**VARIABILITE SAISONNIERE DES PRECIPITATIONS DU NORD DE L’ALGERIE**

**CHANGE IN SEASONAL RAINFALL VARIABILITY OF NORTHERN ALGERIA**

1Taibi S., 1Meddi M., 2Mahé G.

1Ecole Nationale Supérieure d’Hydraulique (ENSH)-Blida- Algérie

2HydroSciences Montpellier, IRD, Montpellier, France

taibisabrina86@gmail.com

**Résumé :** Ce travail consiste à évaluer la capacité des modèles climatiques régionaux du projet ENSEMBLE à reproduire la variabilité des pluies saisonnières du Nord de l’Algérie (Sud du bassin méditerranéen). Les modèles sont d’abord validés sur la période de référence 1961-1990 ensuite la variabilité des pluies simulées sur les périodes projetées 2021-2050 et 2070-2099 est analysée. Les pluies simulées issues des modèles régionaux sont comparées aux observations par l’estimation du biais. Dans l’ensemble, il apparait que les modèles ont tendance à sous-estimer les précipitations en saisons humide et les surestimer en saison sèche. Quatre modèles seulement ont été validés pour être utilisé en période de projection. L’ensemble des modèles simulent une baisse des précipitations en hiver et au printemps. En automne et en été certains modèles simulent une augmentation des précipitations alors que d’autres simulent une baisse des pluies futures.

**Mots clés:** Algérie, précipitations, modèles climatiques

**Abstract:** This work aims to evaluate regional climate models of Ensemble project to reproduce the seasonal rainfall variability of Northern Algeria (south side of Mediterranean basin). Models are firstly validated over the reference period 1961-1990 and then future seasonal rainfall variability is analyzed over two projection periods: 2021-2050and 2070-2099. Simulated data have been extracted from 12 regional models and compared to the observed data using the “bias method”. Generally, it appears that models underestimate the wet seasons and overestimate the dry season over the control period 1961-1990. Only four models have been validated to be used in projection as regional models, namely: CNRM, CHMI, GKSS and ETHZ regional models. All models simulate a significant decrease of future rainfall in winter and spring seasons over the two projected periods. In autumn and summer, some models simulate an increase in rainfall and others simulate the reduction in rainfall in future.

**Keywords**: Algeria, regional climate models, rainfall

1. **Introduction**

Une attention particulière est portée ces dernières années aux précipitations et leur évolution dans des scénarios de changements climatiques, par la modélisation de ces phénomènes à différentes échelles de temps climatique.

La plupart des modèles climatiques simulent l'évolution du climat passé et futur à l'échelle mondiale. Leur résolution, de l'ordre de la centaine de kilomètres, est suffisante pour comprendre la dynamique de grande échelle de la planète et produire par exemple des moyennes de température ou de précipitations. À cette échelle, les spécificités régionales du climat ne peuvent cependant pas être correctement représentées. Pour étudier l'évolution du climat méditerranéen ou autre région, des modèles climatiques régionaux (MCR) doivent être utilisés sur cette zone particulière. Depuis le quatrième rapport du GIEC paru en 2007, les simulations régionalisées se multiplient et permettent d'affiner les tendances sur le bassin méditerranéen. Ce sont les MCR qui permettent d’évaluer l’impact des changements climatiques à l’échelle régionale ou locale. Ils offrent des simulations à haute résolution. Dans la région euro-méditerranéenne de nombreux projets ont œuvré pour mettre à la disposition des utilisateurs une multitude de simulations d’un ensemble de variables climatiques issues de sorties de Modèle climatique régionaux. Il y’a eu le projet PRUDENCE (Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Deﬁning EuropeaN Climate change risks and Eﬀects : <http://prudence.dmi.dk> ) qui a pris ﬁn en 2004, puis le projet STARDEX (Statistical and Regional dynamical Downscaling of Extremes for European regions) se basant sur les simulations réalisées dans le cadre de PRUDENCE (<http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex/>) qui a pris ﬁn en 2005, ensuite le projet ENSEMBLES (ENSEMBLE-based Predictions of Climate Changes and their Impacts : <http://www.ensembles-eu.org/> ) qui a pris ﬁn en 2009, et enfin le projet CORDEX (COordinated Regional climate Downscaling EXperiment : <http://www.medcordex.eu> ) qui succède au projet ENSEMBLES.

L’évaluation de l’impact des changements climatiques sur la variabilité hydrologique du bassin méditerranéen par le biais de modèles climatiques a été beaucoup plus menée sur les bassins en France (Quintana Seguí et al., 2010), en Espagne (Majone et al., 2012), en Italie (Senatore et al., 2011) et à l’échelle du bassin méditerranéen (Sanchez-Gomez et al., 2009; Dubois et al., 2012; Milano et al., 2012, 2013), mais peu d’études se sont intéressés dans le détails à l’Afrique du Nord. Giorgio et Lionello (2008) ont analysé les simulations des modèles climatiques du projet PRUDENCE sur les précipitations des différentes régions du bassin méditerranéen (Nord, Sud, Est, Ouest, Centre). Les projections futures des précipitations indiquent une réduction des précipitations jusqu’à -15% pour la saison humide (septembre à mai) et -30% en été à l’horizon 2100 qui touchera plus la partie sud que nord de la méditerranée. Zanis *et al.* (2008) ont évalué les pluies simulées de 9 MCR de PRUDENCE sur les périodes 1961-1990 et 2071-2100 en Grèce. En moyenne les 9 MCR simulent une baisse des précipitations futures d’environ 14,2% en hiver, 57,3% en été et 15,8% pour toute l’année. Coppola et Giorgi (2010) ont également évalué les pluies simulées des MCR-PRUDENCE sur les périodes 1961-1990 et 2071-2100 en Italie. Les projections futures montrent une baisse des précipitations en été sur toute l’Italie (jusqu’à -40%) alors que les pluies d’hiver vont augmenter au Nord de l’Italie et diminuer au Sud. Tramblay et al. (2012) ont évalué la performance des modèles climatiques régionaux « ENSEMBLE » sur les pluies annuelles et extrêmes passées et futures du Maroc. Ils ont mis en évidence une grande variabilité dans la performance des MCR à reproduire le cycle saisonnier et les précipitations extrêmes des différentes stations. Dans l'ensemble, il y’a une bonne convergence de modèle vers une diminution pour les stations de l'Atlantique, tandis que pour les stations de la Méditerranée, les changements prévus sont difficile à évaluer en raison de la grande variabilité entre les modèles. En Tunisie, Bargaoui et al (2014) ont évalué les sorties de 6 modèles d’ENSEMBLE. Il se trouve que les modèles sous-estiment les précipitations saisonnières en moyenne de 20%. L'écart entre les résultats des modèles et des observations dépend de la saison. Pour le futur (2010-2050 et 2051-2090), les différents modèles ne prévoient pas d'importantes modifications dans les distributions saisonnières de l’automne et l’été, alors que pour l'hiver et le printemps, tous les modèles prévoient une diminution significative des précipitations.

Dans le cadre de cette étude, nous évaluons les simulations des pluies saisonnières du Nord de l’Algérie issues de 12 MCR d’ENSEMBLE en les comparants aux observations pendant la période de référence 1960-1990. Il s’agit de valider une sélection de modèles performants qui reproduisent le mieux l’évolution des pluies passées afin d’analyser leurs simulations futurs durant les périodes de projections 2020-2050 et 2070-2099.

1. **Données et méthodes**
	1. **Données observées**

Pour évaluer les modèles climatiques régionaux à reproduire les pluies du Nord de l’Algérie, nous avons sélectionné 4 stations représentatives du sud du bassin méditerranéen (Fig.1). Les caractéristiques des stations pluviométriques sont présentées dans le tableau 1.Les données mensuelles sont issues de l’Agence Nationale des Ressources hydrauliques (ANRH) et de l’Office National de Météorologie (ONM).

* 1. **Données simulées**

Douze modèles régionaux du projet ENSEMBLES (tableau 2) ont où deux modèles sont développés par deux institutions différentes (ALADIN et CLM).

Les modèles climatiques utilisés fournissent des données de pluies simulées à haute résolution (25-50 Km) sur la période de référence 1961-1990 et les périodes projetées 2021-2050 et 2070-2099. Dans ce travail nous allons comparer les pluies observées et simulées à une résolution spatiale de 25 x 25 km. Pour ce faire, on extrait la valeur de la pluie du point de maille le plus proche à la station observée pour obtenir la pluie simulée par le MCR.

* 1. **Méthode de comparaison**

Les précipitations saisonnières simulées par les MCR sont comparées aux observations par l’estimation du biais qui consiste en la différence de moyennes entre les pluies simulées ($\overbar{P}\_{sim})$et observées ($\overbar{P}\_{Obs})$par rapport aux pluies observées. Il permet d’évaluer l’écart des pluies simulées aux observations.

$$Biais=\frac{\overbar{P}\_{sim}-\overbar{P}\_{Obs}}{\overbar{P}\_{Obs}}$$

Le biais est calculé entre les pluies observées et simulées durant la période de référence 1960-1990 et entre les pluies simulées de la période 1960-1990 et les pluies projetées des deux périodes 2021-2050 et 2070-2099.

1. **Résultats**
	1. **Evaluation de la performance des modèles ENSEMBLES et leur validation**

 La comparaison entre les précipitations observées et simulées par les 12 MCR durant la période de référence 1960-1990 montre dans l’ensemble une sous-estimation des précipitations en saisons humide et une surestimation des précipitations en été (fig.2).

En automne (SON), la majorité des modèles sous-estiment les précipitations pour la plupart des stations. Le modèle ICTP se démarque par une surestimation des précipitations pour l’ensemble des stations qui atteind 100% à Oran. Les précipitations à la station d’Oran sont aussi fortement surestimées par les modèles OURANOS, CNRM, SMHI, et CHMI avec un biais qui dépassent 50%. Les modèles ETHZ, UCLM, CNRM, CHMI et GKSS et DMI présentent des biais inferieurs à 30% pour la majorité des stations et pour la saison d’automne. Pour chaque station nous avons sélectionné 3MCR les moins biaisé donc les plus performants pour chaque station ; il s’agit des modèles CHMI, CNRM et ICTP à la station d’Alger. Les modèles UCLM, CHMI et ETHZ sont ceux qui présentent les valeurs les plus faibles du biais à la station de Annaba. A Ténès, les modèles qui se démarquent comme performant sont UCLM, GKSS et DMI. Les précipitations simulées par les Modèles ETHZ, UCLM et DMI se rapprochent fortement des précipitations observées à Oran avec un biais qui ne dépassent pas 2%.

En Hiver (DJF), la majorité des MCR en tendance à sous-estimer les précipitations hivernales. Les modèles OURANOS, SMHI, INM et DMI sous-estiment fortement les précipitations pour la majorité des stations avec un biais qui dépassent 50%. Les modèles qui reproduisent mieux la variabilité interannuelle des précipitations hivernales à la station d’Alger sont ICTP, CHMI et UCLM. A Annaba, les modèles CHMI, ICTP et MPI sont les moins biaisés. Les modèles ETHZ, GKSS et CHMI simulent de façon remarquable les précipitations Observées à Ténès avec un biais moins de 10%. Les modèles ICTP, CHMI et OURANOS sont les moins biaisés à Oran.

Au printemps (MAM), les modèles ICTP, CNRM, CHMI et OURANOS se distinguent pas une surestimation des précipitations particulièrement le modèle ICTP qui se démarque par un biais positif qui dépasse généralement 100%. Les pluies simulées par les modèles ETHZ, UCLM, HC, GKSS et MPI, OURANOS se rapprochent des observations avec des biais qui n’excèdent pas 20% pour la majorité des stations. Le modèle ETHZ simule de façon uniforme les pluies printanières du littoral algérien.

En été, on constate que les biais sont très élevés, la majorité des modèles surestiment fortement les pluies alors que certains d’eux sont performants durant les autres saisons (ex : CNRM, ETHZ, et CHMI). Le modèle GKSS est le seul à montrer les valeurs les plus faibles du biais en été.

 Le tableau 3 résume les modèles les plus performants par saison est pour chaque station. Nous constatons que pour une même station les modèles performants diffèrent d’une saison à l’autre, et pour une même saison les modèles diffèrent d’une station à l’autre. Le modèle CHMI se distingue par sa performance en hiver et au printemps pour l’ensemble des stations (excepté Ténès en automne). Il est donc difficile de faire un choix sur un seul modèle qui pourrait reproduire en même temps la variabilité spatiale et temporelle du littoral Algérien.

Pour valider les MCR, nous proposons de comparer les pluies simulées et observées pour la période humide qui s’étale de septembre à mai. Nous écartons l’été vu l’écart important entre les données simulées et observées.

La fig.3 présente les biais calculés entre les pluies observées et simulées de la saison humide durant la période de contrôle 1961-1990. Il apparait que le Modèle ICTP surestime fortement les pluies de la période humide, alors que les autres modèles les sous-estiment. Les modèles les moins biaisés sont CNRM et CHMI à Alger et Annaba, ETHZ et MPI à Oran, ETHZ et GKSS à Ténès.

**Les modèles qui reproduisent mieux les pluies totales de la saison humide sont CHMI, CNRM, ETHZ et GKSS.**

* 1. **Evolution des pluies saisonnières futures**

Il s’agit d’analyser l’évolution des pluies futures issues des sorties de modèles ENSEMBLES aux horizons 2021-2050 et 2070-2099. Dans le cadre de cette étude, nous avons sélectionné les modèles jugés performants lors de la période de validation et dont les données projetées sont disponibles sur les deux périodes futures (car certains modèles ne proposent pas de données projetées dans le projet ENSEMBLES (ex : CHMI). Nous avons donc choisit les modèles : CNRM, ETHZ et GKSS. Le modèle GKSS propose des projections climatiques jusqu’à l’horizon 2050.

Les projections des précipitations de chaque saison sont comparées aux précipitations simulées de la période de référence 1961-1990. Il apparait dans l’ensemble que ce sont les saisons d’hiver et de printemps qui montrent une réduction importante des précipitations (Fig.4). En été et en automne certains modèles projettent une augmentation des précipitations et d’autres une diminution des précipitations, mais cela a peu d’incidence sur le total annuel, car les pluies sont faibles durant cette période (Fig.4).

En automne, les modèles CNRM et GKSS simulent une diminution des précipitations sur la période 2021-2050 (CNRM ne montre pas de changement significatif des pluies à Alger) qui varie de 8% à 49%. Le modèle GKSS indique une augmentation des précipitations qui atteint 52% à Ténès. En hiver, l’ensemble des modèles simulent une diminution des précipitations pour toutes les stations. La réduction des précipitations simulée par ETHZ est la moins significative. Pour certaines stations, les modèles prédisent une baisse de plus de 50% des précipitations hivernales pour la période 2021-2050. GKSS simule une baisse de 50% à Alger et 60% à Tènes. Le modèle CNRM simule une baisse de 42% à Oran et 52% à Annaba (fig. 4.10).

Au printemps, les modèles simulent une réduction très significative des précipitations qui varie entre 30% et 60%. Le modèle GKSS simule une réduction de moins de 10% à Annaba (Fig.4.10).

En été, les modèles CNRM et ETHZ simulent une réduction importante des précipitations, mais si la différence est aussi importante c’est à cause des faibles pluies de cette saison. GKSS simule une augmentation des précipitations qui dépasse 100% à Annaba et Ténès.

Concernant la période 2070-2099, les simulations suivent la même tendance que la période 2021-2050. En hiver et en printemps la baisse des précipitations est encore plus importante par rapport à la période 2021-2050. En automne, la baisse des précipitations est généralement plus importante et l’augmentation des précipitations est moins importante que la période 2021-2050. Tandis qu’en été les simulations varient d’un modèle à l’autre et d’une station à l’autre. La réduction ou l’augmentation des précipitations lors de la période 2070-2099 peut être plus importante ou moins importante que la période 2021-2050.

Ces résultats se rapprochent de certains travaux menés en Méditerranée (Ceglar *et al.*,2014, Zanis *et al.*, 2008 ;Coppola et Giorgi, 2010) qui mettent en évidence une diminution des pluies saisonnières futures en hiver et en été.

**Conclusion**

Ce travail est une première approche de l’évaluation des sorties des modèles climatiques sur la partie Nord de l’Algérie. Les pluies simulées par 10 MCR du projet ENSEMBLES ont été évaluées par rapport à la variabilité des pluies moyennes et extrêmes observées sur la période de contrôle 1961-2000. La plupart des modèles montrent une structure en phase avec le cycle saisonnier observé. Toutefois la majorité des modèles ont tendance à sous-estimer les pluies de la période humide et à surestimer les pluies de la période sèche ce qui influence la répartition des jours de pluies entre les deux périodes. La moitié des MCR est incapable de reproduire le gradient pluviométrique Est-Ouest des précipitations pendant la période humide (Octobre-Mai). Les modèles simulent différemment les précipitations d’une station à une autre, c’est pour cette raison que les MCR les plus performants sont aussi différents d’une station à l’autre.

Les modèles performants qui ressortent de cette analyse sont : CHMI, CNRM, ETHZ et GKSS pour la variabilité saisonnière.

À l’issu de ces résultats, d’éventuelles investigations méritent d’être menées particulièrement pour expliquer la sous-estimation des modèles. Certains facteurs sont à prendre en considération tels que la densité du réseau d’observation qui nécessite plus de stations pour une meilleure inter-comparaison des modèles à l’échelle de la zone d’étude. Certaines études ont montré que la combinaison de plusieurs modèles améliorait les simulations.

L’analyse des projections climatiques simulées par les trois modèles CNRM, ETHZ et GKSS à l’horizon 2021-2050 et 2070-2099 a permis d’une part de faire une inter-comparaison entre les modèles au sein d’une même station (variabilité temporelle) et de comparer d’autre part les projections simulées par un même modèle d’une station à une autre (variabilité spatiale). Les pluies d’hiver et de printemps simulées par les 4 MCR suivent pratiquement la même tendance que les pluies annuelles à l’horizon 2050 et 2099 et indiquent une baisse importante des précipitations. En automne le modèle ETHZ simule une augmentation des précipitations pour toutes les stations, tandis que les modèles CNRM et GKSS simulent une baisse des précipitations. En été le modèle GKSS simule une augmentation des précipitations pour l’ensemble des stations et les modèles CNRM et ETHZ indiquent une baisse des précipitations.

Il est important aussi de revenir sur les incertitudes qui conditionnent d’une façon ou d’une autre les résultats de ce travail. En plus des incertitudes liées aux MCR et leur paramétrisation, la qualité des séries observées et leur position par rapport aux points de maille d’un MCR sont à prendre en considération.

**Références**

* **Bargaoui Z., Tramblay Y., Lawin E. A. and Servat E., 2014.** Seasonal precipitation variability in regional climate simulations over Northern basins of Tunisia. Int. J. Climatol., 34, p.235–248
* **Ceglar A., Honzak L., Žagar N., Skok G., Žabkar R.and Rakovec J., 2014.** Evaluation of precipitation in the ENSEMBLES regional climate models over the complex orography of Slovenia. Int. J. Climatol. DOI: 10.1002/joc.4158
* **Coppola E. et Giorgi F., 2010.** An assessment of temperature and precipitation change projections over Italy from recent global and regional climate model simulations. Int. J. Climatol. 30, p.11–32.
* **Dubois C., Somot, S., Calmanti, S., Carillo, A., Déqué, M., Dell’Aquilla A., Elizalde-Arellano A., Gualdi S., Jacob, D., Lheveder B., Li L., Oddo, P., Sannino G., Scoccimarro, E., and Sevault F., 2012.** Future projections of the surface heat and water budgets of the Mediterranean sea in an ensemble of coupled atmosphere-ocean regional climate models. Clim. Dynam., 39, p.1859–1884, doi: 10.1007/s00382-011-1261-4, 2012.
* **Giorgio F. et Lionello P., 2008.** Climate change projections for the Mediterranean region. Global and Planetary Change, v.63, p. 90–104.
* **Majone B., Bovolo C. I., Bellin A., Blenkinsop S., and Fowler H. J., 2012.** Modeling the impacts of future climate change on water resources for the Gallego river basin (Spain). Water Resour. Res., 48, W01512, doi: 10. 1029/2011WR010985.
* **Milano M., Ruelland D., Fernandez S., Dezetter A., Fabre J., and Servat E., 2007.** Facing global changes in the Mediterranean basin: How could the current water stress evolve by the medium-term? C. R. Geosci., 344, p.432–440.
* **Quintana Seguí P., Ribes A., Martin E., Habets F. and Boé, J., 2010.** Comparison of three downscaling methods in simulating the impact of climate change on the hydrology of Mediterranean basins, J. Hydrol., 383, p.111–124.
* **Sanchez-Gomez E., Somot S. and Mariotti A., 2009.** Future changes in the Mediterranean water budget projected by an ensemble of Regional Climate Models. Geophys. Res. Lett., 36, L21401, doi: 10.1029/2009GL040120.
* **Senatore A., Mendicino G., Smiatek G., and Kunstmann, H., 2011.** Regional climate change projections and hydrological impact analysis for a Mediterranean basin in Southern Italy. J. Hydrol., 399, p.70–92
* **Tramblay Y., Badi W., Driouech F., El Adlouni S., Neppel L., Servat E., 2012.** Climate change impacts on extreme precipitation in Morocco. Global and Planetary Change. 82-83, p.104–114
* **Zanis P., Kapsomenakis I., Philandras C., Douvis K., Nikolakis D., Kanellopoulou E., Zerefos C. and Repapis C., 2010**. Analysis of an ensemble of present day and future regional climate simulations for Greece. Int. J. Climatol. DOI: 10.1002/joc.1809

**Tableau 1: caractéristiques des stations du Nord de l’Algérie**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Stations** | **Origine** | **Longitude** | **Latitude**  | **Altitude**  |
| **Alger** | **ONM** | 3,06 | 36,41 | 25 |
| **Annaba**  | **ONM** | 7,49 | 36,50 | 3 |
| **Oran**  | **ONM** | -0,36 | 35,1 | 90 |
| **Ténès**  | **ANRH** | 1,32 | 36,52 | 5 |

**Tableau 2** : Nom et origine des modèles régionaux de climat (MCR), et leur acronyme

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **MCR** | **Institution** | **Acronyme**  |
| HIRAM | [Danish Meteorological Institute (DMI)](http://www.dmi.dk/) | **DMI** |
| RCA | [Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)](http://www.smhi.se/) | **SMHI** |
| HadRM3.0 | [UK Met Office,](http://www.metoffice.gov.uk/research/hadleycentre/index.html)[Hadley Centre for Climate Prediction and Research (HC)](http://www.metoffice.gov.uk/research/hadleycentre/index.html) | **HC** |
| ALADIN  | [Météo-France (CNRM)](http://www.meteo.fr/) | **CNRM** |
| [Czech Hydrometeorological Institute (CHMI)](http://www.chmi.cz/indexe.html) | **CHMI** |
| REMO | [Max-Planck-Institute for Meteorology (MPI)](http://www.mpimet.mpg.de/) | **MPI** |
| CLM | [Swiss Institute of Technology (ETHZ)](http://www.ethz.ch/) | **ETHZ** |
| [GKSS Forschungszentrum Geesthacht GmbH (GKSS)](http://coast.gkss.de/) | **GKSS** |
| ReMCG | [The Abdus Salam Intl. Centre for Theoretical Physics (ICTP)](http://www.ictp.trieste.it/) | **ICTP** |
| RCA3 | [Instituto Nacional de Meteorologia (INM)](http://www.inm.es/) | **INM** |
| PROMES | [Universidad de Castilla La Mancha (UCLM)](http://www.uclm.es/) | **UCLM** |
| CMCR | [OURANOS](http://www.ouranos.ca/) | [**OURANOS**](http://www.ouranos.ca/) |

**Tableau 3: Modèles performants par saison et par station**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Saisons** | **Automne (SON)** | **Hiver (DJF)** | **Printemps (MAM)** | **Eté (JJA)** |
| **Alger** | CHMI-CNRM-ICTP | ICTP-CHMI-UCLM | ETHZ-HC-MPI | UCLM-HC-GKSS |
| **Annaba** | CHMI-UCLM-ETHZ | ICTP-CHMI-MPI | UCLM-HC-DMI | GKSS-HC-MPI |
| **Tenes** | UCLM-GKSS-DMI | ETHZ-CHMI-GKSS | ETHZ-OURANOS-GKSS | HC-GKSS-SMHI |
| **Oran** | CHMI-CNRM-ETHZ | ICTP-CHMI-OURANOS | ETHZ-GKSS-DMI | GKSS |

****

**Fig. 1 : Situation géographique de la zone d’étude et des stations pluviométriques**

Fig.2 : Différence entre les précipitations saisonnières simulées et observées durant la période de référence 1960-1990

**Fig.3 :** Différence entre les précipitations de la saison humide simulées et observées durant la période de référence 1960-1990

**Fig. 4:** Différence des précipitations saisonnières entre les deux périodes 2021-2050, 2070-2099 et la période de référence 1961-1990