

Comparaison statistique entre les pluviométries mesurées et celles simulées à partir des RCMs de CORDEX : cas d'étude du Sud-Ouest du Mali

Toure Adama¹, Diancoumba Oumou², Keita Souleymane¹

¹ Ecole Nationale d'Ingénieurs Abderhamane Baba TOURE (ENI-ABT), Mali

² Ecole Normale Supérieure de Bamako (ENSUP), Département Sciences de la Vie et de la Terre (DER-SVT), Bamako, Mali

Résumé

Le Mali, situé en Afrique de l'Ouest, plus précisément dans le sabel, est un pays à vocation agro-sylvo-pastoral. Son économie basée principalement sur ces secteurs de base reste très tributaire du climat. La recrudescence des effets des changements climatiques au Mali s'explique par la baisse de la pluviométrie et l'élévation de la température, par conséquent la baisse de la production du secteur agricole. C'est pourquoi il est nécessaire de mener des études afin de maîtriser les variations climatiques actuelles et de faire des projections pour permettre aux décideurs de mettre en place des mesures d'adaptation anticipatives. L'objectif principal de l'étude est de mettre à la disposition des utilisateurs des données climatiques de projection pour des besoins de planification. Beaucoup de modèles de circulation atmosphérique globaux sont à cet effet développées pour aider les pays dans ce sens-là. Ainsi, à partir des résultats du projet CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment), il est possible de réduire les échelles des données climatiques globales et régionales à des échelles locales. Des corrélations entre les résultats de CORDEX et données climatiques observées permettent de choisir des GCMs appropriés pour le Mali.

Les méthodes statistiques basées sur le programme R et le logiciel Excel sont utilisées pour traiter les données de cette étude. Sur 5 GCMs sélectionnés et 6 stations météorologiques à l'échelle du Mali, deux ont données des résultats satisfaisants en l'occurrence MPI-M-MPI-ESM-LR et ICHEC-EC-EARTH qui avaient été tous les deux tournés avec le modèle climatique régional (RCM) RCA4.

Mots clés : Changement climatique, Pluie, CORDEX, GCMs, RCM, Mali.

Comparison between observed and simulated rainfall from RCMs of CORDEX: case study of the South-west of Mali

Abstract:

Mali, situated in West Africa, more precisely in the Sabel, is an agro-sylvo-pastoral country. Its economy, mainly based on these basic sectors, remains dependent of climate. The recrudescence of climate change effects in Mali explains by the reduction of the rainfall and the increase of the temperature production of agriculture sector, consequently the reducing of the production of agriculture sector. That why it is necessary to lead studies in order to understand the actual climate variation and to make the projections permitting the decision makers to take anticipative adaptation measures. The main objective of the study is to make available the projection climate data to the users for the planning purpose. Many global climate models are developed and available to help the countries realizing that. Therefore, from the outputs of the project of CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment), it is possible to downscale global climate models (GCMs) to regional climate models (RCMs). The correlation between the CORDEX outputs and observed climate data allow choosing the appropriated GCMs for the Mali.

The statistical methods based on the R programming and Excel software are used to treat the data of this study. Form five GCMs and six meteorological stations chosen, based on the data availability, throughout in Mali, two GCMs were more accurate than others, in the circumstances MPI-M-MPI-ESM-LR and ICHEC-EC-EARTH respectively; both were downscaled using the regional climate model (RCM) RCA4.

Key Words : Climate change, Rainfall, CORDEX, GCMs, RCM, Mali..

¹ Corresponding author: adamamca@yahoo.fr

INTRODUCTION

De nos jours, les effets des changements climatiques inquiètent et affectent directement ou indirectement tous les pays de l'Afrique de l'Ouest. L'acuité de ces conséquences néfastes varie selon la zone géographique et la résilience d'un pays. Par exemple, les pays situés dans la bande sahélo saharienne sont beaucoup plus exposés à la baisse de la pluviométrie et à l'augmentation de la température, donc à la diminution de la productivité agro sylvo pastoral. Le Mali faisant partie de cette bande est bien concerné par ces impacts climatiques. L'économie du Mali étant exclusivement basée sur le secteur de base, le pays est par conséquent tributaire du climat.

Les changements climatiques affectent tous les secteurs du développement au Mali (Kandji et al. 2006, Toure et al. 2016, 2017, Communication Nationale 2010, Diancoumba, 2020). Presque toutes les régions du Mali sont dépendantes des pluies saisonnières. Une vraie stratégie de plan d'irrigation n'est toujours pas mise en œuvre pour utiliser les cours d'eau de façon optimale. Il est donc nécessaire et urgent pour le Mali de mener des études plus fines afin de maîtriser les variations climatiques actuelles et de faire des projections pour permettre aux décideurs de mettre en place des mesures d'adaptation anticipatives.

Des modèles climatiques globaux (GCM) et régionaux (RCM) sont développés à cet effet permettant aux pays de faire des simulations avec les données climatiques observées. Ces GCMs, développés sur la base du rapport 5 de GIEC, permettent sans aucun doute de dégager les tendances climatiques des régions du monde. Ainsi, il est projeté que les pays du sahel seront confrontés à des réductions de la pluviométrie et une augmentation de la température. Le projet CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment), reposé sur la réduction de l'échelle des données de GCM via les RCM, a facilité les études à des échelles locales.

Dans cette étude, les données de CORDEX sont comparées à des données observées de stations locales afin de choisir des GCM appropriés pour le Mali. L'objectif principal de l'étude est de mettre à la disposition des utilisateurs des données climatiques de projection pour des besoins de planification. Très peu d'études existent dans la bibliographique qui ont trait à cette étude. Cependant, Traoré et al. (2003) ont fait une étude similaire mais plutôt reposée sur le rapport 4 de GIEC (IPCC, 2007), qui est obsolète à présent.

Les méthodes statistiques (coefficient de corrélation, coefficient de détermination, Nash-Sutcliffe efficacité, etc.) à travers le programme R et la feuille de calcul Excel sont utilisées pour obtenir les résultats de l'étude.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Le Mali se situe au cœur de l'Afrique de l'Ouest avec une superficie d'environ 1.241.000 km². Il s'étend entre les longitudes 12 Ouest, 4 Est et les latitudes 10 – 25 Nord. Il se divise en quatre principales zones climatiques (WWAP, 2006) ;

- (i) la zone soudanienne couvrant la partie méridionale de Sikasso avec un climat de type guinéen, les précipitations sont supérieures à 1200 mm par an ;
- (ii) la zone soudano – sahélienne couvrant la zone de Bamako avec un climat de type tropical pur, les précipitations annuelles sont comprises entre 700 – 1200 mm ;
- (iii) la zone sahélienne couvrant la zone de Niolo avec un climat de type sahélien, les précipitations annuelles varient de 700 à 200 mm et ;
- (iv) la zone sub saharienne avec un climat de type sub-désertique, la pluviométrie annuelle est inférieure à 200 mm. Les températures maximales et minimales sont observées dans la zone septentrionale atteignant respectivement 45 °C et 11°C. L'altitude varie entre 24 et environ 1000 m (Figure 1).

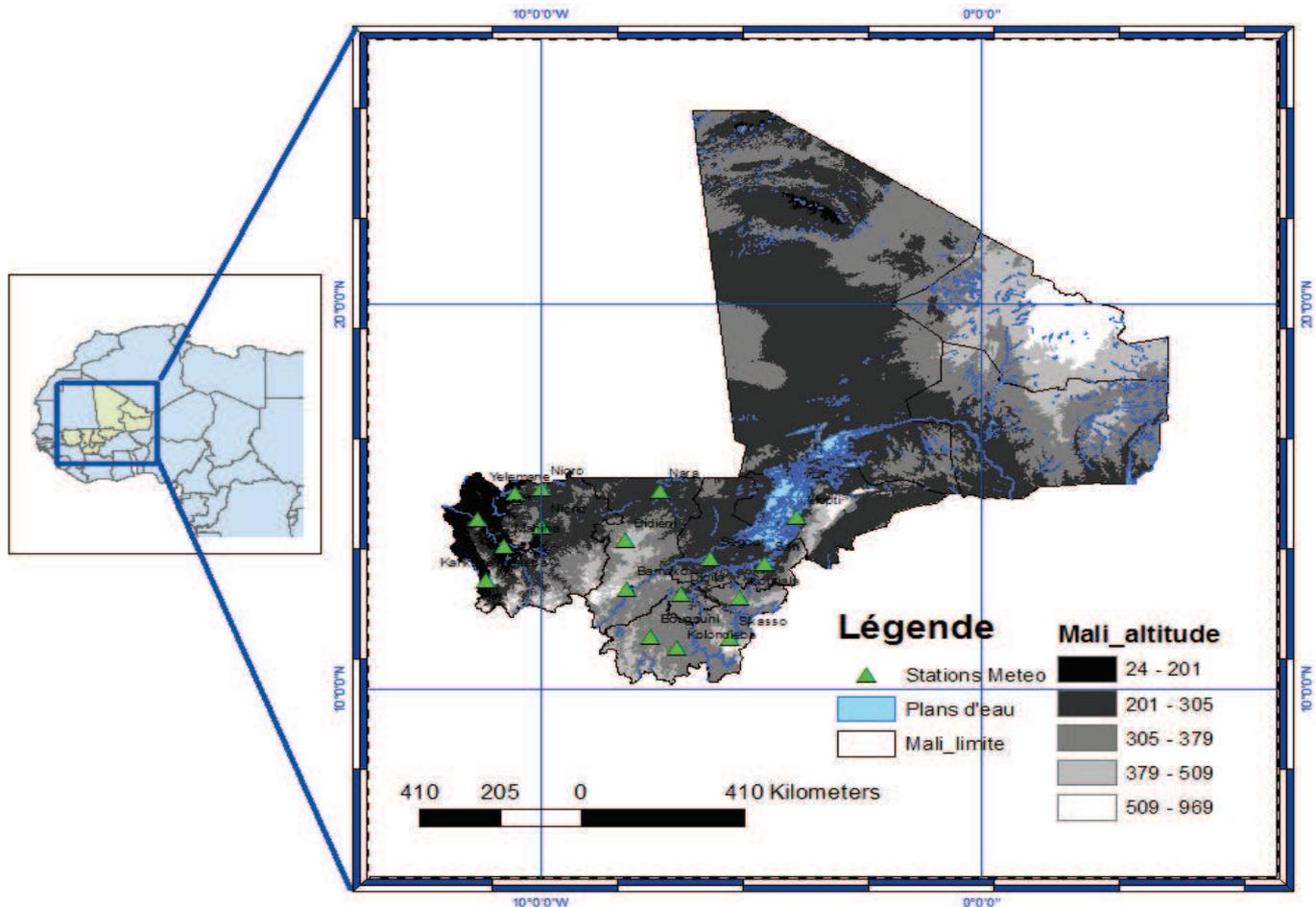


Figure 1 - Présentation de la carte du Mali.

Les données de cette étude sont essentiellement basées sur les données climatiques observées et simulées par des Global Climate Models (GSM).

Les données climatiques observées (pluie, températures max. et min.) sont fournies par Mali-météo. Ces données sont mensuelles et s'arrangent de 1950 à 2008. Elles proviennent de 6 stations météorologiques du Mali disponibles pour cette étude, qui se trouvent au centre et Sud du Mali.

Les données simulées proviennent de CORDEX, qui est un projet financé par le Programme Mondial de Recherche sur le Climat. CORDEX est une plateforme qui permet de fournir des données de projections climatiques pour faciliter les études des évaluations d'impact et d'adaptation au changement climatique (Giorgi et al. 2009), basé sur le 5^{ème} Rapport d'Evaluation (RE5) de GIEC (Ozturk et al. 2012). Ainsi, CORDEX a divisé le monde en des domaines régionaux (Evans 2011), qui couvrent la plupart des terres. Il réduit l'échelle des GCMs à l'échelle régionale et fournit des données historiques et de projections futures du climat à une résolution meilleure, en participant à la 5^{ème} Phase du Projet d'Intercomparaison de Model Couplé (CMIP5) (Taylor et al. 2012). Le CORDEX est focalisé sur des expériences de GCMs appliquant des scénarios d'émission basés sur des Profils de Concentration Représentatifs (RCPs). Pour la plupart des régions du monde y compris l'Afrique, les données de CORDEX fournies une large résolution de 0.44° (approximativement 50 km).

Pour cette étude, les données de 5 GCMs à savoir, CSIRO-QCCCE-CSIRO-Mk3-6-0, ICHEC-EC-EARTH, MIROC-MIROC5, MOHC-HadGEM2-ES et MPI-M-MPI-ESM-LR, obtenues grâce à la technique de réduction dynamique de l'échelle à travers la dernière version de Rossby Centre Regional Climate Model (RCA4) développée par l'Institut Hydrologique et Météorologique Suédois (SHMI) dans le cadre de CORDEX (Samuelsson et al. 2011; Strandberg et al. 2014; Kjellström et al. 2014).

La méthodologie consistait à comparer qualitativement et quantitativement les résultats des GCMs aux données climatiques observées. La méthode qualitative est singulièrement basée sur une comparaison visuelle entre les

données climatiques observées et celles simulées, via un graphique. Alors que la méthode de comparaison quantitative se repose sur les méthodes statistiques telles que coefficient de corrélation (r), coefficient de détermination (R^2), coefficient de Nash-Sutcliffe (E), Erreur moyenne quadratique (RMSE). Le coefficient de corrélation était utilisé pour évaluer la performance des GCMs. Sa valeur est comprise entre -1 et 1. Ainsi, la valeur -1 explique une corrélation négative alors que la valeur 1 indique une corrélation positive, en revanche, la valeur 0 montre une absence nette de corrélation. Le coefficient de détermination est défini comme étant le carré de la valeur du coefficient de corrélation. Il évolue par conséquent dans le même sens que le coefficient de corrélation, mais la valeur -1 est exclue.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}} \quad (1)$$

Avec O valeurs observées et S simulées.

Le coefficient Nash-Sutcliffe (E) a été également utilisé pour évaluer l'efficacité des GCMs. La valeur de E est toujours inférieure ou égale à un. Lorsque sa valeur est égale ou proche de 1, la corrélation entre les données observées et simulées est élevée. En revanche, la valeur négative montre que la moyenne des valeurs observées prédit mieux le model. On peut calculer les valeurs de E en utilisant l'équation 2 (Nash and Sutcliffe, 1970).

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_{obs} - P_{sim})^2}{\sum_{i=1}^N (P_{obs} - \bar{P}_{obs})^2} \quad (2)$$

Où P_{obs} correspond aux données observées et P_{sim} simulées.

Erreur des moyennes carrées (RMSE) a été dans toujours cette évaluation des GCMs. A la différence des deux premières, plus la valeur de RMSE tend vers 0 plus la corrélation entre les valeurs observées et simulées est importante.

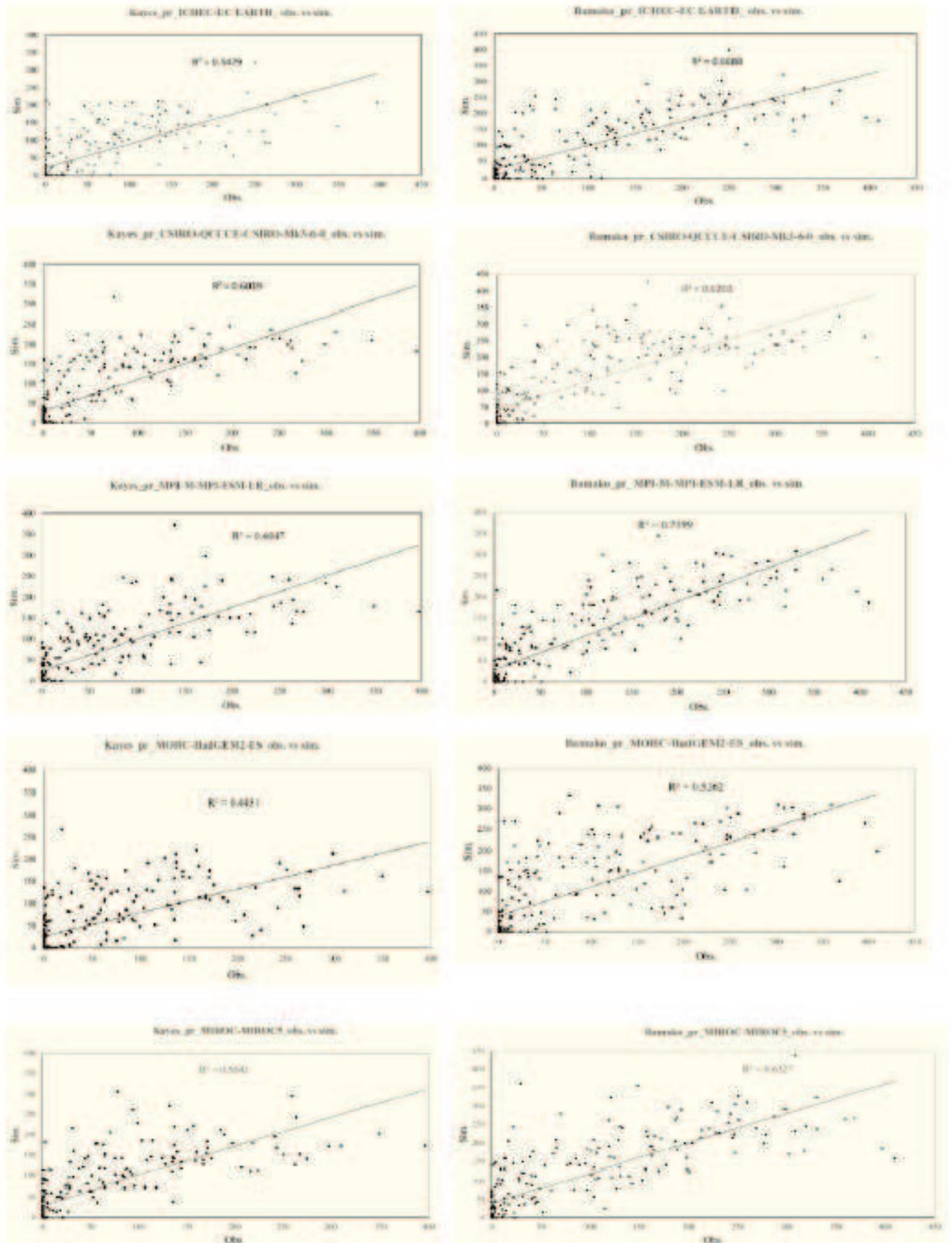
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O - S)^2}{n_{obs}}} \quad (3)$$

Avec n_{obs} nombre d'observation

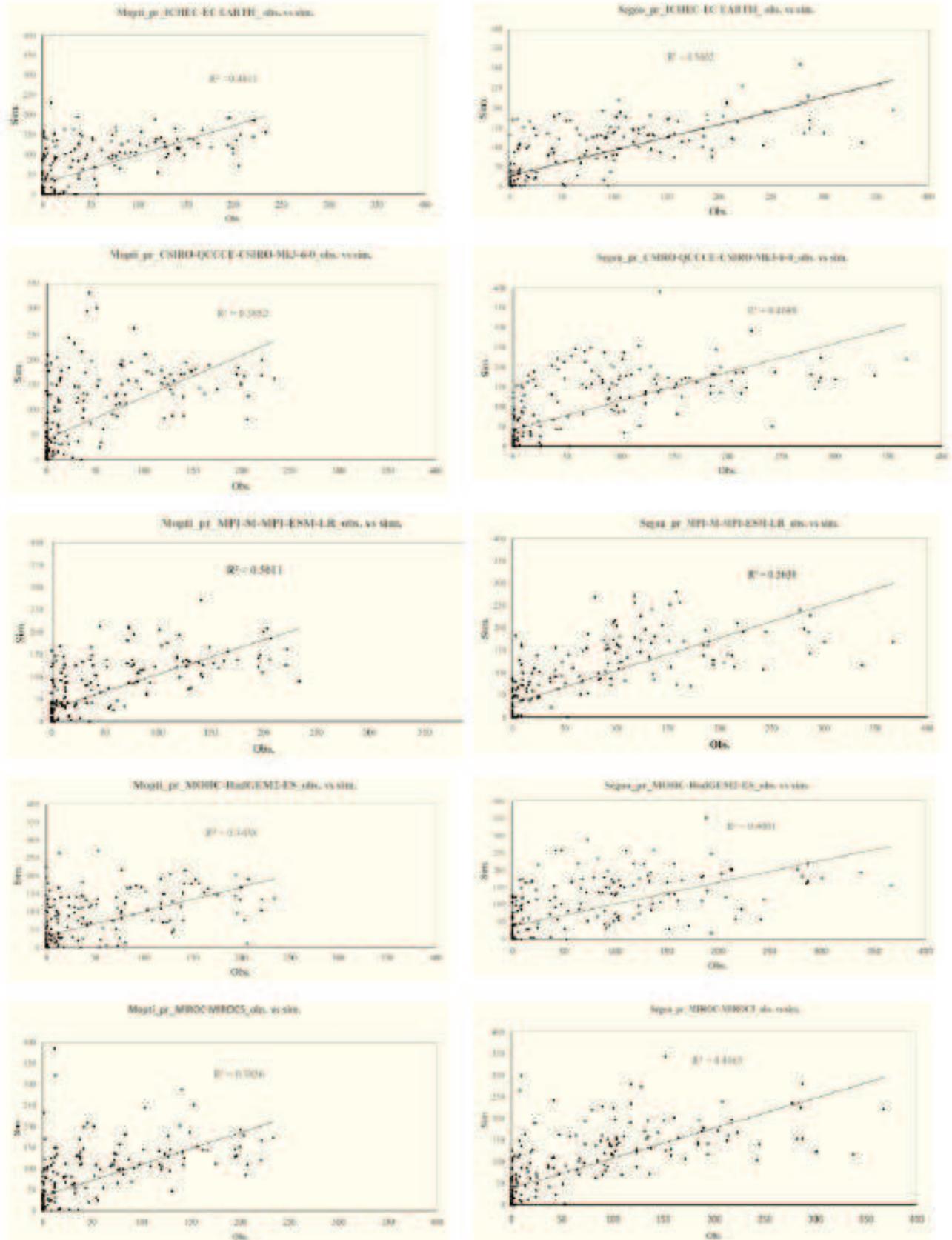
RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de cette étude sont réalisés grâce à la comparaison des données climatiques observées et celles simulées fournies par les GCMs. Trois paramètres climatiques (précipitation, températures max. et min.) ont concerné cette étude. Les résultats sont présentés comme suit. Les précipitations mensuelles observées de 1986 à 2005 sont comparées à celles de 5 GCMs pour la même période (Figure 2) comme indiqué dans la partie données et méthode, idem pour les températures max. et min. Compte tenu du nombre élevé de figures, nous nous sommes contentés de présenter seulement les précipitations à titre illustratif. En revanche, tous les résultats statistiques ont été mentionnés. Ces résultats globaux étaient que les températures observées corrélèrent mieux avec les GCMs que les précipitations. Pour les précipitations, il est très clair que tous les coefficients calculés (coefficients de corrélation et détermination, Nash-Sutcliffe) affirment que les GCMs, MPI-M-MPI-ESM-LR et ICHEC-EC-EARTH donnent plus de bonne corrélation que les trois autres, avec R^2 atteignant 0,72 pour la station de Bamako et le GCM MPI-M-MPI-ESM-LR (Fig. 3). Ce même constat est fait avec l'erreur moyenne quadratique, mais qui donne des valeurs élevées particulièrement pour Sikasso, ne montre, de façon générale, de relation directe entre les données observées et simulées. Par ailleurs, les régions du Sud (Bamako, Koutiala et Sikasso) sont plus corrélées selon les coefficients calculés que celles du centre.

(a)



(b)



(c)

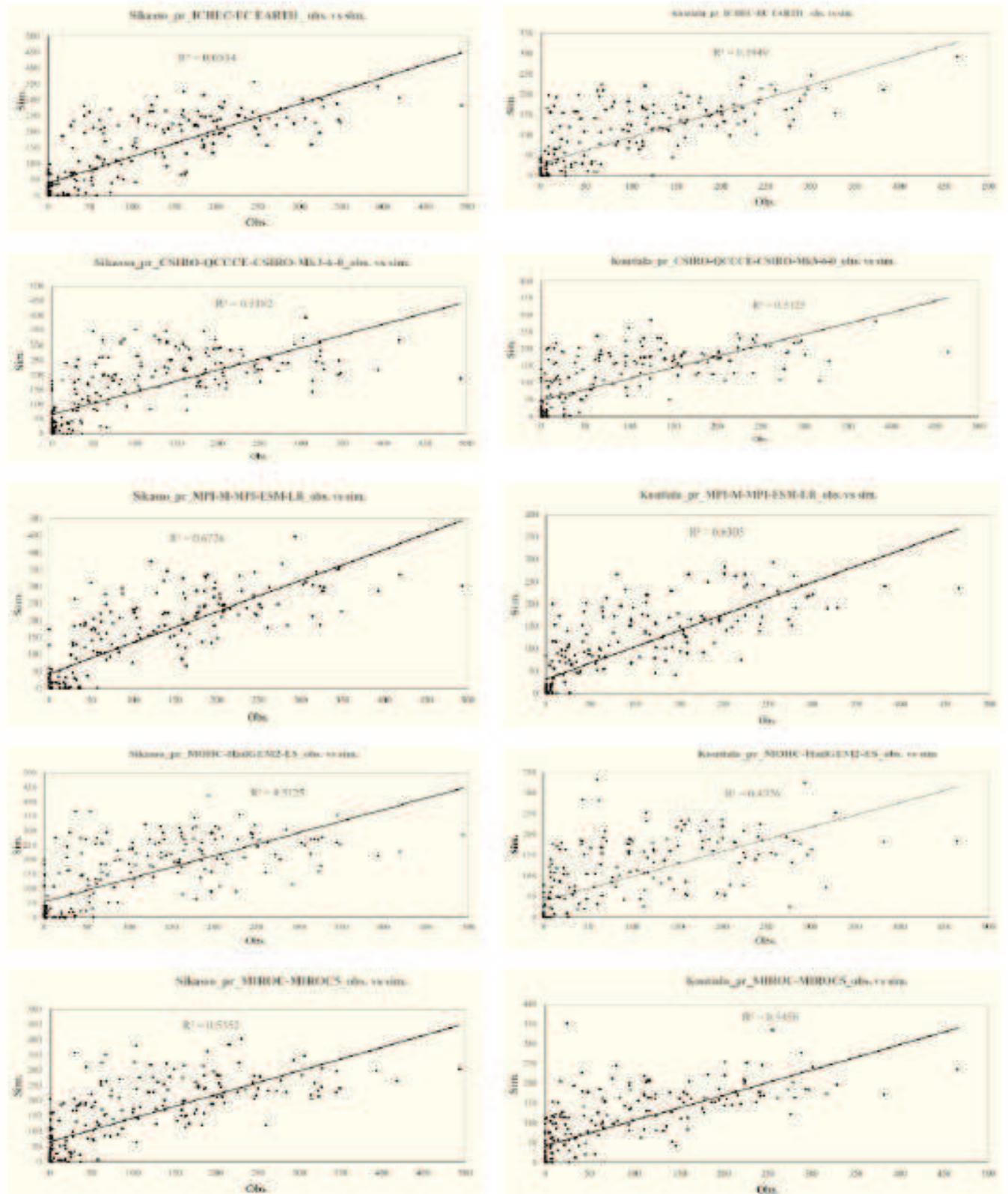


Figure 2. Comparaison des précipitations observées de 6 stations météorologiques du Mali et celles simulées de 5GCMs ; a) stations Kayes et Bamako ; b) stations Mopti et Ségou et ; c) stations Sikasso et Koutiala.

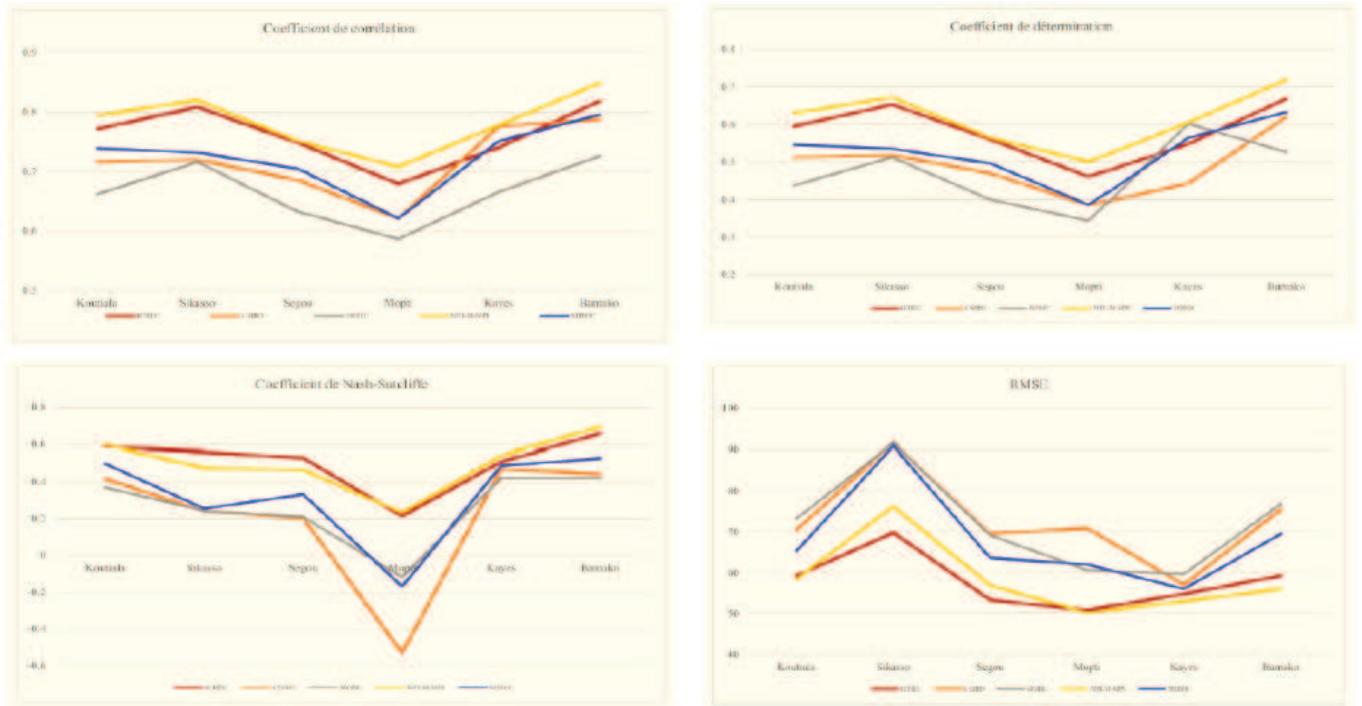


Figure 3. Comparaison des résultats statistiques des précipitations observées de 6 stations météorologiques et de 5 GCMs simulées

Les tendances des résultats statistiques des températures maximales sont presque les mêmes que pour les précipitations. On enregistre la valeur maximale de $R^2 = 0.7$ pour la station de Sikasso avec les deux GCMs MPI-M-MPI-ESM-LR et ICHEC-EC-EARTH (Fig. 4). Globalement, les températures maximales simulent mieux que les précipitations.



Figure 4. Comparaison des résultats statistiques des températures maximales observées de 6 stations météorologiques et de 5 GCMs simulées.

Quant aux températures minimales, la corrélation donne globalement un bon résultat soit une valeur maximale de R^2 de 0,75 pour deux stations Mopti et Kayes et pour deux GCMs différents MIROC-MIROC5 et MPI-M-MPI-ESM-LR. La station de Bamako est la moins corrélée

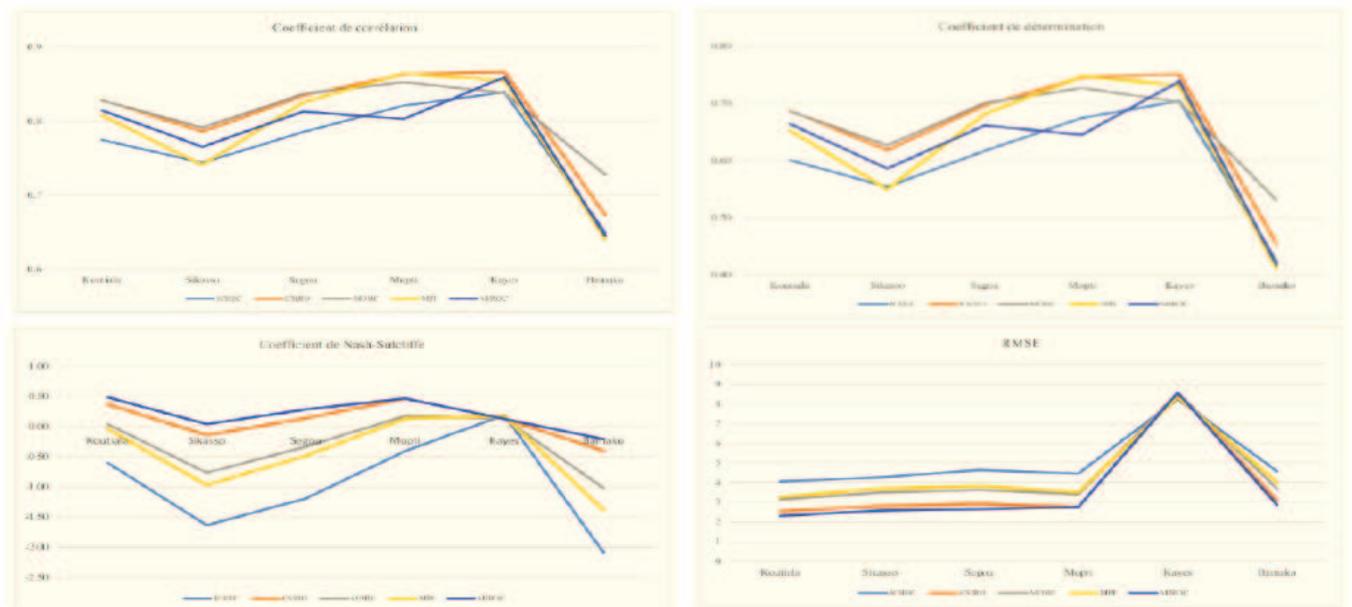


Figure 5. Comparaison des résultats statistiques des températures minimales observées de 6 stations météorologiques et de 5 GCMs simulées.

Les résultats de cette étude sont en adéquation avec ceux obtenus par Akinsanola et al. (2015, 2017), qui a évalué la variabilité de la pluviométrie intersaisonnière et interannuelle sur les subrégions et la zone toute entière de l'Afrique de l'Ouest en utilisant le RCA4. Ces résultats suggèrent que le RCA4 reproduit raisonnablement la distribution spatiale saisonnière de la pluviométrie mais simule avec une faible performance la côte guinéenne.

CONCLUSION

Les 5 GCMs utilisés conduit par le RCA4 donnent une corrélation plus ou moins acceptable ; mais pour les trois paramètres climatiques considérés, les GCMs MPI-M-MPI-ESM-LR et ICHEC-EC-EARTH sont les plus fiables. Par conséquent, les études d'impacts peuvent être appliquées avec ces deux GCMs au Mali. Toutefois, ces données de projections sont beaucoup plus adoptées au Sud qu'au Nord du Mali. Il est recommandé de mener d'autres études pour corriger les résultats biaisés des GCMs afin de rendre les projections plus réalistes possibles.

REMERCIEMENTS

Les auteurs de cette étude remercient le programme ASNaCC/PNUD de l'avoir assisté financièrement.

Références

- [1] Akinsanola AA, Ogunjobi KO, Gbode IE, Ajayi VO (2015) Assessing the capabilities of three regional climate models over CORDEX Africa in simulating west African summer monsoon precipitation. *Adv Meteorol* 2015:935431 . doi:10.1155/2015/93543113pages
- [2] Akinsanola, A.A., Ajayi, V.O., Adejare, A.T., Adeyeri O.E., Gbode, I.E., Ogunjobi, K.O., Nikulin, G., Abolude, A.T., 2017. Evaluation of rainfall simulations over West Africa in dynamically downscaled CMIP5 global circulation models. *Theor Appl Climatol*. DOI 10.1007/s00704-017-2087-8
- [3] Evans, J.P., 2011. CORDEX – An international climate downscaling initiative. Presented at the 19th International Congress on Modelling and Simulation, Perth, Australia, pp. 2705–2711.
- [4] Giorgi, F., Jones, C., Asrar, G.R., 2009. Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *WMO Bull.* 58 (3), 175–183.
- [5] IPCC 2007: impacts, adaptation and vulnerability: contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. ; New York.
- [6] Kandji S. T., Verchot L., Mackensen J. 2006. *Climate Change and Variability in the Sahel Region: Impacts and Adaptation Strategies in the Agricultural Sector*.
- [7] Kjellström E, Abrahamsson R, Boberg P, Jernbäcker E, Karlberg M, Morel J, et al. (2014) Uppdatering av det klimatvetenskapliga kunskapsläget. *Klimatologi* 9. SMHI, SE-60176 Norrköping, Sweden. 65pp (in Swedish)
- [8] Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement. *Seconde communication nationale du Mali sur les changements climatiques*, 2011.

- [9] Nash, J., Sutcliffe, J., 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part I - A discussion of principles. *J Hydrol* 10, 282–290.
- [10] Oumou Diancoumba (2020), Assessment of the Effects of Climate Change and Land Use and Land Cover on Groundwater Resources in the Koda Catchment, A Thesis submitted to the West African Science Service Centre on Climate Change and Adapted Land Use and the Université Abomey Calavi, Cotonou, Benin, in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Climate Change and Water Resources. <http://197.159.135.214/jspui/handle/123456789/295>
- [11] Ozturk, T., Altinsoy, H., Türkeş, M., Kurnaz, M., 2012. Simulation of temperature and precipitation climatology for the Central Asia CORDEX domain using RegCM 4.0. *Clim. Res.* 52, 63–76. doi:10.3354/cr01082
- [12] Samuelsson P, Jones CG, Willén U, Ullerstig A, Gollvik S, Hansson U, Hansson U, Jansson C, Kjellström E, Nikulin G, Wyser K (2011) The Rossby Centre regional climate model RCA3: model description and performance. *Tellus A* 63:4–23. doi:10.1111/j.1600-0870.2010.00478.x
- [13] Strandberg G, Bärring L, Hansson U, Jansson C, Jones C, Kjellström E, Kolax M, Kupiainen M, Nikulin G, Samuelsson P et al (2014) CORDEX scenarios for Europe from the Rossby Centre regional climate model RCA4; report meteorology and climatology no. 116. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping, Sweden
- [14] Taylor, K.E., Stouffer, R.J., Meehl, G.A., 2012. An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bull Am Meteor Soc* 93:485–498
- [15] Toure, A., Diekkrüger, B., Mariko, A., 2016. Impact of Climate Change on Groundwater Resources in the Klela Basin, Southern Mali. *Hydrology* 3, 17. doi:10.3390/hydrology3020017
- [16] Toure, A.; Diekkrüger, B.; Mariko, A.; Cissé, A.S., 2017. Assessment of Groundwater Resources in the Context of Climate Change and Population Growth: Case of the Klela Basin in Southern Mali. *Climate*, 5, 45. <https://doi.org/10.3390/cli5030045>.
- [17] Traoré F., Bayoko A., Sanogo B., Diarra B., Konaté M. 2003. Elaboration des scénarios de changement climatique pour le mali. Centre National de la recherche Scientifique et Technologique. Programme d'assistance de Pays Bas sur les Changements climatiques
- [18] WWAP, 2006. Rapport national sur la mise en valeur des ressources en eau : Mali (No. 2ème Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau).