

IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES APPORTS ET LES DEMANDES EN EAU AGRICOLE DANS LE BASSIN VERSANT DU BARRAGE DE BOURA AU BURKINA FASO

CLIMATE CHANGE IMPACTS ON RUNOFF AND IRRIGATION WATER REQUIREMENTS IN THE WATERSHED UPSTREAM BOURA DAM IN BURKINA FASO

Tazen FOWE, *Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE). Laboratoire Hydrologie et Ressources en Eau. Ouagadougou 01, Burkina Faso, tazen.fowe@2ie-edu.org*

Boubacar IBRAHIM, *Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques, Niger, ibrabou@yahoo.fr*

Issam NOURI, *National d'Agronomie de Tunisie (INAT), Tunis, Tunisie, inouiri@yahoo.fr*

Jean-Emmanuel PATUREL, *IRD-HydroSciences Montpellier, Université Montpellier 2 (HSM-UM2), France, jean-emmanuel.paturel@ird.fr*

Harouna KARAMBIRI, *Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE). Laboratoire Hydrologie et Ressources en Eau, Ouagadougou 01, Burkina Faso, harouna.karambiri@2ie-edu.org*

RESUME : Cette étude évalue les effets potentiels des changements climatiques sur les apports en eau du bassin amont du barrage de Boura. Les projections climatiques du modèle régional RCA4 (Rossby Centre Atmosphere model, version 4) ont été utilisées pour réaliser les simulations hydrologiques avec le modèle hydrologique GR4J pour les périodes futures. Le modèle RCA4 fut forcé par le modèle de circulation globale MPI-ESM-LR sous deux scénarios de forçages radiatifs "Representative Concentration Pathways" (RCPs). Une gamme de variation des écoulements moyens annuels de 30 à 130% est projetée pour les horizons futurs (2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100) comparée à la référence (1971-2000). Nos résultats montrent que les volumes moyens annuels des demandes en eau agricole vont augmenter jusqu'à 15%.

Mots-clés Correction des biais, projection climatique, ressources en eau, agriculture

ABSTRACT: This study assess the potential effects of climate changes on runoff and irrigation water requirements in the watershed upstream Boura dam. The outputs of regional climate model RCA4 (Rossby Centre Atmosphere model, version 4) have been used as inputs of hydrological model GR4J to simulate future runoff. The RCA4 model was forced by the global circulation model MPI-ESM-LR under two Representative Concentration Pathways (RCPs) scenarios. The analysis of annual average runoff changes between the future for the three 30 year horizons (2011-2040, 2041-2070 and 2071-2100) and the reference period (1971-2000) indicated increases in annual runoff with rates in the range 30 to 130%. Results also showed upward trends with increases up to + 15% for the future irrigation water demands.

Key words: Bias correction, climate projection, water resources, agriculture

INTRODUCTION

L'une des conséquences prévisibles majeures des changements climatiques est leurs impacts sur les ressources en eau. Dans les pays en développement, les problèmes de gestion des ressources en eau et de la sécurité alimentaire sont susceptibles d'être accélérés dans les régions arides et semi-arides, zones aux conditions climatiques précaires, au regard de la prévision d'un accroissement des poches de sécheresses (Andersson et al., 2011). En Afrique de l'Ouest en particulier, le secteur agro-pastoral a un poids considérable dans l'économie de la plupart des pays, extrêmement sensibles aux variations des ressources en eau, comme observé lors des sécheresses des décennies 70 et 80 (Karambiri et al., 2011). Pour cela, nous examinons dans ce travail les effets potentiels que les changements climatiques futur pourraient avoir sur les caractéristiques hydrologiques du bassin versant du barrage de Boura et sur les demandes en eau agricole.

Cette étude vise à investiguer les possibles changements sur les ressources et les demandes en eau agricole dans le bassin amont du barrage de Boura sur la base des changements climatiques projetés pour les horizons futurs (2020s : 2011-2040, 2050s : 2041-2070 et 2080s : 2071-2100) du modèle climatique régional RCA4 (Rossby Centre Atmosphere model, version 4) forcé par deux scénarii RCPs (RCP4.5 et RCP8.5) du GIEC comparés à la période de référence (1971-2000) en vue d'une gestion optimale de l'eau de la retenue de Boura.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Zone d'étude et données

Le barrage de Boura construit en 1983 est situé dans la région du Centre-Ouest au Burkina Faso (latitude 11.05° and longitude -2.49°). Il est implanté sur la Karbavaro, un affluent du Mouhoun. Le barrage de Boura d'une capacité maximale de 4.2 millions de m^3 est le seul point d'eau permanent dans la commune de Boura qui couvre une superficie de 1145 km^2 . Un périmètre irrigué a été aménagé en aval de ce barrage en 1985. Le bassin versant du barrage de Boura (10.94° – 11.07° de latitude Nord et (-2.50°) – (-2.37°) de longitude Ouest) d'une superficie d'environ 150 km^2 est un bassin versant transfrontalier dont la partie nord (67%) se situe au Burkina Faso et la partie sud (33%) au Ghana (Fig. 1). L'eau du réservoir de Boura est renouvelée par les apports venant des précipitations directes et du ruissellement pendant la saison de pluie (mai à octobre). Le bassin de Boura reçoit en moyenne annuelle une hauteur de pluie de 920 mm avec une forte variabilité interannuelle sur la période 1961-2010. Le réservoir de Boura est destiné surtout à la satisfaction des demandes d'irrigation. Le calendrier agricole est subdivisé en deux périodes : période sèche (novembre à mai) et période humide (juin à octobre). Les principales cultures sont le riz, la tomate et le maïs (Fowé et al., 2015).

Pour cette étude, les simulations du modèle climatique régional RCA4 du SMHI à un pas de résolution spatiale de $0,44^\circ$ (50 km), forcé par le modèle de circulation globale MPI-ESM-LR et tourné sur la zone de l'Afrique de l'Ouest ont été utilisé (Gbobaniyi et al., 2014). Les données journalières simulées de précipitation et de température sont fournies par l'initiative CORDEX Africa du projet CMIP5 du programme mondial de recherche sur le climat (Giorgi et al., 2009 ; Jones et al., 2011 ; Nikulin et al., 2012; Hernandez-diaz et al., 2013). Elles couvrent deux périodes : 1950-2005 (données historiques) et 2006-2100 (données scénarios). Les données historiques observées à l'échelle locale (1961-2009) sont fournies par les services météorologiques du Burkina Faso.

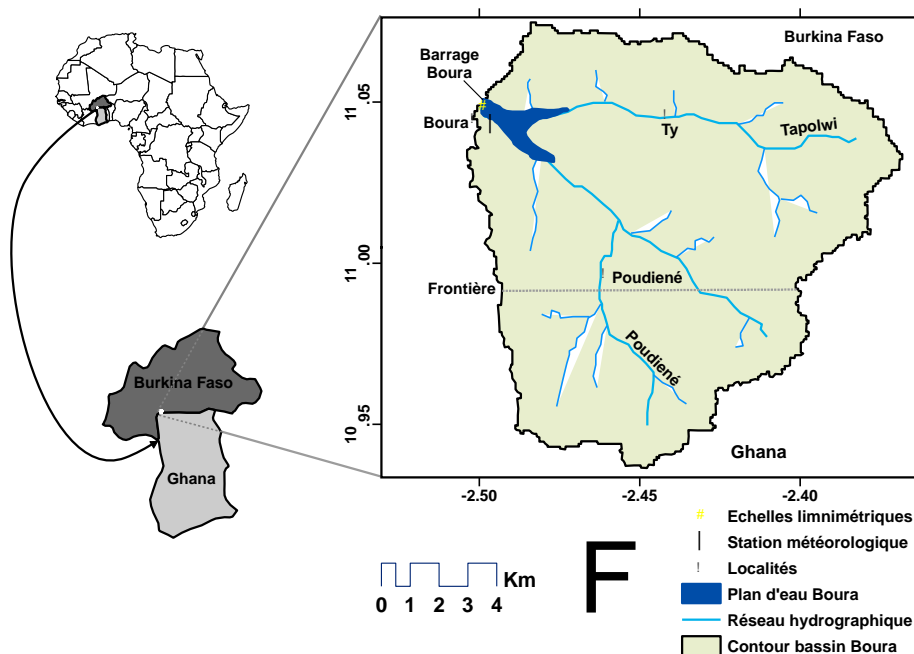


Fig.1. Localisation du bassin versant du barrage de Boura avec le système de suivi hydrologique

Méthodologie de l'étude

La démarche méthodologique adoptée pour cette étude s'articule autour de deux étapes :

La première étape consiste à construire des scénarios de changements climatiques plausibles à partir des simulations du modèle climatique RCA4. Pour cela, une correction de biais sur les simulations du modèle RCA4 (précipitation et température) est donc nécessaire. Pour la variable précipitation, deux caractéristiques principales ont été corrigées : la fréquence et l'intensité. Les biais sur les fréquences sont corrigés par troncature sur les faibles pluies de la série des précipitations simulées en considérant la probabilité de non-dépassement des hauteurs de pluies nulles des observations (Mishra & Herath, 2011 ; Ibrahim, 2012). La méthode statistique dite quantile-quantile a été mise en œuvre pour la correction des intensités de pluies simulées (Bárdossy & Pegram, 2011 ; Mishra & Herath, 2011 ; Trambly et al., 2013).

Les quantiles simulés corrigés sur la période de référence (1971-2000) et sur les périodes horizons sont estimés respectivement à partir des équations (1) et (2).

$$x_{Cor}^s(t) = F_{Obs}^{-1} \left(F_{CTL} (x^s(t)) \right) \quad (1)$$

$$x_{Cor}^{sf}(t) = x^{sf} \times \frac{F_{Obs}^{-1} \left(F_{Scen} (x^{sf}(t)) \right)}{F_{CTL}^{-1} \left(F_{Scen} (x^{sf}(t)) \right)} \quad (2)$$

Où : F_{Obs} , F_{CTL} et F_{Scen} représentent respectivement les ajustements de la loi de distribution Gamma sur les données observées, les données historiques simulées et les données scénarios.

Les données de l'évapotranspiration potentielle (ETP) estimées à partir de la formule de Hargreaves-Samani (1985) ont été corrigées par l'approche directe (Graham et al., 2007; Andersson et al., 2011).

$$ETP_{HS} = 0,0023R_a (T_{mean} + 17,8) \sqrt{T_{max} - T_{min}} \quad (3)$$

R_a : rayonnement au sommet de l'atmosphère ou rayonnement extraterrestre [$mm.jour^{-1}$], T_{max} , T_{min} , et T_{mean} maximum, minimum, et température moyenne [$^{\circ}C$].

La deuxième étape consiste à transformer les scénarios climatiques projetés sur le bassin versant de Boura en scénarios d'écoulements et en scénarios de demandes en eau agricoles. Pour ce qui est des scénarios d'écoulements, un modèle hydrologique conceptuel et global au pas de temps journalier GR4J (Perrin et al., 2003) est préalablement calibré sur deux années de suivi du fonctionnement du barrage (avril 2012 à mars 2014) sachant que le bassin en amont du barrage n'est pas jaugé. Le modèle GR4J avec le jeu de paramètres calés permet de reconstituer les apports du bassin versant sur la période de référence et de simuler les écoulements aux horizons d'intérêt. Les valeurs des débits moyens simulés peuvent être comparées aux débits moyens reconstitués afin d'évaluer les effets de changement en terme de taux de variation.

Un modèle simpliste ne prenant pas en compte le bilan hydrique des sols est utilisé pour modéliser les besoins en eau des cultures. Les demandes en eau d'irrigation sont estimées pour les périodes horizons et pour la période de référence en supposant le couvert végétal et l'utilisation des sols resteront identiques au présent sur l'ensemble de la période de simulation.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les simulations du modèle RCA4 sous les scénarios d'émission RCP4.5 et RCP8.5 indiquent une tendance à la hausse des précipitations et des températures (ETP) aux horizons d'intérêt par rapport à la période de référence. L'amplitude de changement des pluies moyennes annuelles est globalement inférieure à 10% avec une exception à l'horizon 2050 pour le scénario RCP8.5 où on projette une hausse de l'ordre de 23%. Une forte dispersion est observée pour les pluies annuelles futures avec des coefficients de variation allant jusqu'à 24%. Les variations relatives de l'ETP moyenne annuelle entre les périodes horizons et la période de référence sont comprises entre 1% et 9% selon les scénarios RCPs. L'augmentation de l'ETP est continue et plus accentuée à l'horizon 2080 pour le scénario RCP8.5. Ces résultats corroborent ceux du GIEC qui prévoient une augmentation des précipitations annuelles sur la zone ouest africaine de moins de 20% sur la période 2081-2100 comparée à la période 1986-2005 sous le scénario RCP8.5 (Stocker et al., 2013). De même, les projections avec les sorties du modèle CNRM-CM5 indiquent également qu'il pleuvrait plus sur la même zone entre les périodes 1970-2000 et 2071-2100 dans le scénario RCP8.5 du 5^e rapport du GIEC (Guehl & Soussana, 2014). Ruelland et al. (2012) ont projeté une augmentation de l'ETP moyenne annuelle sur un bassin soudano-sahélien en Afrique de l'Ouest dans une gamme de +4% à +18% aux horizons futurs par rapport à la période 1961-1990. Ces modifications climatiques sont susceptibles d'avoir des effets importants sur les ressources en eau.

Le signal de l'augmentation des précipitations est amplifié au niveau des écoulements. Une augmentation en moyenne de 10% des précipitations conduirait à une augmentation de l'ordre de 50% de la lame d'eau moyenne annuelle écoulée. Une gamme de variation des écoulements moyens annuels de 30 à 130% est projetée pour les horizons futurs par rapport à la période référence. L'augmentation des écoulements aura donc un impact positif sur les fréquences de remplissage/déversement de la retenue de Boura.

Tableau 1. Récapitulatif de l'impact du changement climatique sur les variables hydrologiques du bassin amont du barrage de Boura

Période	Scénarios	Pluie annuelle (taux de variations en % par rapport à l'historique)	ETP annuelle (taux de variations en % par rapport à l'historique)	Écoulement annuel (taux de variations en % par rapport à l'historique)
		Moyenne	Moyenne	Moyenne
Historique 1971-2000	-	857 mm/an	1910 mm/an	39 mm/an
Futur proche 2011-2040	RCP4.5	870 (1%)	1964 (3%)	51 (28%)
	RCP8.5	919 (7%)	1932 (1%)	58 (48%)
Futur moyen 2041-2070	RCP4.5	902 (5%)	1996 (5%)	57 (45%)
	RCP8.5	1050 (23%)	1984 (4%)	92 (134%)
Futur lointain 2071-2100	RCP4.5	889 (4%)	2012 (5%)	55 (40%)
	RCP8.5	922 (8%)	2084 (9%)	64 (63%)

En supposant une évolution future constante du couvert végétal et de l'utilisation des terres, les changements climatiques observés vont engendrer une augmentation annuelle de la demande en eau agricole basée sur les superficies actuelles. Ainsi, des hausses des demandes en eau moyennes annuelles des différentes cultures de 4 à 11% pour le scénario RCP 4.5 et de 2 à 15% pour le scénario RCP 8.5 sont projetées aux horizons d'intérêt. Ces augmentations seront plus accentuées à l'horizon 2080 quel que soit le scénario considéré due à la forte augmentation de l'ETP du fait de la hausse des températures.

CONCLUSION

Ce travail a investigué les impacts de changements climatiques sur les ressources en eau du bassin du réservoir de Boura au Burkina Faso à différentes périodes d'intérêt. Il ressort de cette étude que les perturbations observées (gamme de variation de 2% à 23%) sur les précipitations moyennes annuelles aux horizons futurs (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100) comparées à la période de référence seront amplifiées sur les signaux des écoulements moyens annuels (gamme de variation de 30% à 100%). Les perspectives de ce travail sont la simulation du fonctionnement du réservoir aux différents changements projetés tant sur les apports que sur les demandes en eau et l'évaluation des critères de performance du système.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Andersson L, Samuelsson P, Kjellström E (2011).** *Assessment of climate change impact on water resources in the Pungwe river basin.* Tellus 63A, 138–157.
- Bárdossy A, Pegram G (2011).** *Downscaling precipitation using regional climate models and circulation patterns toward hydrology.* Water Resour Res. 47, W04505.
- Fowé T, Karambiri H, Paturel J-E, Poussin J-C & Cecchi P (2015)** *Water balance of small reservoirs in Sudanian West Africa: A case study in Southern Burkina Faso.* Agricultural Water Management, 152: 99-109
- Gbobaniyi E, Sarr A, Sylla B, Kamga A, Browne A, Dosio A, Dhi A, Hewitson B, & Lamptey B (2014).** *Climatology, annual cycle and interannual variability of precipitation and temperature in CORDEX simulations over West Africa.* International Journal of Climatology, 34, (7), 2241–2257.
- Giorgi F, Jones C, Asrar GR (2009).** *Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework.* WMO Bulletin, 58, (3), 175–183.
- Graham PL, Andréasson J & Carlsson B (2007).** *Assessing climate change impacts on hydrology from an ensemble of regional climate models, model scales and linking methods – a case study on the Lule River basin.* Climatic Change 81:293–307.
- Guehl JM & Soussana J-F (2014).** *L'adaptation au changement climatique.* Cahier Spécial pour la Science n°436 Agriculture, Forêts et Ecosystèmes.
- Hargreaves G & Samani Z (1985).** *Reference crop evapotranspiration from temperature.* Appl. eng. agric. 1(2), 96–99.
- Hernandez-diaz L, Laprise R, Sushama L, Martynov A, Winger K & Dugas B (2013).** *Climate simulation over CORDEX Africa domain using the fifth-generation Canadian Regional Climate Model (CRCM5).* Climate Dynamics, 40, 1415–1433.
- Ibrahim B (2012)** *Caractérisation des saisons de pluies au Burkina Faso dans un contexte de changement climatique et évaluation des impacts hydrologiques sur le bassin du Nakanbé.* Thèse de Doctorat, UPMC (France) et 2iE (Burkina Faso), 250p.

- Jones CG, Giorgi F & Asrar G (2011).** The Coordinated Regional Downscaling Experiment: CORDEX. An international downscaling link to CMIP5. *Clivar Exchanges special issue on CMIP5*.
- Karambiri H, Garcia Galiano SG, Giraldo JD, Yacouba H, Ibrahim B, Barbier B, & Polcher J (2011).** *Assessing the impact of climate variability and climate change on runoff in West Africa: the case of Senegal and Nakambe River basins.* Atmos Sci Lett 12:109–115.
- Mishra BK & Herath S (2011).** *Climate Projections Downscaling and Impact Assessment on Precipitation over Upper Bagmati River basin, Nepal.* In: RETRUD-11 proceedings of Third International Conference on Addressing Climate Change for Sustainable Development through Up-Scaling Renewable Energy Technologies.
- Nikulin G, Jones C, Giorgi F, Asrar G, Buchner M, Cerezo-Mota, R Christensen O, Deque M, Fernandez J, Hansler A, vanMeijgaard E, Samuelsson P, Sylla M & Sushama L (2012).** *Precipitation climatology in an ensemble of CORDEX-Africa regional climate simulations.* Journal of climate, 25, (18), 6057–6078.
- Ruelland D, Ardoin-bardin S, Collet L & Roucou P (2012)** *Simulating future trends in hydrological regime of a large Sudano-Sahelian catchment under climate change.* Journal of Hydrology, 424-425, 207–216.
- Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, & al (2013).** *Technical Summary.* In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Tramblay Y, Ruelland D, Somot S, Bouaicha R & Servat E (2013).** *High-resolution Med-CORDEX regional climate model simulations for hydrological impact studies: a first evaluation of the ALADIN-Climate model in Morocco.* Hydrology and Earth System Sciences, 17, 3721–3739.

&&&&&