

VARIABILITE HYDRO-CLIMATIQUE, AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES ET INCIDENCE SUR LE REGIME DU FLEUVE MOUHOUN A DAPOLA ET BOROMO.

Gouroumana KAMBIRE¹ ; **Abdoulaye Badaye SIRIMA^{1,2}** ;
Songanaba ROUAMBA^{3,4} ; **Yélézouomin Corentin Stéphane
SOME^{1,4}**.

¹, *Laboratoire Dynamique des Espaces et Sociétés (L. D.E.S)/Université Joseph KI-ZERBO, Burkina Faso.*

gouroumkambire@gmail.com

², *Université Nazi BONI/Centre universitaire de Gaoua.*

³ *Laboratoire d'Etudes et de Recherches sur les Milieux et les Territoires (LERMIT)/Université Joseph KI-ZERBO, Burkina Faso.*

^{1,4}, *Laboratoire Sciences Humaines (LABOSH)/Université Norbert ZONGO.*

Résumé

Face aux variations incessantes des paramètres climatiques et leurs impacts sur différents secteurs économiques, des questions se posent aujourd'hui sur l'évolution récente de la pluviométrie au Burkina Faso et son incidence sur les ressources en eau. Pour mettre en évidence la variabilité hydro-pluviométrique et son impact, ainsi que celui des aménagements hydrauliques sur le régime du Mouhoun inférieur, une analyse graphique et statistique basée sur l'évolution des indices centrés réduits, ainsi que des tests de rupture de stationnarité des pluies et débits annuels ont été réalisés. L'étude de la corrélation entre pluviométrie et débits du Mouhoun a nécessité une représentation conjointe des indices centrés réduits sur un même graphique. Les résultats montrent une variabilité interannuelle marquée par des périodes d'excédents et de déficits pluviométriques et débitométriques. Les courbes de pluies et de débits évoluent dans un même sens. Aux années de déficit pluviométrique, correspondent généralement des années déficitaires au plan hydrologique. Le coefficient de corrélation entre la pluviométrie et débits du Mouhoun à Dapola avant 1984, année de réalisation du canal Mouhoun-Sourou est bonne : 71%. Cela témoigne d'une bonne corrélation entre la pluviométrie et les débits. Quant à l'impact des ouvrages hydrauliques réalisés en amont du Mouhoun sur son écoulement superficiel, il ressort que malgré une hausse des débits après la réalisation des ouvrages d'envergure sur le

Mouhoun, ces aménagements perturbent le régime du Mouhoun à Dapola, particulièrement sur les périodes d'occurrence des crues et des étiages.

Mots clés : *Variabilité climatique, aménagement hydraulique, écoulement superficiel.*

Abstract

Facing the incessant variations in climatic parameters and their impacts on the different economic sectors, questions are now being asked about the recent change in rainfall in Burkina Faso and their impact on water resources. To highlight the hydro-rainfall variability and its impact, as well as those of the hydraulic developments on the lower Mouhoun regime, a graphic and statistical analysis based on the evolution of the reduced centered indices, as well as tests of rupture of stationarity of the annual rains and flows have been achieved. The study of the correlation between rainfall and flow rates of the Mouhoun required a joint representation of the reduced centered indices on a same graph. The results show an interannual variability marked by periods of rainfall and debimetric surpluses and deficits. The rainfall and flow curves move in the same direction. Years with a rainfall deficit generally correspond to years with a hydrological deficit. The correlation coefficient between rainfall and flow rates of the Mouhoun at Dapola before 1984, the year the Mouhoun-Sourou canal was built, is good: 71%. This shows a good correlation between rainfall and flow rates. As for the impact of the hydraulic works carried out upstream of the Mouhoun on its surface flow, it appears that despite an increase in flows after the completion of large-scale works on the Mouhoun, these developments disturb the regime of the Mouhoun at Dapola, particularly on the periods of appearance of floods and low water levels.

Keywords: *Climate variability, hydraulic planning, superficial flow.*

Introduction

Les changements climatiques sont désormais l'une des préoccupations majeures pour les scientifiques et les décideurs politiques des pays du monde, eu égard à leurs impacts négatifs sur différents secteurs économiques. Ainsi, les changements climatiques sont abordés à l'échelle mondiale à travers plusieurs études afin d'analyser leurs impacts sur les secteurs clefs de développement économique. Dans ces études, une part belle est faite aux ressources en eau qui constituent un facteur essentiel de développement.

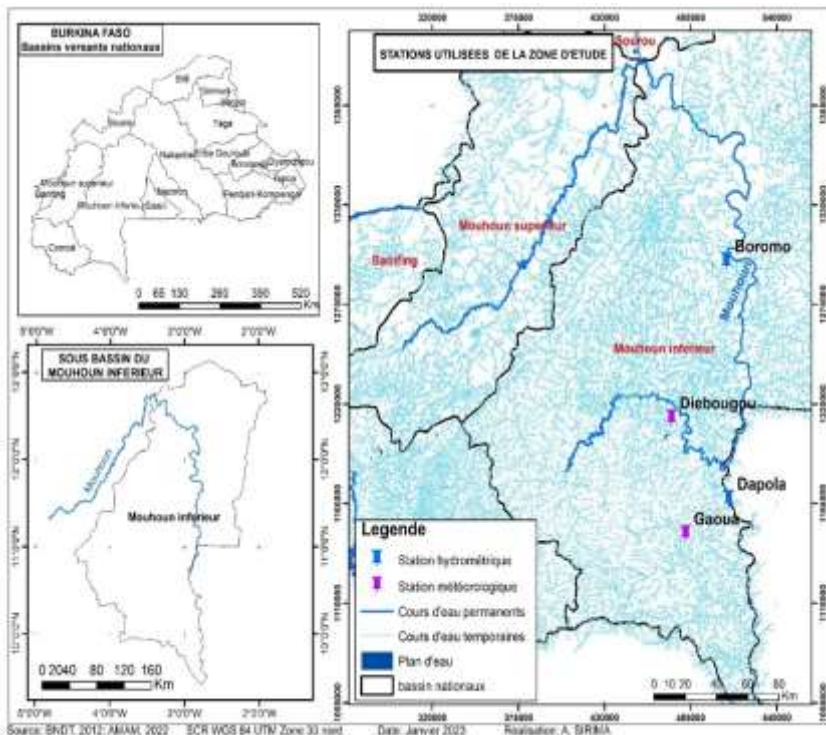
En Afrique de l'Ouest et au Sahel, plusieurs études ont mis en exergue une réduction des ressources en eau des grands bassins ou du débit de nombreux cours d'eau depuis l'installation des grandes sécheresses des décennies 1970. Dans leurs travaux, S. ARDOIN-BARDIN (2004 p.116), et A. DERRA (2016 p. 42) ont montré que la perturbation du régime climatique a conduit à une réduction des écoulements de certains fleuves sahéliens dans l'ordre de 40 à 60 %. Au Sahel particulièrement, l'état des fleuves Niger et le Lac Tchad sont des références emblématiques qui permettent de saisir l'impact de la péjoration climatique sur les ressources en eau de la région : selon ILWAC, (2013 p.8), le débit moyen du fleuve Niger a passé de 1300 m³ /s en 1978 à 895 m³/s en 2002 du fait de la baisse de la pluviométrie. Quant au bassin du lac Tchad qui, avant les sécheresses des décennies 1970 et 1980 avait une superficie de 25000 km², il n'est plus qu'à 1500 km² aujourd'hui J.G. KPAN O (2017 p.35) (soit une perte de 10% de sa superficie). A l'échelle du Burkina Faso, A. DERRA (2016 p.44) in POUYAUD B. (1986) indique que les modules du plus important fleuve du pays, à savoir le Mouhoun ont chuté de 20% au cours des décennies sèches de 1970 à 1980 à la hauteur de Dapola. Par ailleurs, pour faire face à la réduction des ressources en eau induites par ces sécheresses répétitives, le pays s'est investi dans la construction des ouvrages hydrauliques afin de mobiliser et disponibiliser l'eau pour les besoins des populations. Dans cette démarche, le bassin du Mouhoun a abrité de nombreux ouvrages ; faisant porter ainsi à ce système hydrologique un double fardeau : celui de l'impact de la péjoration des conditions climatiques, mais aussi de la pression anthropique. Cette situation a un impact considérable sur le régime du Mouhoun en aval. Car, selon E. B. Y. BAUDET (2017 p.519) in Assani et al., (2002), la variabilité hydrologique découle directement de la variabilité climatique et de tout aménagement hydraulique comme la construction des barrages. Cet état de fait amène à s'interroger sur les incidences de la forte anthropisation du bassin du Mouhoun et de la variabilité hydro-climatique sur le régime hydrologique du fleuve Mouhoun, principal cours d'eau de

ce bassin. Cette étude analyse ainsi la variabilité hydro-climatique et son incidence ainsi que ceux des aménagements hydrauliques sur le régime du Mouhoun à Boromo et Dapola.

1. Cadre géographique de la zone d'étude

La présente étude est menée dans le bassin du Mouhoun inférieur situé dans la partie Ouest du Burkina Faso. Localisé entre 10° et 13° de latitude Nord, et 2° et 5° de longitude Ouest, ce bassin couvre une superficie de 54 802 Km² (DGRE (2017 p.5). Ce secteur bénéficie d'un climat tropical sec nuancé par le domaine climatique Nord soudanien dans sa partie et celui Sud-soudanien au Sud. Les cumuls annuels de pluies vont de 600 mm à 900mm avec 4 à 5 mois de pluies dans le domaine Nord-soudanien ; et de 900 mm à plus de 1000mm dans le domaine Sud-soudanien avec une saison de pluies de 6 à 7 mois. Les températures moyennes annuelles sont croissantes du sud au nord du bassin 27°C et 30°C (DGRE 2017 p.25). Le bassin du Mouhoun inférieur est marqué par un relief en général plat, mais interrompue par endroit par des affleurements de grès fortement escarpés. Ainsi, il y existe localement, des buttes, des collines, des plaines et de plateaux gréseux. Les unités géomorphologiques dominantes se subdivisent en modelé cristallin, en modelé sédimentaire et en modelé du Continental terminal. La végétation naturelle est constituée essentiellement de savane arborée, de savane arbustive et herbeuse. Par endroit, on rencontre forêt claire et la forêt galerie le long des cours d'eau. Ce bassin est drainé par de nombreux cours d'eau dont le fleuve Mouhoun et ses nombreux affluents (cf. carte). Parmi ces affluents, les plus importants sont entre autres le grand-Balé, le petit Balé, le Poni, la Bougouriba qui sont les plus importants.

Carte 1 : Situation hydrologique du bassin du Mouhoun inférieur



Ce contexte physique du bassin influence fortement le comportement hydrographique de ce secteur.

2. Données et méthodes

2.1. Données utilisées

Pour mettre en évidence la variabilité pluviométrique dans l'aire d'étude, les données pluviométriques au pas de temps annuel de trois (03) stations météorologiques, toutes situées dans le bassin du Mouhoun inférieur ont été utilisées. Il s'agit des stations de Boromo, de Diébougou et de Gaoua. Ces données ont été obtenues auprès de l'Agence Nationale de la Météorologie

(ANAM). Quant à la variabilité de l'écoulement superficiel du fleuve Mouhoun, elle a été caractérisée à partir des données de débit annuel des stations hydrométriques de Boromo et de Dapola installées sur ce fleuve. Ces données ont été obtenues de la Direction des Etudes et de l'Information sur l'eau (DEIE).

2.1. Méthodes de traitement et d'analyse des données

Pour le traitement des données deux méthodes ont été utilisées : la méthode graphique et l'analyse statistique basée essentiellement sur les tests statistiques de rupture.

2.1.1. Etude de la variabilité des paramètres hydro-pluviométriques

La variabilité hydro-pluviométrique est mise en évidence à travers la méthode graphique et l'analyse statistique. La méthode graphique a consisté en la représentation graphique des indices centrés réduits de pluies et de débits annuels, ainsi que des indices centrés réduits pondérés aux fins d'analyse de leur évolution. Les indices centrés réduits utilisées sont l'indice standardisé de précipitation (SPI), l'indice hydrologique normalisé (IHN). Des incidences similaires ont été ensuite calculés (SPI ou IHN pondérés) à partir des totaux obtenus par le calcul des moyennes mobiles pondérées de chaque paramètre étudié. Par sa grande capacité à découper de façon perceptible les séries hydro-climatiques qui lui sont soumises, la méthode des moyennes mobiles pondérées paraît plus efficace pour rendre compte des variations climatiques à des échelles plus grandes. Elle a donc été utilisée pour pallier l'insuffisance des indices centrés simples des pluies ou débits à grouper les années par tendance. Ces indices sont obtenus par les formules suivantes :

-Indices standardisé de précipitation

$$\text{SPI} = \frac{P_i - p_m}{\sigma}$$

Où

- p_i désigne le cumul de pluies pour une année « i » ;
 p_m est la moyenne interannuelle des pluies sur la série considérée ; **σ** est l'écart-type interannuel sur la série considérée.

-Indice hydrologique normalisé

$$\text{IHN} = \frac{(D_i - D_m)}{S}$$

Avec D_i : le débit du mois ou de l'année i ; D_m : le débit moyen de la série sur l'échelle temporelle considérée ; S : l'écart-type de la série sur l'échelle temporelle considérée.

- Filtre passe-bas de HANNING d'ordre 2 ou méthode des moyennes mobiles pondérées

Une meilleure observation des fluctuations interannuelles s'obtient en éliminant les variations saisonnières. Les totaux pluviométriques et les débits annuels sont pondérés selon R.M. N., FOSSOU *et al.* (2014 p. 122), en utilisant les équations suivantes :

$$x(t) = 0,06 x(t-2) + 0,25 x(t-1) + 0,38 x(t) + 0,25 x(t+1) + 0,06 x(t+2)$$

pour $3 \leq t \leq (n-2)$

où $x(t)$ est le total pluviométrique ou débitométrique pondéré du terme t , $x(t-2)$ et $x(t-1)$ sont les totaux pluviométriques ou de débit des deux termes qui précèdent immédiatement le terme t , et $x(t+2)$ et $x(t+1)$ sont les totaux des deux termes qui suivent immédiatement le terme t .

Les totaux pluviométriques ou débitométrique pondérés des deux premiers termes [$x(1)$, $x(2)$] et des deux derniers termes [$x(n-1)$, $x(n)$] de la série sont calculés au moyen des expressions ci-dessous (n étant la taille de la série) :

$$X_{(1)} = 0,54x_{(1)} + 0,46x_{(2)}$$

$$X_{(2)} = 0,25x_{(1)} + 0,50x_{(2)} + 0,25x_{(3)}$$

$$X_{(n-1)} = 0,25x_{(n-2)} + 0,50x_{(n-1)} + 0,25x_{(n)}$$

$$X_{(n)} = 0,54x_{(n)} + 0,46x_{(n-1)}$$

-Indices centrés réduits pondérés :

Les indices centrés réduits calculés à partir des hauteurs pluies et de débits pondérées obtenues par la méthode des moyennes mobiles pondérées ont permis de mieux distinguer les périodes de déficit et d'excédent pluviométrique. Cet indice est donné par la formule suivante :

$$Y'_{(t)} = (\mathbf{X}_{(t)} - \mathbf{m})/\sigma$$

Où $X_{(t)}$ est la moyenne mobile pondérée d'un moment t , m la moyenne de la série des moyennes pondérées et σ est l'écart type de la série des moyennes mobiles pondérées. Cette méthode a été utilisée par plusieurs auteurs dans l'analyse de la variabilité hydro-climatique. Elle permet de mieux visualiser les périodes déficitaires et d'excédentaires de pluviométries et de débits.

Quant à l'analyse statistique, elle est fondée sur l'utilisation des tests de rupture et le calcul de quelques indices de dispersion autour de la moyenne de la série. Les tests statistiques de rupture utilisés sont : le Test de Pettitt, la méthode bayésienne de Lee et Heghinian, le test de Buishand et ellipse de Bois. Ces tests statistiques ont été appliqués à l'aide du logiciel Khronostat. Pour l'analyse de la dispersion des données autour de la moyenne, les indices analysés sont l'écart-type, le coefficient de variation qui permettent de mesurer la fréquence et de l'ampleur des écarts intervenus dans les paramètres hydro-climatiques étudiés au fil des ans. Ces indices s'obtiennent par les formules ci-dessous :

-Coefficient de variation (CV)

Le coefficient de variation (CV) calculé sur une chronique permet d'exprimer une mesure intégrée de l'amplitude et de la

fréquence des écarts des paramètres par rapport à la moyenne à long terme. C'est un paramètre de dispersion relatif qui permet de comparer des distributions différentes et de relativiser l'écart-type. Il s'obtient par la formule suivante :

$$CV = \frac{\text{Ecart-Type} \times 100}{\text{Moyenne}}$$

Variation relative

Pour les variables hydro-pluviométriques dont la série chronologique présente une rupture, il est intéressant de calculer les variations relatives ou variations moyennes de part et d'autre de la rupture principale. La variation relative (VR) considérant deux séries s'obtient par la formule suivante :

$$VR = \frac{\bar{X}_2 - \bar{X}_1}{\bar{X}_1} * 100$$

Où X_2 représente la moyenne de la seconde sous-période (moyenne après la rupture) et X_1 la moyenne de la première sous-période (moyenne avant la rupture). Ainsi, une valeur positive du résultat traduit un gain, si elle est négative, elle traduit un déficit NOGBOU S., (2001 p.32).

2.1.2. Etude de l'impact de la variabilité pluviométrique sur les écoulements superficiels du Mouhoun

L'objectif de cette analyse est de mettre en évidence une éventuelle corrélation entre les pluies et les débits du Mouhoun, donc une relation de cause (pluie) à l'effet (débit) entre la pluviométrie et les écoulements superficiels du Mouhoun afin de d'étudier l'influence de la variabilité climatique sur son écoulement superficiel. Pour ce faire, une représentation conjointe sur un même graphique des indices centrés réduits de pluies et de débits annuels du Mouhoun ainsi que des indices pondérés réduits est faite. Cela a permis de déceler les changements dans l'écoulement superficiel qui pourraient être dû à la péjoration pluviométrique dans le secteur d'étude.

2.1.3. Etude de l'impact des barrages sur l'écoulement superficiel du Mouhoun à Dapola

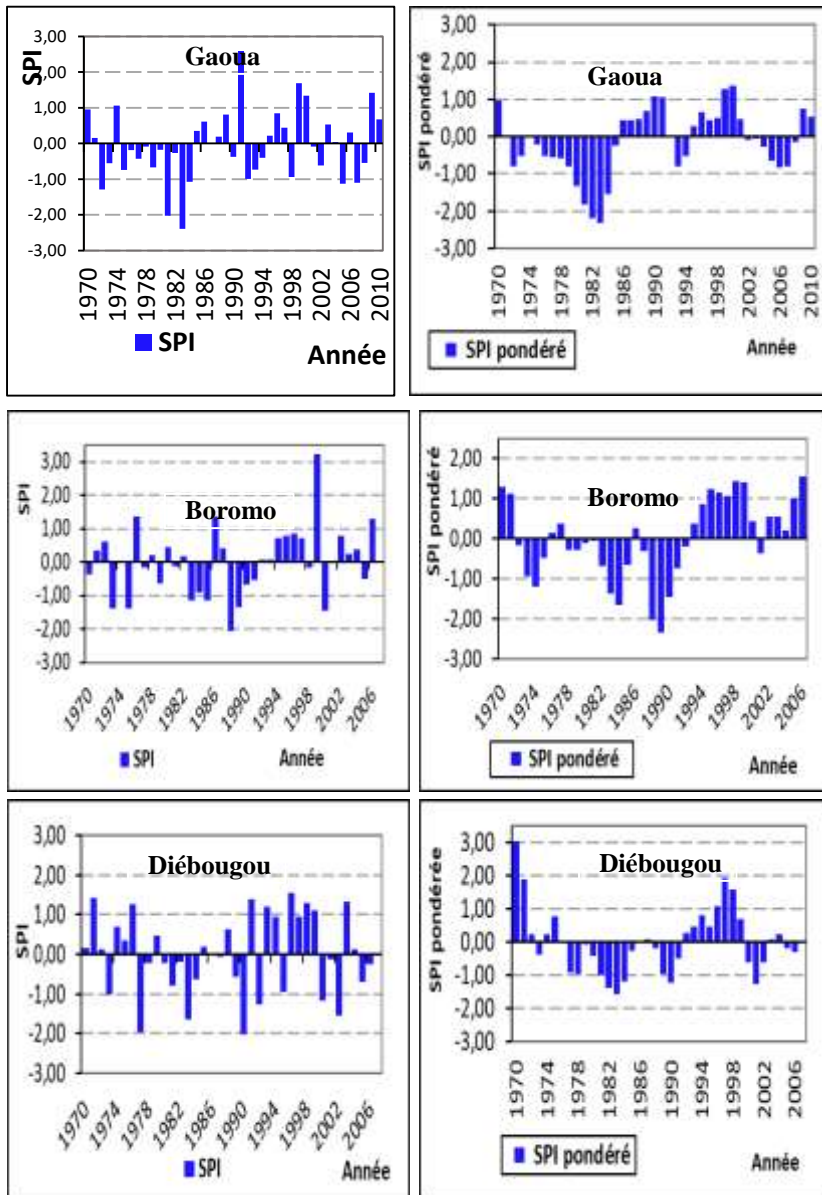
L'objectif poursuivi dans cette partie est de montrer l'influence des aménagements hydrauliques, notamment les barrages réalisés en amont sur le lit Mouhoun sur son écoulement superficiel en aval. Pour cela, la méthode de « *station témoin* » a été utilisée. Elle consiste à comparer les données mesurées à la même station hydrométrique avant et après la construction d'un barrage (Assani et al., 2002) cité par E. B. Y. BAUDET (2017 p.515). Les ouvrages retenus pour cette analyse concernent le barrage-vannes de Léry construit en 1976 sur le lit du Sourou (qui est un affluent et par moment défluent du Mouhoun) et la canalisation intervenue en 1984 pour faire transiter intégralement les eaux du Mouhoun dans le Sourou. La station hydrométrique témoin retenue est celle de Dapola en raison de sa localisation en aval des ouvrages réalisés sur le Mouhoun, ainsi que des stations météorologiques utilisées. Cette approche permet de déceler les changements dans l'écoulement superficiel du Mouhoun qui pourraient être dus à la construction des barrages. Cette méthode a déjà été utilisée dans travaux antérieurs dans différents bassins versants comme celui de la Lobo Centre Ouest de la Côte d'Ivoire, de l'Oubangui au Centre Afrique et a donné des résultats satisfaisants (E. B. Y. BAUDET, 2017 p.514).

3. Résultats et analyse

3.1. Variabilité des cumuls pluviométriques annuels dans le bassin du Mouhoun inférieur

Les indices centrés réduits et les indices centrés réduits pondérés de la pluviométrie calculée pour les stations de Gaoua, Boromo et de Diébougou sont représentés par la figure1. L'évolution de ces indices indique la dynamique pluviométrique dans le bassin inférieur du Mouhoun au cours de la période d'étude.

Figure 1 : Variabilité interannuelle de la pluviométrie dans le secteur d'étude



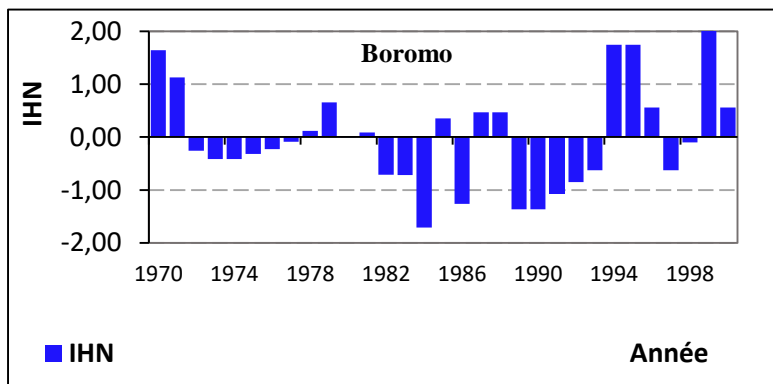
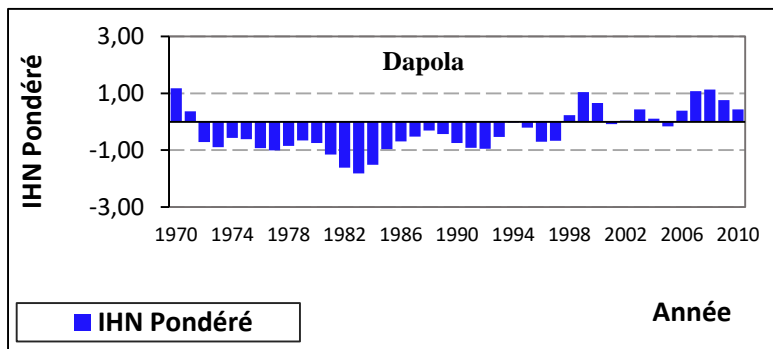
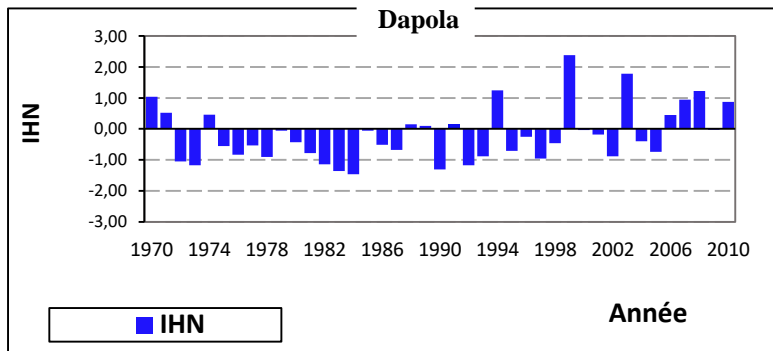
Source : ANAM 2020

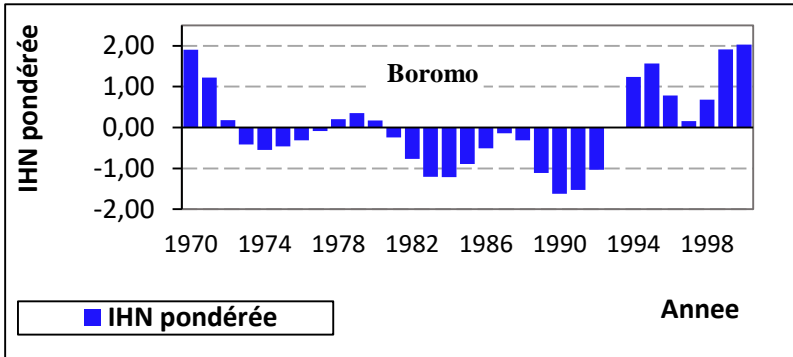
Les graphiques des indices centrés réduits des trois (03) stations météorologiques montrent une variabilité interannuelle des cumuls de pluies dans le secteur d'étude. Cela se traduit par une alternance entre années humides et années sèches qui transparaissent sur les graphiques des indices centrés réduits des pluies. Quant aux indices centrés réduits et pondérés, leur évolution laisse apercevoir trois (03) tendances distinctes dans la dynamique de la pluviométrie aux stations de Gaoua et de Boromo. Quant à la station de Diébougou, deux (02) tendances se dégagent. Pour la station de Gaoua, l'on note une période globalement déficitaire allant de 1970 à 1985 qui est succédée par une autre humide allant de 1986 à 2001 ; puis une troisième période à variabilité accrue, mais à tendance déficitaire et allant de 2002 à 2010. Quant à la station de Boromo, elle montre une période déficitaire qui va globalement de 1972 à 1991. A partir de 1992 une période plutôt excédentaire s'installe et ce jusqu'en 1999. Elle sera succédée par une autre déficitaire qui s'étale de 2000 à 2006. A la station de Diébougou, l'analyse du graphique révèle une période sèche qui a débuté dès 1972 et qui s'est poursuivie jusqu'en 1992 ; puis une période humide qui est intervenue à partir de 1993 et, qui s'est maintenue jusqu'en 2006.

3. 2. Variabilité des modules annuels du fleuve Mouhoun à Dapola et Boromo

L'irrégularité interannuelle des écoulements superficiels du Mouhoun à Boromo et Dapola est analysée à partir des indices centrés réduits simples et ceux issus des moyennes mobiles pondérées des débits. L'évolution de ces indices sur la période d'étude est donnée par la figure 2.

Figure 2 : Variabilité annuelle des modules annuels du Mouhoun à Dapola





Source : DEIE 2020

Les graphiques des indices centrés réduits montrent une variabilité interannuelle des débits du Mouhoun. Cela se traduit par une alternance entre année hydrauliquement excédentaire et années déficitaires. Par ailleurs, l'analyse du graphique des indices centrés pondérés permet relever deux (02) tendances dans l'évolution des débits du Mouhoun sur la période d'étude à la station de Dapola : une période sèche allant de 1973 à 1998 qui est succédée par une humide qui va de 1999 à 2006. A la station de Boromo, les débits affichent quasiment la même allure. Une période sèche s'étale de 1973 à 1993 ; suivie une seconde période plutôt humide qui va de 1994 à 2000. Le tableau 1 élucide le niveau variabilité des paramètres hydro-pluviométriques à travers quelques indicateurs de dispersion autour de la moyenne.

Tableau 1 : Statistiques descriptives sur la variabilité des pluies et des débits du Mouhoun

Type de station	Station	Série	Statistiques		
			Moy. (mm)	Ecart-type	C.V (%)
Météorologique	Gaoua	1970-2010	1052,13	140,55	13,36
	Boromo	1970-2006	857,27	136,63	15,94
	Diébougou	1970-2006	999,36	123,02	12,31
Hydrométrique	Dapola	1970-2010	86,77	40,30	46,44
	Boromo	1970-2000	26,10	12,94	49,56

Source : ANAM 2020 et DEIE 2020

Les indices de dispersion consignés dans le tableau 1 permettent de conforter les résultats graphiques de la forte variabilité des pluies et des modules annuels du Mouhoun dans la zone d'étude. En effet, des écarts importants d'une année à l'autre existent entre la pluviométrie à Gaoua, Boromo et Diébougou en témoignent les écart-types s'élevant respectivement à 140,55 ; 136,63 et 123, 02. Toutefois ces écarts sont plus fréquents à la station de Boromo, relevant du domaine Nord-soudanien qu'au niveau des deux (02) autres situé dans le domaine Sud-soudanien. Quant aux modules du Mouhoun, les écarts interannuels sont moins grands que ceux de la pluviométrie. Ils sont toutefois plus récurrents avec des coefficients de variation de 46,44% et 49,56% respectifs à Dapola et Boromo.

2.3. Analyse de l'hétérogénéité des séries hydro-pluviométriques et ampleur des variations

L'application des tests de Pettitt, de Buishand et ellipse de Bois ainsi que la méthode bayésienne de Lee et Heghinian a permis d'identifier des ruptures de stationnarité dans les séries pour toutes les stations étudiées. A l'issu de cet exercice, les moyennes avant et après rupture ainsi que la variation moyenne de part et

d'autre de la date de rupture ont été déterminées. Pour ce calcul, la date de rupture estimée par le test de Pettitt a été utilisée en raison de sa robustesse à détecter les ruptures. Pour les cumuls pluviométriques de Gaoua, tous les trois (03) tests ont décelé une rupture à la hausse intervenue en 1984. Pour Diébougou et Boromo, le test de Pettitt et la méthode bayésienne de Lee et Heghinian ont tous détecté une rupture à la hausse survenue respectivement en 1993 (Diébougou) et 1990 (Boromo). Quant au test de Buishand et l'ellipse de Bois, il n'a pas détecté de rupture pour la station de Boromo ; mais il signale une rupture à la station de Diébougou située en 1990. Pour les modules annuels du Mouhoun, les trois tests ont décelé une rupture à la hausse située en 1998 et 1993 pour Dapola et Boromo respectivement. Les résultats sont consignés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Variations de la pluviométrie et des débits du Mouhoun à Dapola

Type de station Station		Série	Année de rupture	Moy. avant rupture	Moy. Après rupture	V.R (%)
Pluviométrique	Gaoua	1970 - 2010	1984	986,65	1089,92	10%
	Boromo	1970 - 2006	1990	831,83	890,66	7%
	Diébougou	1970 - 2006	1993	964,07	1064,52	10%
Hydrométrique	Dapola	1970 - 2010	1998	74,55	116,32	56%
	Boromo	1970 - 2000	1993	22,61	38,100	68,5 %

Source : ANAM 2020 et DEIE 2020

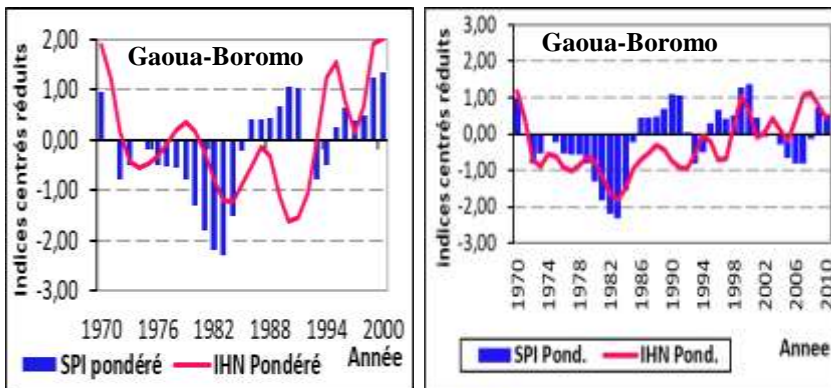
NB : VR=Variation relative

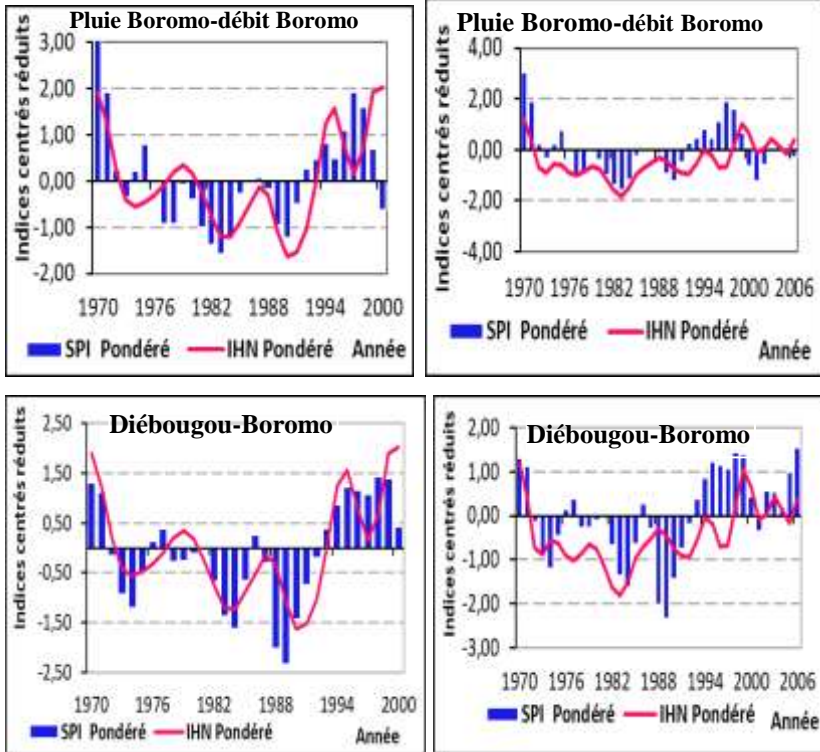
A partir des statistiques du tableau 2, il est clair que la pluviométrie et les débits du Mouhoun, malgré la forte variabilité, connaissent une tendance à la hausse au niveau des stations étudiées. La pluviométrie enregistre un gain à la fin des années 1980 bien que faible (cf. VR). Quant aux débits du fleuve Mouhoun, le gain est assez important avec des variations relatives de 56% et 68,5% pour les stations de Dapola et de Boromo respectivement.

3.4. Incidence de la variabilité des pluviométrique sur le régime du Mouhoun à Dapola

La représentation graphique sur un même axe de temps des cumuls annuels de pluies (la cause) et ceux des débits du Mouhoun à Dapola at Boromo (l'effet) a permis de mettre en évidence l'influence de la pluviométrie sur les écoulements superficiels de ce fleuve ; et par ricochet l'impact de la sécheresse météorologique son régime. La figure 3 permet de percevoir la relation pluie-débit du Mouhoun.

Figure 3 : Relation pluie-débit du Mouhoun à Boromo et Dapola





Source : ANAM 2020 et DEIE 2020

L'analyse du graphique montre que les indices centrés réduits des pluies et des débits évoluent globalement dans le même sens. Ainsi, aux années de déficits pluviométriques correspondent généralement des années déficitaires en écoulement du Mouhoun au niveau des stations étudiées. En outre, l'on note que les décennies 1970 et 1980 qui ont été des périodes sèches au plan météorologique dans le secteur d'étude l'ont été aussi au plan hydrologique. Cela permet de dire qu'il y a une corrélation entre la pluviométrie et les débits du Mouhoun à Dapola. Avant la réalisation du canal Mouhoun-Sourou en 1984 qui semble influencer les écoulements du Mouhoun en aval, cette

corrélation est bonne entre les débits du Mouhoun et la pluviométrie à Boromo et Gaoua. Avant 1984, le coefficient de corrélation était de 71% entre les pluies des deux stations et les débits du Mouhoun à Dapola. Entre la station pluviométrique de Diébougou et les débits du Mouhoun à Dapola, il existe une corrélation bien que faible ; soit un coefficient de corrélation 32%. Cette corrélation devient faible après la date de réalisations du le canal Mouhoun-Sourou. Cet affaiblissement du coefficient de corrélation pourrait s'expliquer par l'effet de la régularisation des débits du Mouhoun en aval par le jeu de fermeture des vannes de ce canal. Cette bonne corrélation entre les pluies et les débits du Mouhoun montre que les sécheresses météorologiques entraînent celles hydrologiques dans le secteur d'étude. Ainsi, il est clair que la péjoration de la pluviométrie a un impact négatif sur le régime du fleuve Mouhoun.

3.5. Incidence des barrages sur l'écoulement superficiel du fleuve Mouhoun

L'analyse de l'incidence des barrages sur le Mouhoun vise à déceler la part anthropique dans la réduction des écoulements superficiels de ce fleuve et/ou la perturbation de son régime. Les ouvrages hydrauliques majeurs réalisés en amont du Mouhoun, et particulièrement dans le bassin du Mouhoun inférieur sont les barrages de Léry et le complexe « *complexe sourou* » construits respectivement en 1976 et en 1984. Pour analyser l'influence de ces ouvrages sur le régime du Mouhoun à Dapola, les débits moyens annuels des périodes d'avant et d'après construction de ces deux barrages ont été calculés et consignés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Impact des barrages sur écoulements superficiels du Mouhoun à Dapola

Léry			Canal Mouhoun-Sourou		
Débit moyen avant (1970-1976)	Débit moyen après (1977-2010)	VR	Débit moyen avant (1970-1983)	Débit moyen après (1984-2010)	VR
85,56	87,02	2%	73,82	93,49	27%

Source : DEIE 2020

L'analyse du tableau relève une hausse des écoulements du Mouhoun en aval à Dapola après la construction des barrages de Léry et du complexe Sourou. Entre 1977-2010 ; puis 1984-2010 ; donc après la réalisation du barrage de Léry en 1976 et du complexe Sourou en 1984 respectivement, le Mouhoun a connu un gain en écoulement la station de Dapola. Ce gain est de l'ordre 2% après la construction du barrage de Léry et 27% après la réalisation du Canal Mouhoun-Sourou. De ce fait, tout porte à croire que la et la mise sur pied de ces ouvrages d'envergure en amont n'a pas eu d'impact sur le régime du Mouhoun en aval. Toutefois, avec un recul, l'analyse permet de dégager des pistes d'explication de cette situation. En effet, la réalisation de ces ouvrages est intervenue en pleine décennies sèches : en 1976 et 1984. Ainsi, l'analyse comparative est faite entre les données d'une période de sécheresse et une autre pendant laquelle le secteur d'étude a connu un regain pluviométrique qui a un apport certain dans les écoulements des fleuves à régime tropicaux. De ce fait, l'augmentation des apports en écoulement suite à la hausse des pluies a dû atténuer des déficits que pourraient engendrer la réalisation de ces ouvrages. Aussi, le complexe Sourou régule le régime du Mouhoun par la canalisation des eaux stockées dans le Sourou (qui jadis coulaient vers le Mali en hautes eaux) vers l'aval du

Mouhoun. Ainsi, le Mouhoun en aval bénéficie toujours d'apports conséquents en eaux stockés dans l'ouvrage bien qu'ils soient maintenant contrôlés par le jeu d'ouverture et de fermeture des vannes. De plus, le maintien ou la hausse des écoulements du Mouhoun en aval pourraient s'expliquer par la hausse des ruissellements vers ce cours d'eau en raison de la dégradation du couvert végétal du secteur d'étude. Eu égard à ces réalités, l'exercice d'analyser l'impact des barrages sur les écoulements du Mouhoun pour la période visée s'avère être un exercice complexe. Toutefois, il est clair que les ouvrages hydrauliques réalisés sur ce fleuve influencent fortement son régime, notamment les périodes d'occurrence des crues en aval qui subissent l'effet du jeu d'ouverture et de fermeture des vannes du canal Mouhoun-Sourou.

4. Discussion

L'analyse de la pluviométrie et des débits du Mouhoun à Dapola et Boromo fait ressortir une variabilité de ces paramètres. Cette variabilité se caractérise par une alternance entre année humides et années sèches. La représentation graphique des indices centrés réduits laisse apparaître trois (03) tendances distinctes dans l'évolution de la pluviométrie au niveau des stations de Gaoua et de Boromo, et deux (02) tendances à la station de Diébougou. Pour la station de Gaoua, on note une période globalement déficitaire allant de 1970 à 1985 qui est succédée par une autre humide qui va de 1986 à 2001 ; puis une troisième période de grande variabilité, mais à tendance déficitaire couvrant la période de 2002 à 2010. Quant à la station de Boromo, l'analyse révèle une période déficitaire qui va de 1972 à 1991. De 1992 à 1999, une période plutôt excédentaire s'installe et est succédée par une autre globalement déficitaire qui s'étale de 2000 à 2006. Au niveau de la station de Diébougou, la période sèche va de 1972 à 1992 ; entre 1993 et 2006, une période humide a prévalu. Par ailleurs, chacune de ces

trois (03) stations ont affiché des ruptures à la hausse des pluies annuelles intervenue respectivement en 1984, 1990 et 1993. Ces résultats sont illustratifs de la baisse généralisée des cumuls pluviométriques en Afrique de l'Ouest dans les décennies 1970 et 1980 ; puis la reprise d'une pluviométrie plus favorable intervenue à partir des années 1990 relevé par de nombreux auteurs. A l'échelle du Burkina Faso, ces résultats de la variabilité interannuelle de la pluviométrie corroborent ceux de nombreux auteurs. En effet, cette variabilité pluviométrique dans le domaine Sud-soudanien est relevée par maints auteurs dont M. OUNANDE, (2015, p.53) et S. ARDOIN-BARDIN, (2004, p.231). Dans le domaine Nord-sahélien dont relève la station de Boromo, les résultats sont en conjonction avec ceux de S. ROUAMBA (2017, p.95) qui a aussi mis en évidence une forte variabilité de la pluviométrie dans la zone de Ouagadougou. Ainsi, la variabilité de la pluviométrie affectant l'ensemble des domaines climatiques du Burkina Faso après les périodes sèches les décennies 1970 et 1980 semble faire l'unanimité au sein des auteurs. Néanmoins, l'ampleur des écarts différents d'une zone à une autre. Pour les stations étudiées, celle de Boromo et de Diébougou enregistrent une plus grande variabilité interannuelle au cours des décennies récentes. Dans chacune des trois stations météorologiques étudiées, les déficits sont plus aigus que les excédents ; ce qui témoigne de la dégradation des conditions pluviométriques malgré la tendance à la hausse des totaux annuels. Pour ce qui est des modules annuels du Mouhoun à Dapola et Boromo, leur évolution suit globalement celle pluviométrique de la zone. L'analyse révèle une variabilité interannuelle sur toute la période d'étude avec une rupture à la hausse intervenue en 1998 et 1993 respectivement pour la station de Dapola et de Boromo. La période d'avant rupture est marquée par une sécheresse hydrologique sans précédent qui a connu son paroxysme entre 1982 et 1984. Ces résultats corroborent celui de la DGRE, (2017 p.38) qui, utilisant les indices entrés réduits, a montré une variabilité et des périodes

très distinctes des écoulements du Mouhoun entre 1955 et 2017. Sur cette période de 1955 à 2017, les modules du fleuve Mouhoun à Dapola ont varié entre 29,2 m³/s en 1984 et 204 m³/s en 1999 selon cet auteur. Aussi, la relation pluie-débit du Mouhoun analysée entre 1970 à 1983 (c'est-à-dire avant la réalisation du complexe Sourou) montrent une bonne corrélation avec un coefficient de corrélation de 0,71 pour les stations de Gaoua et de Boromo ; ce qui signifie que l'écoulement superficiel du Mouhoun est étroitement lié à la pluviométrie. De plus, les décennies sèches au plan météorologique l'ont été au plan hydrologique. Ainsi, une sécheresse météorologique entraîne de facto la sécheresse hydrologique. Cela permet de dire que l'installation de la période sécheresse persistante à partir des années 1970 a contribué à réduire les écoulements superficiels du Mouhoun. Ce constat va dans le même sens que ceux de OMM-N° 1006, (2006 p.13) qui a rappelé que tous les types de sécheresse ont leur origine dans une insuffisance des précipitations, donc une sécheresse météorologique. Toutefois, les modules annuels qui affichent une hausse sur la période 1970-2010 ne corroborent pas les analyses de KPAN O. J.G. (2017 p.35) qui montrent que les modifications du climat ont entraîné une baisse drastique des écoulements de certains fleuves sahéliens. Par contre, ces résultats corroborent le constat fait par PIEYNS S. A (2017 p.10) sur une augmentation des débits des rivières sahéliennes qu'il attribue à l'augmentation des coefficients d'écoulement. Au Burkina Faso, un constat similaire est fait sur le fleuve Nakanbé par SP/CONNED (2010 p.74) qui a relevé que les débits de ce cours d'eau qui sont restés faibles avant 1970, connaissent une hausse notable après 1970, et ce, jusqu'aujourd'hui. Cette situation pourrait s'expliquer par l'intensification du ruissellement due à la dégradation du couvert végétal entraînée par la forte anthropisation de son bassin versant. Par ailleurs, la construction du canal Mouhoun-Sourou influence les débits en aval du Mouhoun à Dapola. Cette réalité liée aux aménagements hydrauliques est déjà mise en évidence

par E. B. Y., BAUDET (2017 p.519) pour la rivière Sebou au Maroc, quand il relève que la construction des barrages peut contribuer à la variabilité des écoulements de ce cours d'eau. Pour le cas du Mouhoun la DGRE, (2017 p.36) souligne qu'à partir du 28 juillet 1984, date de la mise en eau du canal Mouhoun-Sourou, les débits du Mouhoun sont influencés par le jeu de réserve dans le Sourou. C'est aussi l'avis de PIEYNS S. A. et al. (2017 p 25) et B. NDIAYE (2003 p.88) qui soutiennent que l'aménagement du Sourou ainsi que les prélèvements au fil de l'eau à Ténado et Poura pour l'alimentation en eau potable perturbent le régime naturel du Mouhoun aussi bien en étiage qu'en crue. Au regard de ces résultats, la forte mobilisation des ressources en eau du bassin du Mouhoun à travers les ouvrages hydrauliques, si elle n'est pas bien contrôlée, risque de perturber l'équilibre de ce système hydrologique ainsi que la réduction de ses services au profit des populations riveraines.

Conclusion

Les variations climatiques observées dans le monde pendant les dernières décennies ont énormément influencé les ressources en eau des pays sahéliens d'Afrique de l'Ouest. Ainsi, les études portant sur la variabilité hydro-climatique et les impacts de la péjoration du climatique sur les écoulements superficiels des fleuves y ont intéressé de nombreux auteurs. Ceux-ci dans leurs travaux tentent de faire un état de lieux afin de proposer des solutions pour des prises de décisions adéquates. Cette étude est une contribution à ce débat scientifique. Elle a révélé une variabilité interannuelle de la pluviométrie aux stations météorologiques de Gaoua, de Diébougou et de Boromo, mais aussi des débits annuels du Mouhoun à la station de Dapola et Boromo. Cette variabilité apparaît également pour des échelles temporelles plus larges ; de l'ordre de décennie ou plus. Dans l'ensemble, les décennies 1970 et 1980 ont été des périodes de déficit pluviométrique et hydrologique dans le secteur d'étude.

Toutefois, des conditions hydro-pluviométriques de plus en plus favorables se signalent depuis le début de la décennie 1990. L'écoulement du Mouhoun est étroitement lié à la pluviométrie, si bien que les sécheresses météorologiques se répercutent sur son régime. Par ailleurs, les multiples aménagements hydrauliques sur le lit du Mouhoun modifient le régime de ce cours d'eau et réduisent ses écoulements. Toutefois, il n'est pas toujours facile d'établir si l'origine des évolutions constatées est liée à des modifications climatiques ou à l'action anthropique ; encore moins la part de chacun des deux phénomènes. En tout état de cause, ces deux phénomènes ont un impact indéniable sur le régime du fleuve Mouhoun. Ainsi, la forte mobilisation actuelle des ressources en eau du bassin du Mouhoun afin d'assurer les besoins des populations ne doit pas se faire en oubliant l'équilibre de ce système hydrologique à préserver.

Bibliographie

Ahoussi K.E., Koffi Y.B., Kouassi A. M. *et al.* (2013). « Étude de la variabilité hydro-climatique et de ses conséquences sur les ressources en eau du Sud forestier et agricole de la Côte d'Ivoire : cas de la région d'Abidjan-Agboville » in *Int. J. Pure App. Biosci.* Vol.1 n° 6 pp. 30-50.

Baudet E. B.Y., Haida S., Probst J.-L. (2017). « Analyse de la variabilité hydro-climatique et impacts des barrages sur le régime hydrologique d'une rivière de zone semi-aride : Le Sebou au Maroc » in *European Scientific Journal*, vol.13-n° 5, pp.509-525.

Derra A. (2016). *L'impact des changements climatiques sur les ressources en eaux dans le domaine sahélien*, Mémoire de Master de recherche, gestion des ressources naturelles, université Ouaga1 Pr Joseph KI-ZERBO, 105 p.

DGRE (BF), (2017). Synthèse du suivi des ressources en eau 166p.

Diallo B. (2010). *Perceptions endogènes, analyses agro climatiques et stratégies d'adaptation aux variabilités et changements climatiques des populations dans trois zones climatiques du Burkina Faso*, Mémoire d'ingénieur en agrométéorologie, Centre Régional AGRHYMET, 75p.

Fossou R., N'guessan M., Soro N. *et al* (2014). « Variabilité climatique et son incidence sur les ressources en eaux de surface : cas des stations de Bocanda et de Dimbokro, Centre-Est de la Côte d'Ivoire en Afrique de l'Ouest » in *Afrique SCIENCE*, Vol.10, n°4 pp.118-134.

ILWAC (2013). *Gestion intégrée de la terre et de l'eau pour l'adaptation à la variabilité et au changement climatique au Mali guide méthodologique cartographie de la vulnérabilité face aux risques climatiques*, rapport d'étude 39p.

Ndiaye B. (2003). *Impacts du climat et des aménagements sur le régime hydrologique du Mouhoun*, Mémoire d'ingénierie en eau, Ecole Inter-Etat d'Ingénieurs de L'Equipement Rural (EIER) de Ouagadougou, Burkina Faso, 127p.

Nogbou S. (2001). *Analyse de la variabilité des caractéristiques des hydrogrammes au Burkina Faso*. Mémoire d'ingénierie en eau, Ecole Inter-Etat d'Ingénieurs de L'Equipement Rural (EIER) de Ouagadougou, Burkina Faso, 78p.

OMM (2006). *Suivi de la sécheresse et alerte précoce : principes, progrès et enjeux futurs : L'information météorologique et climatologique au profit d'un développement agricole durable*, N° 1006, 28 p.

Ouandé M. (2015). *Impacts de la variabilité climatique sur l'habitat naturel de CARAPA PROCERA dans la région des Cascades : cas des forêts galeries dans la commune rurale de Bérégadougou*, Mémoire de master de recherche, gestion des ressources naturelles, université Ouaga1 Pr Joseph KI-ZERBO, 125 p.

Pieyns S. A., Ouedraogo F.-N., Kagambega Z., *et al.* (2017). Amélioration de la connaissance et de la gestion des eaux au Burkina Faso, rapport d'étude 104 p.

ROUAMBA S. (2017). *Variabilité climatique et accès à l'eau dans les quartiers informels de Ouagadougou*, Thèse de doctorat unique en géographie, aménagement du territoire, université OUAGA I Pr Joseph KI-ZERBO, 445 p.

Sandra A. B. (2004) . *Variabilité hydro climatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne*, Thèse de doctorat en sciences de l'eau, université Montpellier II, Montpellier 440p.

SP/CONEDD 2010. Troisième rapport sur l'état de l'environnement au Burkina Faso, rapport d'étude, 263 p.

Yanogo P. I. (2012). *Les stratégies d'adaptation des populations aux aléas climatiques autour du Lac Bagré (Burkina Faso)*, Thèse de Doctorat Unique de Géographie, Gestion de l'Environnement, Géoscience de l'Environnement et Aménagement de l'espace, Université d'Abomey-Calavi, 254 p.