate data gives an increase in average temperatures from 0.8°C by 2025 and 1.7°C by 2050 accompanied by seasonal variation. Rainfall will also decrease significantly by -3.4 % in 2025 and by -7.3 % in 2050.

Keywords : climate variations, water resources, Nakanbe basin, Massili sub basin, Burkina Faso.

1. Introduction

La variation climatique est définie comme étant les changements de certains paramètres du temps qui sont la pluviométrie, la température, l'évapotranspiration, l'ensoleillement, l'humidité de l'air et l'insolation [1]. Ce phénomène certes, est naturel (variabilité climatique), mais est aussi dû à l'action de l'homme (changement climatique). L'Afrique de l'Ouest fait partie des régions du monde identifiées par le groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat [2] comme particulièrement vulnérable aux changements climatiques. L'augmentation de la température et l'accroissement de la variabilité climatique posent aujourd'hui déjà de nombreuses contraintes pour la gestion des ressources en eau et de l'agriculture, principal moyen de subsistance des populations de cette zone. Au Burkina Faso, le phénomène se manifeste par l'installation tardive de la saison hivernale avec des poches de sècheresse, les nombreuses inondations et la hausse des températures. Face à cette situation plusieurs solutions d'adaptation à la variabilité et aux changements climatiques sont mises en œuvre, parmi lesquelles : l'aménagement des retenues d'eau telles que les barrages, les bassins de collecte des eaux de ruissellement (BCER), les boulis, les techniques culturales de conservation des eaux et des sols (CES), les semences de courte durée et le reboisement. En outre, pour une meilleure gestion intégrée des ressources en eaux (GIRE), le pays est divisé en cinq principales zones ou agences de l'eau (Mouhoun, Comoé, Gourma, Liptako et Nakanbé) afin de non seulement conserver, mais bien gérer les ressources en eau dans le but de les pérenniser et d'éviter les conflits entre les usagers de l'eau. Celle du Nakanbé s'étend sur plus de 60 000 km², soit plus de 30 % du territoire national [3] et regroupe trois bassins qui sont : le Nakanbé, le Nazinon et la Sissili. Le bassin du Nakanbé est le plus grand et est composé de plusieurs petits sous bassins dont celui du Massili. Malgré ces solutions d'adaptation, le sous bassin du Massili connaît d'énormes problèmes d'eau liés à la rareté et à aux multiples usages de cette ressource. En effet, le sous bassin du Massili englobe de grands centres urbains avec des activités nécessitant une très grande consommation en eau. Il connaît également une démographie galopante et est surtout tributaire des caprices relatifs aux changements et variabilités climatiques. L'objectif de cette étude est d'évaluer les impacts des variations climatiques sur ces ressources en eau dans le sous bassin du Massili.

2. Méthodologie

La méthodologie adoptée a consisté à réunir des informations sur les prévisions climatiques réalisées à partir des simulations avec le modèle MAGICC/SCENGEN ("Model for the Assesssment of Greenhouse-gas Induced Climate Change / A Regional Climate SCENario GENerator"). Les données relatives à la présence de la neige sont négligées compte tenu de la situation géographique du bassin du Nakanbé et partant, du sous bassin du Massili en Afrique tropicale [2]. Une enquête a été menée à l'aide d'un guide d'entretien auprès des populations, des différentes structures centrales et déconcentrées en charge de l'eau du Burkina Faso et particulièrement celles de la ville de Ouagadougou et des régions environnantes dont relève administrativement le sous bassin du Massili. Le choix du guide d'entretien est motivé par le fait qu'il permet de laisser l'enquêté s'exprimer afin de recueillir le maximum d'informations. Il a permis de collecter un ensemble de données climatiques (pluviométrie, température, vitesse du vent, insolation, ETP) et de recueillir la perception des populations quant à la variation climatique et son impact sur les ressources en eau de leur localité. Les travaux de terrain sont menés sur les différents points et plans d'eau du sous bassin du Massili. Ils ont pour objectifs de collecter et compléter les données hydrologiques recueillies lors de la phase d'enquête. Il s'est agi de faire une étude hydrologique des retenues d'eau du sous bassin et d'identifier les impacts éventuels dus aux changements climatiques.

3. Résultats et discussion

3-1. Bilan hydrologique du sous bassin du Massili

Le sous bassin du Massili alimente les barrages de Ouagadougou (la capitale du Burkina Faso) et de Loumbila. Il couvre une superficie de 4 525 km² avec un périmètre de 294,87km et reçoit annuellement en moyenne 3394.10⁶ m³ d'eau. L'évapotranspiration potentielle moyenne est de l'ordre de 2110,12 mm. On y dénombre 170 retenues (115 barrages et 55 boulis) dont l'état général est dégradé avec le plus souvent des ouvrages défectueux ou en panne (rupture de digues ou de déversoirs et fuites sous le barrage). Le bilan hydrologique a été calculé en considérant les données de 1976 (année pluvieuse), 1997 (année sèche) et 2013 (année moyennement pluvieuse) en prenant la réserve facilement utilisable (RFU) maximale par la méthode Thornthwaite pour la sous-région et donc du Burkina Faso égale à 100 mm. Les résultats obtenus montrent que la somme de l'infiltration et le ruissellement mensuels pour ces trois années donnent respectivement : 286,5 mm ; 0 mm ; et 45,1 mm. En tenant compte des données journalières, le ruissellement et l'infiltration ne sont pas nuls comme l'indique le bilan hydrologique en année sèche. Ces valeurs sont donc fonction du pas de temps utilisé [2]. Pour ce faire, les données annuelles de la période de 1991 à 2013 ont donc été utilisées pour calculer les lames d'eau ruisselées, infiltrées et l'évapotranspiration réelle (ETR) *(Tableau 1)* à partir des *Formules* suivantes :

• pour le ruissellement (R) :

$$R = \frac{QA \times TA}{S}$$
(1)

 Q_A étant le débit annuel (m³/s), T_A , le temps annuel (1 an = 31.536.000 s) et S, la superficie (4525km² = 4525000000 m²).

• Pour l'infiltration (I) :

$$I = PA-ETR-R$$

PA étant la pluviométrie annuelle, ETR, l'évapotranspiration réelle, et R, le ruissellement.

• Pour l'indice de pluies (IP) :

$$IP = \frac{PA - MPA}{EPA}$$
(3)

PA étant la pluviométrie annuelle, MPA, la moyenne des pluviométries annuelles, et EPA, l'écart type des pluviométries annuelles.

Le bilan hydrologique étant donné par la formule :

$$P = ETR + R + I \tag{4}$$

P étant la pluie, ETR, l'évapotranspiration réelle, R, le ruissellement et I, l'infiltration.

(2)

Années	QA (m³/s)	PA (mm)	ETR (mm)	R (mm)	l (mm)
1991	4,34	900,7	764,7	30,25	105,8
1992	4,89	698,7	489,1	34,08	175,5
1993	2,17	750,6	663,3	15,12	72,2
1994	9,41	727,8	583,8	65,58	78,4
1995	1,56	700,2	590,1	10,87	99,2
1996	2,21	677,4	547,0	15,40	115,0
1997	1,21	587,8	577,1	8,43	2,3
1998	3,46	668,3	538,1	24,11	106,1
1999	4,91	800,2	553,2	34,22	212,8
2000	2,91	594,1	580,7	20,28	0,0
2001	1,73	618,7	550,2	12,06	56,4
2002	16,34	656,2	580,8	113,88	0,0
2003	3,93	847,7	761,9	27,39	58,4
2004	15,34	772	589,4	106,91	75,7
2005	1,12	839,9	614,2	7,81	217,9
2006	15,49	596,8	565,5	107,95	0,0
2007	5,79	660	526,1	40,35	93,5
2008	8,78	767,4	612,7	61,19	93,5
2009	7,45	896,3	679,9	51,92	164,5
2010	3,97	839	692,8	27,67	118,5
2011	11	689,4	619,0	76,66	0,0
2012	6,43	991 ,5	585,5	44,81	361,2
2013	7,58	795,3	626,5	52,83	116,0

 Tableau 1 : Paramètres du bilan hydrologique calculés de 1991 à 2013

Pour la période de 1991 à 2013, la pluviométrie totale est de 17076 mm ; la part de l'ETR est de 13891,6 mm, soit environ 81 % *(Figure 1).* Le reste de l'eau de pluie disponible est reparti entre le ruissellement et l'infiltration. Le ruissellement est privilégié par rapport à l'infiltration. Cette logique permet d'évaluer la lame d'eau ruisselée à 989,78 mm ; et l'infiltration à 2322,9 mm (au lieu de 2194,6 mm puisque les valeurs négatives de l'infiltration ont été ramenées à 0 mm). Il convient cependant de noter qu'une bonne partie de l'ETR est de l'eau ruisselée avant évapotranspiration. La lame d'eau ruisselée calculée étant celle qui ruisselle et reste en surface après évapotranspiration et l'infiltration au cours d'une année. Les débits annuels les plus élevés sont observés au cours de trois années : en 2002 (16,34 m³/s) ; 2004 (15,34 m³/s) et en 2006 (15,49 m³/s). L'évolution sur le long terme de ces différents paramètres du sous bassin du Massili serait la résultante des changements climatiques et environnementaux qui l'affecte [4].



Figure 1 : Pourcentage de lame d'eau ruisselée, infiltrée et de l'ETR

3-2. Données climatiques

L'analyse des données climatiques a été réalisée sur les périodes où ces données sont disponibles. Elle a concerné la température (de 1963 à 2013), l'insolation (de 1994 à 2013), la vitesse du vent (de 1994 à 2013), la pluviométrie (de 1963 à 2013), l'indice de pluies (de 1963 à 2013), l'évapotranspiration potentielle (ETP) (de 1994 à 2013) et les débits à l'exutoire du Massili (de 1984 à 2013).

3-2-1. Évolution de la température

Une analyse des températures de 1963 à 2013, montre que celles-ci varient en dents de scie avec une tendance générale à la hausse. La température moyenne la plus basse est 27,7°C observée en 1976 ; la plus haute est 29,5 constatée en 2005, 2009 et 2013 *(Figure 2)*, ce qui témoigne d'une augmentation des températures moyennes annuelles d'environ 2°C en l'espace de 50 ans dans le sous bassin du Massili. Cette augmentation de la température peut s'expliquer d'une part par l'augmentation de l'énergie solaire au sol et d'autre part par l'action des gaz à effet de serre [4]. Au cours de ces trois années, les débits annuels sont relativement faibles, les précipitations et l'ETR sont par contre importantes. La hausse de la température provoque une accélération du cycle hydrologique. Si l'atmosphère se réchauffe, elle retient l'humidité, devient moins stable et entraîne une plus grande pluviométrie, en particulier sous forme de fortes précipitations. Le réchauffement accélère aussi l'évaporation. Ces changements dans le cycle de l'eau aura pour effet net une diminution de la quantité et de la qualité de l'alimentation en eau douce [5]. En outre, la fin des années 1990 et le début du XXIème siècle ont connu les années les plus chaudes depuis qu'on a commencé à enregistrer les températures [5]. Au cours des cents dernières années (1906-2005), la température moyenne à la surface de la Terre a augmenté d'environ 0,74 °C, le réchauffement étant plus grand sur les zones émergées qu'au-dessus des océans [5 - 8].



Figure 2 : Évolution des températures moyennes annuelles sur 50 ans (1963 - 2013)

3-2-2. Évolution de l'insolation

L'insolation a varié entre 7,8 h/j et 8,7h/j de 1994 à 2013. Les maxima ont été observés en 1995, 1996 et 2013. Les valeurs les plus faibles sont observées en 2007 et 2010 *(Figure 3)*. La moyenne sur les vingt ans est de 8,31h/j. L'insolation varie très peu d'une année à une autre, de l'ordre de 0,9 h/j. La variation de l'insolation est à l'image de celle de la pluviométrie. L'insolation joue un rôle important dans l'évaporation de l'eau, dans l'échauffement de l'air et partant, dans l'activité photosynthétique [4]. Elle est également tributaire de la situation géographique du bassin dans la zone climatique tropicale.



Figure 3 : Évolution de l'insolation sur 20 ans (1994 - 2013)

3-2-3. Évolution de la vitesse du vent

La vitesse moyenne annuelle du vent à 10 m est de 2,35 m/s dans la période de 1994 à 2013. Les vitesses maximale et minimale sont respectivement de 2,7 m/s et 1,8 m/s. La courbe représentative montre une allure croissante de la vitesse du vent *(Figure 4)*. Les valeurs les plus faibles sont observées en 1994 (1,9 m/s), en 2000 (1,8 m/s) et en 2011 (2,2 m/s). À partir de 2005, la vitesse du vent a connu une augmentation relative, toutefois cette situation est difficilement corrélable avec la pluviométrie *(Figure 5)*. Néanmoins, on peut noter une tendance à la hausse au fil des années.



Figure 4 : Évolution de la vitesse du vent en 20 ans (1994 - 2013)

3-2-4. Évolution de la pluviométrie

De 1963 à 1972, les pluviométries ont évolué en dents de scie mais de façon assez équilibrée. De 1973 à 1982, on note une décroissance franche à partir de 1978 après un pic en 1997, tandis que de 1983 à 1992, on a une légère remontée de la courbe, puis une décroissance de 1993 à 2002, et enfin, une légère remontée de 2003 à 2013. L'hivernage connait de plus en plus un démarrage tardif dans le sous bassin du Massili (première ou deuxième semaine du mois de juillet de nos jours), alors que précédemment la saison pluvieuse s'installait dès le mois de Mai ou de Juin [1]. En outre, on note régulièrement des poches de sécheresse au cours de la période hivernale (environ deux semaines consécutives sans pluie en un mois). La superposition des courbes de données par décennie, indique que la moyenne des pluviométries dans la zone pour ces 50 années est d'environ 700 mm/an. En plus, la pluviométrie a également baissé au fil des années *(Figure 5)*. En comparant les quantités de pluie recueillies dans le sous bassin du Massili entre 1963 et 2013 *(Figure 6)*, on remarque que depuis 1977, elles ont fortement baissé avec le décalage de la saison des pluies, et le graphique de l'indice des pluies *(Figure 6)* montre que les années sèches sont de plus en plus récurrentes. En effet, le changement climatique impacte directement le cycle de l'eau, ce qui signifie pour le cas du sous bassin du Massili, des hivernages plus courts avec des poches de sècheresse, et des précipitations plus intenses occasionnant des inondations [9].



Figure 5 : Pluviométries annuelles comparatives par intervalles de 10 ans



Figure 6 : Évolution de l'indice des pluies en 50 ans (1963 - 2013)

Sur l'ensemble du territoire du Burkina Faso, les isohyètes ont fortement migré du Nord vers le Sud *(Figure 7)*. Cette situation de migration des isohyètes est donc une conséquence des changements climatiques avec une avancée de la zone désertique du Nord du Burkina Faso vers la partie Sud de 1963 à 2000. De 1971 à 2000, l'isohyète 1200 mm a tendance à disparaître du territoire. Le corolaire de ces changements climatiques attestés par la migration des isohyètes est marqué par les inondations récurrentes ces dernières années à travers les différentes régions du Burkina Faso. Ce qui confirme les prévisions de plusieurs auteurs relatives à une augmentation du nombre d'épisodes intenses de pluies [10, 11]. Les pluies excédentaires entrainent l'érosion des sols, la rupture des infrastructures de captage et leur débordement. Elles entrainent aussi des déchets dans les retenues d'eau qui se voient ainsi comblées et ensablées [12]. Les pluies diluviennes (263mm) qui ont occasionné les inondations du 1^{er} Septembre 2009 à Ouagadougou (la capitale du Burkina Faso) et un peu partout sur le territoire national ont provoquée l'arrêt pendant 10 jours de la station de traitement d'eau potable créant une perturbation de la production et de la distribution d'eau potable. On a également noté la destruction des infrastructures hydroagricoles (une quinzaine de barrages et des canaux d'irrigation), des infrastructures de drainage des eaux pluviales (ravinement et chute des talus sur les principaux canaux de la ville de Ouagadougou, débordement de l'exutoire principal de la ville où transitent 70 % des eaux.



Figure 7 : Migration Nord-Sud des isohyètes sur 70 ans (1931 à 2000) au Burkina Faso

3-2-5. Évolution de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

L'ETP a connu une croissance dans le sous bassin du Massili *(Figure 8)* entre 1994 et 2013 avec une moyenne annuelle de 2110,12 mm. Sur la période considérée, la plus faible ETP est de 1971,5mm constatée en 1994, et la plus forte est de 2205,7 mm observée en 2013, d'où une augmentation de 234,2 mm dans l'intervalle de vingt ans. L'analyse de l'évolution des températures moyennes indique une augmentation de 2°C de 1963 à 2013. Cet accroissement de la température a entrainé une augmentation de l'évapotranspiration qui est passée de 1971,5 mm à 2205,7 mm pour la même période. Les impacts notés sont le tarissement précoce des plans d'eau de surface, l'augmentation des besoins en eau, l'aggravation de l'évaporation. Le nombre d'heures d'ensoleillement a aussi cru au fil des années. La hausse de température accélère la latérisation des sols qui deviennent impropres à l'agriculture et freinent l'infiltration d'où le rabattement des nappes phréatiques [13].



Figure 8 : Évolution de l'ETP (Penman) en 20 ans (1994 - 2013)

3-2-6. Évolution des débits annuels à l'exutoire du Massili

La variation climatique a également un impact sur les débits d'écoulement *(Figure 9)*. On note un accroissement des débits de 1983 à 2013. L'augmentation des débits pourrait être bénéfique pour les cours d'eau de surface, si elle ne s'accompagnait pas du transport du sable, des déchets solides et liquides vers leurs lits. Malheureusement, on constate que ce phénomène entraine l'ensablement et la pollution des eaux de surface dans le sous bassin du Massili. Cette augmentation du débit coïncident plus ou moins avec l'augmentation de l'ETP et de la pluviométrie à partir des années 2003.



Figure 9 : Évolution des débits annuels à l'exutoire du Massili en m³/s en 30 ans (1984 - 2013)

3-3. Prévisions climatiques

L'analyse des données climatiques indique une nette augmentation des températures et une régression de la pluviométrie. L'analyse des tendances climatiques à travers l'utilisation des modèles climatiques et des scénarii de changements climatiques du bassin du Nakanbé auquel appartient le sous bassin du Massili a été réalisé particulièrement pour les années 2025 et 2050 soit une période de 50 ans sur la base du [14 - 18].

3-3-1. Projection sur l'évolution de la température

Les projections à partir de la simulation avec le modèle MAGICC/SCENGEN pour la température à Ouagadougou donnent sur l'ensemble du territoire, une augmentation des températures moyennes de 0,8°C à l'horizon 2025 et de 1,7°C à l'horizon 2050. Cette augmentation de la température est accompagnée d'une variation saisonnière : les mois de Décembre, Janvier, Août et Septembre devenant nettement plus chauds que d'habitude tandis que les mois de Novembre et de Mars connaissent de faibles augmentations de la chaleur *(Figure 10)*.

3-3-2. Projection sur l'évolution de la pluviométrie

La pluviométrie connaîtra une diminution sensible de -3,4 % en 2025 et de -7,3 % en 2050 *(Figure 11).* La diminution de la pluviométrie sera doublée d'une très forte variabilité interannuelle et saisonnière. Les mois de Juillet, Août et Septembre auront des diminutions de 20 à 30 % de leur pluviométrie actuelle tandis que le mois de Novembre connaîtra des augmentations de 60 à 80 % de sa pluviométrie. Mais, ces dernières quantités resteront faibles en valeur absolue.



Source : PANA Burkina Faso (2007)







Figure 11 : Projection sur l'évolution de la pluviométrie à Ouagadougou en 2025 et 2050

Depuis le 1^{er} septembre 2009, on note chaque année des inondations dans les différentes localités du sous bassin du Massili, qui entrainent le comblement des cours d'eau (fleuves, barrages et boulis) avec pour conséquence, la réduction au fil du temps de la quantité d'eau mobilisable dans les retenus [1, 19 - 23]. L'augmentation de la température, de la vitesse du vent et de l'évapotranspiration sont autant d'autres facteurs qui jouent directement sur la disponibilité des eaux de surface [24 - 28]. L'évapotranspiration moyenne sur les cours d'eau est estimée à 2,2 mètres par an dans le sous bassin du Massili. En considérant les quatre principaux barrages *(Tableau 2)*, on se rend compte que pour les barrages n°1 et n°2 de Ouagadougou, la quantité d'eau disponible en fin de saison des pluies ne suffit pas à satisfaire l'ETP annuelle, même si aucun prélèvement ne s'effectue sur ces retenues.

Barrages	Ovaga 1	Ovaga 2	Ovaga 3	Loumbila
Surface du plan d'eau (m²)	7 000 000	1 950 000	2 770 000	16 900 000
Profondeur (m)	0,95	1,34	3,30	6,40
ETP (m)	2,1	2,1	2,1	2,1
Volume d'eau pour ETP (m³/an)	14 700 000	4 095 000	5 817 000	35 490 000
Volume m ³	750 000	2 590 000	2 770 000	42 00000

Tableau 2 : Évaluation des volumes d'eau pour la satisfaction de l'ETP

4. Conclusion

L'objectif de cette étude est d'évaluer les impacts des changements climatiques sur les ressources en eau du sous bassin du Massili à travers l'analyse des variations climatiques présentes et futures. Les données climatiques montrent qu'en l'espace de cinquante ans (c'est-à-dire de 1963 à 2013) la température au niveau du sous bassin du Massili a connu une hausse d'environ 2°C. Les changements climatiques sont marqués au niveau du sous bassin par une baisse des pluviométries depuis 1977 et des périodes sèches de plus en plus récurrentes. Ces pluviométries sont également corrélables avec l'insolation qui est à l'origine d'une augmentation de l'évapotranspiration réelle. Une des principales conséquences de ces changements climatiques sur l'ensemble du territoire du Burkina Faso est la migration des isohyètes du Nord vers le Sud. Les débits à l'exutoire ont subi un accroissement depuis 1983. Une prévision climatique donne une augmentation des températures moyennes de 0,8°C à l'horizon 2025 et de 1,7°C à l'horizon 2050 accompagnée d'une variation saisonnière. La pluviométrie subira une diminution sensible de -3,4 % en 2025 et de -7,3 % en 2050.

Remerciements

Nous tenons à remercier particulièrement Monsieur Ilboudo Adama et Monsieur Kafando Adolphe de l'agence de l'eau du Nakanbé pour leurs précieuses contributions.

Références

- [1] PANA, Burkina Faso, (2007) 84 p.
- [2] GIEC, in "Organisation météorologique mondiale, Genève (Suisse)", (2014) 201 p.
- [3] G. MAHE, P. DIELLO, J. E. PATUREL, B. BARBIER, H. KARAMBIRI, A. DEZETTER, C. DIEULIN, N. ROUCHE, *Sécheresse*, 21 (01) (2010) 1 6
- [4] Z. A. KOUADIO, K. E. KOUAKOU, A. B. KONAN-WAIDHET, B. T. A. GOULA et I. SAVANE, Afrique Science, 11 (3) (2015) 82 - 100, http://afriquescience.info
- [5] F. DELCLAUX, P. CHEVALLIER, L. ESGAIB, V. ROMANOVSKY et J-F. CRETAUX, Cahiers d'Asie centrale, 25 (2015) 74 - 102
- [6] R. YAO N'GUETTIA, F. A. OULE et D. N'GORAN KOUADIO, *Rapport PNUD*, (2013) 105 p.
- [7] GIEC, " Organisation météorologique mondiale, Genève (Suisse)", (2007) 103 p.
- [8] J. J. Mc CARTHY, O. F. CANZIANI, N. A. LEARY, D. J. DOKKEN and K. S. WHITE, "Organisation météorologique mondiale, Genève (Suisse)", (2001) 176 p.
- [9] S. PLANTON and J. C. ANDRE, " Conférence de la société météorologique de France", (2001)
- [10] B. T. A. GOULA, V. J. KOUASSI et I. SAVANE, Agronomie Africaine, 18 (1) (2006) 1 11
- [11] F. GEMENNE, Fourrages, 214 (2013) 87 90
- [12] R. Mc LEMAN, B. SMIT, Publication du Service Canadien du Renseignement de Sécurité, (2003)
- [13] P. M. NDIAYE, A. BODIAN, L. DIOP, K. DJAMAN, *Physio- Géo*, 11 (2017) 129 146
- [14] Water UK, *[Online] http://www.water.org.uk,* (2004), (Juillet 2017)
- [15] ONU, Rapport des Nations Unies, (2010) 150 p.
- [16] M. CHAUVEAU, S. CHAZOT, C. PERRIN, P.Y. BOURGIN, E. SAUQUET, J.P. VIDAL, N. ROUCHY, E. MARTIN, J. DAVID, T. NOROTTE, P. MAUGIS, DE LACAZE, *Revue internationale de l'eau*, (2013) 5 15
- [17] D. DORCHIES, G. THIREL, M. JAY-ALLEMAND, M. CHAUVEAU, F. DEHAY, P. Y. BOURGIN, C. PERRIN, C. JOST, J. L. RIZZOLI, S. DEMERLIAC, R. THÉPOT, *International Journal of River Basin Management*, (12) (2014) 265 283
- [18] K. GORGEN, J. BEERSMA, H. BUITEVELD, G. BRAHMER, M. CARAMBIA, O. DE KEIZER, P. KRAHE, E. NILSON, R. LAMMERSEN, C. PERRIN, D. VOLKEN, *International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin*, (2010)

- [19] E. SAUQUET, A. DUPEYRAT, F. HENFRICKX, C. PERRIN, R. SAMIE, J. P. VIDAL, http://cemadoc.irstea.fr/cemoa/PUB00028876 (2010), (Octobre 2017)
- [20] J. P. VIDAL, E. MARTIN, N. KITOVA, J. NAJAC, J. M. SOUBEYROUX, *Hydrology and Earth System Sciences*, (16) (2012) 2935 2955
- [21] F. BERTRAND, S. PETIT, M. H. VERGOTE, J. M. BRAYER, Innovations, 3 (54) (2017) 41 63
- [22] A. BODIAN, *Physio-Géo revues*, (6) (2012) (Octobre 2017), http://physio-geo.revues.org/2561
- [23] T. D'ORGEVAL, 19 (02) (2008) 79 85
- [24] F. ELAME, M. R. DOUKKALI, A. FADLAOUI, New Medit, 3 (2016) 10 18
- [25] A. EL MOKADDEM et F. BENCHEKROUN, *Revue des Sciences de l'Eau,* 29 (2) (2016) 109 117
- [26] S. A. BOUGUERRA, A. BOUANANI et K. BABA-HAMED, *Revue des Sciences de l'Eau,* 29 (3) (2016) 179 195
- [27] T. D. SORO, N. SORO, Y. M. S. OGA, T. LASM, G. SORO, K. E. AHOUSSI, J. BIÉMI, Physio-Géo, 5 (2011) 55 73
- [28] C. LANG-DELUS, D. FRANÇOIS et E. GILLE, Physio-Géo, 10 (2016) 1 19