

# Simulations des impacts du Changement Climatique sur les régimes hydrologiques du bassin versant d'Oued Mekerra

Yacine BELKACEM\* <sup>1</sup>

## Abstract

Des simulations hydrologiques sur le bassin versant Oued Mekerra de Sidi Bel Abbès ont été réalisées avec le modèle d'impact GR4J dans le contexte du changement climatique. La mise en œuvre de ces simulations se fait en trois étapes, la définition des scénarios du climat futur puis le choix et le calibrage du modèle d'impact hydrologique (GR4J) et enfin l'estimation des changements potentiels pour les deux paramètres régimes et débits. Le calage du modèle (GR4J) montre une valeur très prometteuse du critère de Nash égal à 76.66% indiquant une bonne adéquation entre les débits simulés et les débits observés. Vu les résultats satisfaisants du calage et de validation de ce modèle sur nos données, nous nous sommes passés vers les simulations des impacts en introduisant les jeux de données du climat futur générés par le LARS WG. L'ensemble des simulations montrent des changements dans les régimes des débits du bassin versant de l'Oued Mekerra Sidi Bel Abbès.

## Keywords

Simulations hydrologiques, Oued Mekerra, GR4J, LARS WG

<sup>a</sup> Département Météorologique (DEM-ONM), Dar El Beida, Alger

\*Correspondant: Email : belkacemyacine01@gmail.com

## Contents

<b>1</b>	<b>Introduction:</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Méthodologie et données</b>	<b>2</b>
2.1	Présentation générale du bassin versant Mekerra	2
2.2	Les données	2
2.3	Méthodologie	2
2.4	Description de l'outil LARS-WG	3
<b>3</b>	<b>Étude des précipitations</b>	<b>3</b>
3.1	Variations interannuelles	3
3.2	Variations mensuelles	4
3.3	Étude des débits (ou les lames d'eaux écoulées)	4
3.4	Débits annuels	4
3.5	Débits mensuels	4
<b>4</b>	<b>Simulation par le Modèle journalier GR4J</b>	<b>5</b>
4.1	Simulation pour la période de référence 1996-2001	5
4.2	Projections pour l'horizon 2021-2040	6
<b>5</b>	<b>Conclusion</b>	<b>9</b>
	<b>References</b>	<b>9</b>

## 1. Introduction:

La région Nord-Ouest de l'Algérie a connu plusieurs séquences de sécheresse durant le dernier siècle. Plusieurs études telles que Meddi Sadouk Ben Abbès [1] ont mentionné les sécheresses survenues pendant les années 40 et les années 70. La dernière sécheresse survenue entre 1982 et

1987 est considérée comme l'une des périodes les plus marquantes. Cette sécheresse a été caractérisée par son intensité et son impact sensible sur la ressource en eau, la diminution de la pluviométrie et l'accroissement considérable de la température. Les études climatiques sur l'Algérie [2] indiquent que pour la période 1990-2020, la hausse de la température moyenne sera comprise entre 0.8°C et 1.1°C et la baisse des précipitations moyennes sera de l'ordre de 10%. L'élévation du niveau de la mer sera comprise entre 5 et 10 cm. L'intensification de l'évaporation due à l'augmentation de la température s'ajoute à la baisse des précipitations pour diminuer encore plus la quantité des eaux mobilisables au niveau des barrages et des nappes souterraines. Notre travail vient pour enrichir ces études d'impact hydrologique dans le contexte du changement climatique. Son objectif principal est d'étudier l'impact des changements climatiques sur les écoulements superficiels dans le bassin versant de l'Oued Mekerra (Nord-Ouest de l'Algérie) en utilisant un modèle de simulation hydrologique. Ces simulations hydrologiques sont indispensables pour toutes planifications destinées à atténuer l'impact de ces changements climatiques sur la disponibilité des ressources en eau et de proposer des outils d'aide à l'amélioration de la gestion intégrée des ressources et demande en eau. Il sera question d'étudier la variation temporelle des précipitations ainsi que la projection des débits à l'horizon 2040.

Pour atteindre cet objectif on se propose de réaliser des simulations des régimes hydrologiques de surface du bassin versant d'Oued Mekerra, situé à Sidi Bel Abbès, en utilisant le modèle Génie Rurale GR4J [3] pour la période de 1985-2010. Puis, on prépare des scénarios du climat futur (hori-

zon 2021-2040), en amont des modèles hydrologiques. Ces scénarios sont générés en utilisant une descente d'échelle statistique avec le logiciel LARS WG [4], sous la forme de chroniques sur 20 ans avec un pas de temps journalier. Ensuite, nous simulons les régimes hydrologiques dans le contexte des scénarios du climat futur du GIEC RCP4.5 à l'horizon 2021-2040. Ce scénario est qualifié de « modéré », et a été construit, avec pour hypothèse une évolution maximale des températures de + 2.4°C à l'horizon 2100.

## 2. Méthodologie et données

### 2.1 Présentation générale du bassin versant Mekerra

Le bassin versant de Mekerra est situé au Nord-Ouest de l'Algérie. Il occupe une superficie de 4102 km<sup>2</sup> (28.5% de la superficie du bassin de la Macta). Il prend son origine dans les hautes vallées de la steppe au Sud de Ras El Ma à une côte avoisinant les 1450 m. La côte moyenne de Sidi Bel Abbès est d'environ 480 m. La superficie de son bassin versant au niveau de la ville de Sidi Bel Abbès est d'environ 3 000 km<sup>2</sup>, la longueur de l'oued est de 134 km. Le bassin versant, a une forme allongée du Sud au Nord. Le réseau hydrographique du bassin est très développé, mais représenté fréquemment par des cours d'eau temporaires. Les oueds sont alimentés par des précipitations et par des sources dont la plus importante est Ain - Skhouna (Sidi Ali Benyoub).

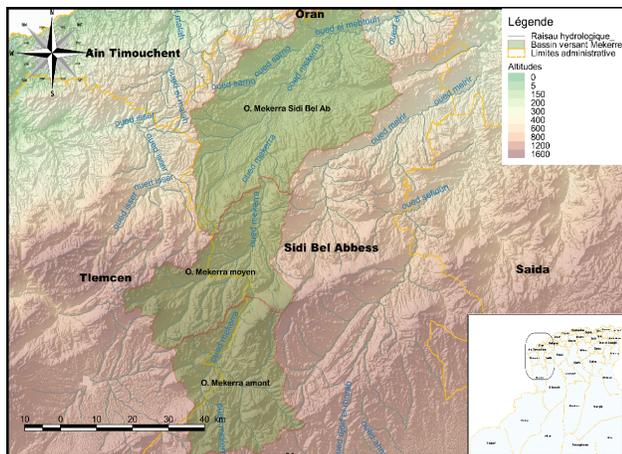


Figure 1. Carte du bassin versant de Makerra

### 2.2 Les données

Nous avons utilisé les données d'observation quotidiennes des paramètres météorologiques de précipitation (RR), de température minimale (Tmin) et de température maximale (Tmax) issues de la station d'observation de Sidi Bel Abbès de l'Office National de la Météorologie (ONM) durant la période du 1985 à 2010. Pour les débits, nous avons récupéré les données quotidiennes des débits observés par la station de l'ANRH (Agence Nationale des ressources Hydraulique) située à Sidi Bel Abbès couvrant la période du septembre

1995 à Août 2007. L'évapotranspiration a été calculée avec la formule d'Oudin du package AirGR ver 1.2.13.16 (GR Hydrological Models for Precipitation-Runoff Modelling)

### 2.3 Méthodologie

Généralement, les modèles climatiques ont typiquement une résolution horizontale comprise entre 12km (pour les RCM) et 50 Km (pour les GCM). Cette résolution est considérée comme insuffisante pour des études aux échelles d'un bassin versant comme notre cas. L'obtention des données climatiques à plus haute résolution repose sur l'établissement des relations significatives entre les climats locaux et ceux à grande échelle. Ce qui permet l'obtention de données plus fiables et de qualité à l'échelle du site précis. Ces relations demeureront valides pour les projections climatiques futures [5]. Le passage d'une grande échelle à une échelle locale, ou descente d'échelle, a été réalisé de manière que :

- D'une part, la réalisation d'une descente d'échelle statistique basée sur la relation entre la variable climatique et son environnement.
- D'autre part, l'utilisation d'un générateur stochastique de données climatique LARS-WG.

La première étape du travail consiste à concevoir un système d'information géographique (SIG) pour l'extraction des données environnementales. A partir de couches (données géo-référencées) de base : les frontières administratives de l'Algérie, la carte d'élévation 30'' d'arc sur l'Afrique, la ligne de la côte méditerranéenne, les fichiers « netcdf » des températures Tmax, Tmin et Précipitation et la carte des stations météorologiques de l'ONM.

Ces couches sont couplées à des couches intermédiaires de découpe (un outils dans le logiciel SIG pour extraire les parties pertinentes des différentes en fonction de notre zone d'étude), de transformation et de calculs : grille régulière de points (0.22° d'arc) (30'' d'arc), polygone de coupe (lat 35.88 ° lon -1.5°), couche des zones tampon (5, 10, 20 et 30 km), pour aboutir à des couches résultats avec une résolution de 1 km contenant plus de 55 attributs (latitude, longitude, altitude, log distance mer, élévation moyenne à 5, 10, 20 et 30 km, ...)

La résolution finale est de 1000 m de côté pour chaque pixel issu du modèle numérique de terrain (MNT) fourni par l'USGS (United States Geological Survey) et issu du SRTM de la NASA (Shuttle Radar Topography Mission). Pour passer de l'échelle 22 km à l'échelle 1 km, le processus consiste à calculer l'équation de régression environnementale à partir d'une matrice de paramètres climatiques de CCCMa (Canadian Centre for Climate Modelling and analysis) et les variables environnementales.

Nous sélectionnons le point de grille le plus proche de notre station météorologique que nous préparons pour générer un scénario supplémentaire. Ce dernier est utilisé dans LARS-WG afin de produire des séries quotidiennes.

## 2.4 Description de l'outil LARS-WG

Le générateur climatique LARS WG est un modèle stochastique ayant pour but de calculer des séries journalières de température, de précipitations et du rayonnement à partir de séries observées. Il permet de créer des scénarios climatiques à pas de temps journalier qui sont basés sur les variations mensuelles prévues par les sorties de modèle globaux du climat (GCM).

La méthode des anomalies appliquées dans LARS-WG (Semenov et Barrow, 1998), permet de calculer des anomalies mensuelles pour chaque variable climatique, comme le rapport (pour la pluie) ou la différence (pour la température) entre le climat mensuel moyen simulé sous les effets du changement climatique. Cette anomalie est calculée par rapport à la série de référence de la station d'observation de Sidi Bel Abbes durant la période de 1985 à 2010.

Les récapitulatifs des anomalies sont présentés par la figure 2 pour les trois paramètres sélectionnés du le scenario RCP4.5 du GIEC à l'horizon 2021-2040 avec six modèles, cinq (05) GCMs inclus dans le logiciel LARS WG (GFDL-CM3, EC-EARTH, HadGEM2-ES, MIROC5, MPI-ESM-MR) et un (01) RCM (CanRCM, CCCma) qui a subi une descente d'échelle statistique.

Ensuite, elles sont appliquées sur la distribution statistique des données physiques réelles : ce sont les valeurs moyennes ainsi que leurs variabilités qui peuvent être modifiées. LARS-WG, est capable de prendre en compte les modifications sur les moyennes et les écart-types des paramètres climatiques observées. Les simulations du climat futur sont injectées dans un modèle d'impacts, pour l'hydrologie c'est le modèle Génie Rurale GR4J qui est retenu.

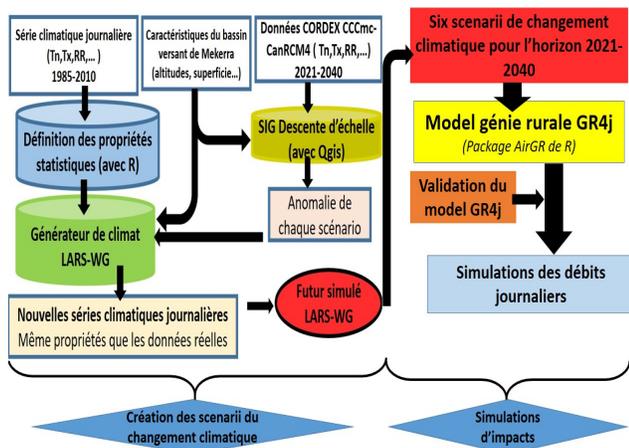


Figure 2. Schéma qui décrit la méthode des anomalies appliquées dans un générateur climatique LARS-WG.

Tous les modèles s'accordent sur l'augmentation des températures minimales et maximales pour l'horizon 2021-2040 du scénario RCP 4.5, avec +0.4 °C (MPI-ESM-MR mois de décembre) à +3.6°C (GFDL-CM3 mois de juillet), pour les températures minimales, et +0.98°C (GFDL-CM3 mois de septembre) à +2.45°C (CCCMC\_IHFR pour le mois de juin),

pour les températures maximales.

Pour les précipitations, il existe certaines différences (figures 3, 4 et 5). Pour le modèle HadGEM2-ES il y aurait une diminution des cumuls pour tous les mois (-44% pour avril à -7% pour octobre). Quant au modèle MIROC5, des faibles diminutions en cumul de précipitation sont constatées (de -5% pour août à + 0.19% pour octobre). Par contre, pour les autres modèles il y aurait des mois déficitaires et d'autres au contraire excédentaires.

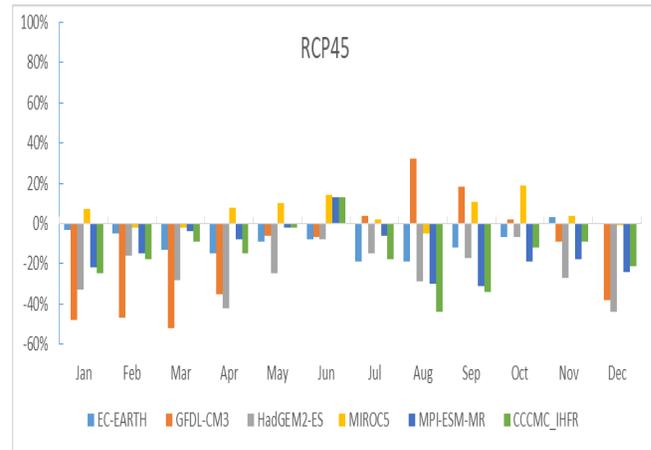


Figure 3. Anomalies de précipitations appliquées aux données par LARS WG

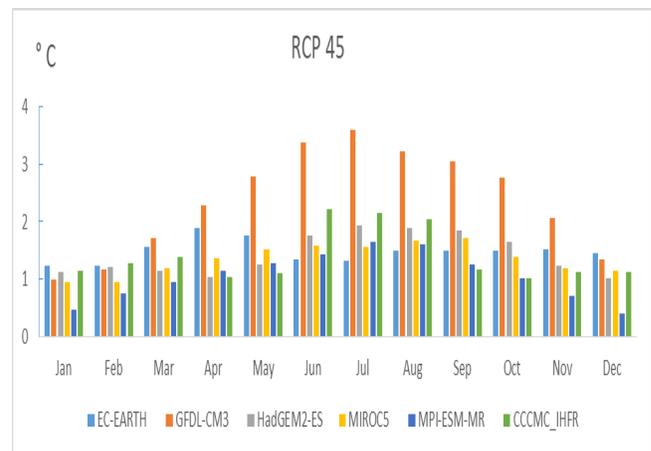


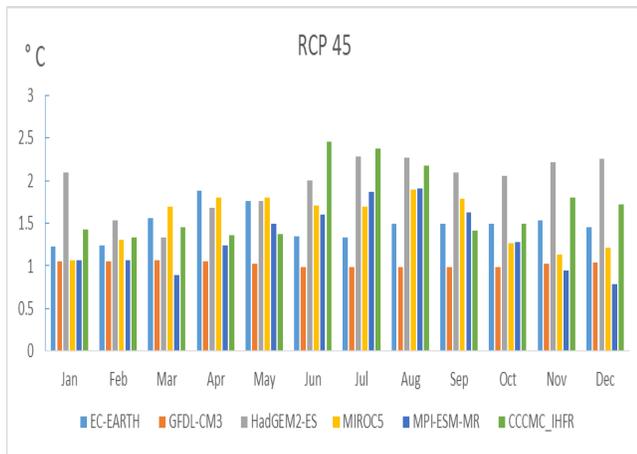
Figure 4. Anomalies de températures minimales appliquées aux données par LARS WG

## 3. Étude des précipitations

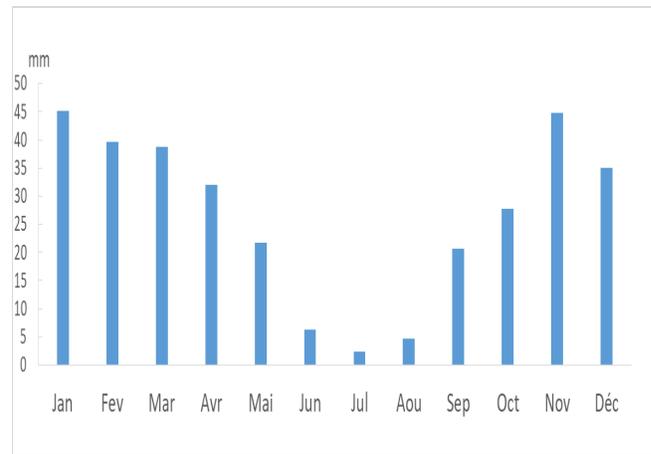
### 3.1 Variations interannuelles

Pour cette étude, nous avons pris en considération les valeurs annuelles et mensuelles des précipitations de la station de Sidi bel Abbes, située en amont du bassin versant.

La figure 6 montre la variation annuelle des cumuls de précipitations enregistrés durant la période 1985 à 2010. La moyenne des précipitations annuelles au niveau de la

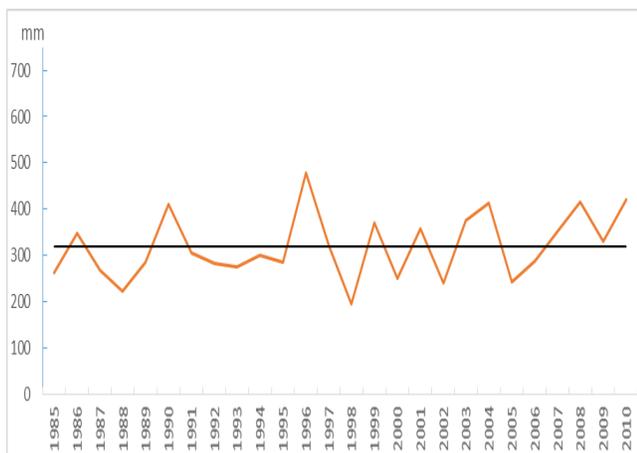


**Figure 5.** Anomalies de températures maximales appliquées aux données par LARS WG



**Figure 7.** Variations des moyennes mensuelles des précipitations observées par la station de Sidi bel Abbès

station de Sidi bel Abbès est de 319.16 mm. On constate que le régime annuel des précipitations est très irrégulier d'une année à l'autre avec 12 années sur 26 dépassent la moyenne avec un maximum de 477.3 mm en 1996 et un minimum de 194.5 en 1998.



**Figure 6.** Variations interannuelles des précipitations de la station de Sidi bel Abbès.

### 3.2 Variations mensuelles

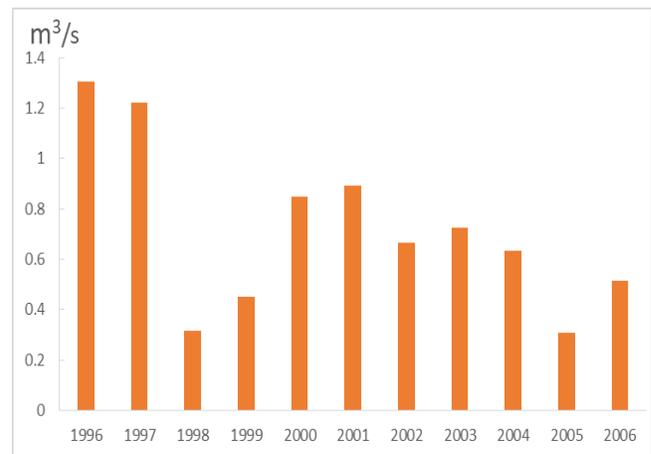
Les variations moyennes mensuelles des précipitations varient au cours de l'année (figure 7). La période pluvieuse s'étend de Septembre à Mai, les mois de Juin, Juillet et Août présentent des pluies faibles à nulles.

### 3.3 Étude des débits (ou les lames d'eaux écoulées)

Pour cette étude, nous avons pris en considérations les valeurs annuelles et mensuelles des débits enregistrés par la station hydrologique de Sidi Bel Abbès.

### 3.4 Débits annuels

Les variations interannuelles des débits (figure 8), durant la période 1995-2007, montrent une importante lame d'eau écoulée, enregistrée au niveau de la station en 1996, année où la région a connu d'importantes précipitations 477.3 mm.

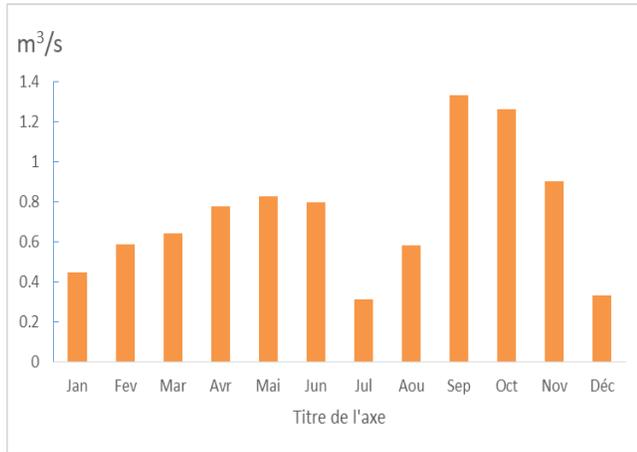


**Figure 8.** Variation interannuelle des débits observés par la station de Sidi bel Abbès durant la période 1996-2007.

### 3.5 Débits mensuels

Les débits moyens mensuels observés au niveau de la station de Sidi Bel Abbès montre un maximum enregistré au mois de septembre (figures 9). Ce débit ne correspond pas au maximum de précipitation mensuelle qui est enregistré en mois de janvier. En effet, le caractère des pluies en mois de septembre est généralement orageuses caractérisées par son intensité et son étendu spatial qui est limité. Parfois des pluies tombent plus loin de la station météorologique notamment sur les reliefs alimentant et renforçant ainsi le débit en amont du bassin versant sans qu'il soient observées par la station.

Aussi, ils existent d'autres paramètres qui impactent directement les débits comme par exemple : l'évaporation, la végétation, la topographie, la géologie et la gestion des barrages.



**Figure 9.** Variation mensuelles des débits observés par la station de Sidi bel Abbes durant la période 1996-2007.

#### 4. Simulation par le Modèle journalier GR4J

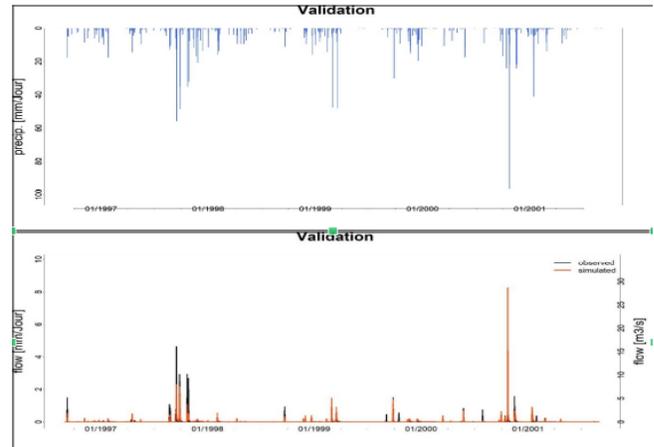
##### 4.1 Simulation pour la période de référence 1996-2001

Les courbes des débits simulés et observés sur la période de septembre 1996 à août 2001 (figure 10), présentent une grande concordance. D'ailleurs, on peut constater que le maximum observé le 23 -10-2000 (8.062 m<sup>3</sup> /s) a été reproduit d'une façon très satisfaisant avec le modèle GR4J en simulant un maximum de 8.255 m<sup>3</sup> /s. Cependant, certaines différences d'envergure sont enregistrées notamment pour les journées du 15-09-1997 où on a simulé un débit de 2.304 m<sup>3</sup> /s, alors que le débit observé est de 4.638 m<sup>3</sup> /s. Le même constat est fait pour les journées du 28-02-1998 où le modèle avait simulé un débit de 1.455 m<sup>3</sup> /s et le débit observé était de 0.0081 m<sup>3</sup> /s.

Pour cette période le modèle semble minimiser l'effet de l'absence des précipitations pendant l'été. Les valeurs nulles des débits observés seraient plus réalistes que celles simulées par notre modèle. La simulation du débit moyen est très proche de l'observé.

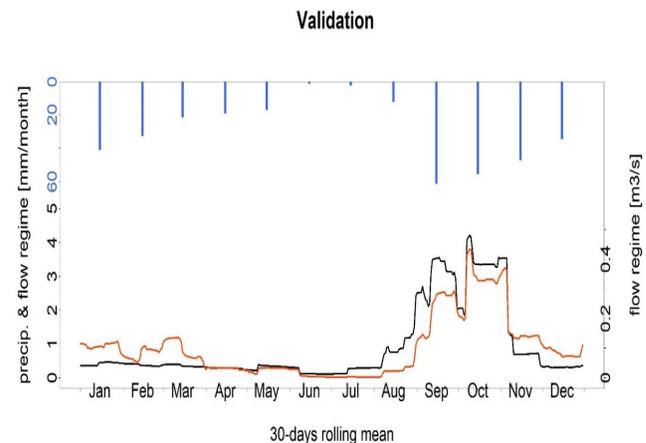
Afin d'évaluer les performances de nos simulations, nous avons utilisé le critère de Nash. Ce critère est un outil important pour évaluer la performance d'un modèle hydrologique en comparant les débits simulés et observés [6], il est basé sur le calcul de la somme des carrés des écarts entre les valeurs simulées et observées, comparée à la somme des carrés des écarts entre les valeurs observées et leur moyenne. Ce critère même est un outil statistique couramment utilisé pour évaluer la performance des modèles hydrologiques ; Il est conçu pour évaluer la précision de la modélisation

hydrologique et la capacité du modèle à reproduire les caractéristiques de la série temporelle observée. Sa valeur élevée (76.66%) dans cette étude témoigne de l'adéquation satisfaisante entre les débits simulés par le modèle GR4J et les débits observés. Cela renforce la fiabilité des résultats du modèle.



**Figure 10.** Résultat des simulation des pluie et débit quotidien par le modèle GR4J pour la période de référence 1996-2001

Pour la figure 11, le régime des débits mensuels simulés et observés procèdent la même allure, sur tous les débits simulés en automne, avec une sous-estimation des valeurs simulées. Par contre, une surestimation des valeurs des régimes sont constatées pour les périodes hivernale et printanière. Cette première partie de la calibration de GR4J sur les données de références de bassin versant sélectionné, nous a encouragé à utiliser ce modèle pour les simulations de impacts du changement climatique future sur l'hydrologie du bassin, que nous illustrons les résultats dans ce qui suit :



**Figure 11.** Résultat des simulations des régimes de GR4J, pour la période de référence 1996-2001 (ligne noire : observé, ligne marron : simulé)

#### 4.2 Projections pour l'horizon 2021-2040

Nous avons effectué des projections des débits pour la période 2021-2040 en utilisant les six modèles EC-EARTH, GFDL-CM3, HadGEM2\_ES, MIROC5, MPI-ESM-MR et CCCMC\_IHFR tableau(1) basés sur le scénario RCP4.5 du GIEC. Ces projections ont permis de tirer les conclusions suivantes :

Le modèle EC-EARTH présente le maximum de débits le plus élevé avec une valeur de 3.096 m<sup>3</sup> /s. Les modèles HadGEM2\_ES, GFDL\_CM3, MIROC5, MPI-ESM-MR et CCCMC\_IHFR montrent des maximums de débits de même ordre de grandeur, avec des valeurs allant de 2.08 m<sup>3</sup> /s à 2.859 m<sup>3</sup> /s.

Le modèle EC-EARTH présente la moyenne de débits la plus élevée avec une valeur de 0,021 m<sup>3</sup> /s. Les modèles HadGEM2\_ES et MIROC5 affichent des moyennes de débits légèrement inférieures, avec des valeurs de 0,016 m<sup>3</sup> /s et 0,020 m<sup>3</sup> /s respectivement. Les modèles GFDL\_CM3, MPI-ESM-MR et CCCMC\_IHFR ont des moyennes de débits similaires, avec des valeurs de 0,013 m<sup>3</sup> /s et 0,017 m<sup>3</sup> /s.

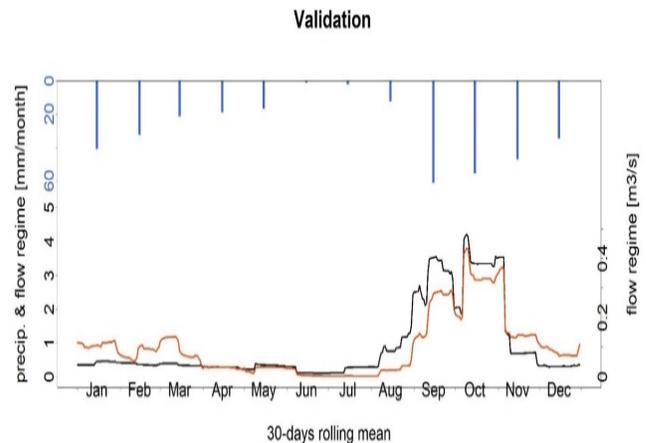
En analysant l'ensemble des simulations, on peut conclure que les débits projetés pour la période 2021-2040 sont généralement inférieurs aux débits de la période de référence qui est de 0,023 m<sup>3</sup> /s . Cela indique une tendance à la baisse des débits dans ces modèles sous le scénario RCP4.5.

Pour les modèles EC-EARTH, GFDL\_CM3, HadGEM2\_ES, MIROC5, MPI-ESM-MR tableau(2) le régime des débits mensuels simulés procèdent la même allure du mois juin au mois de décembre par rapport à celle de la période de référence. On distingue une légère différence en réponse aux précipitations du mois de janvier au mois mai. Cette différence dans le régime est due à la réponse aux précipitations.

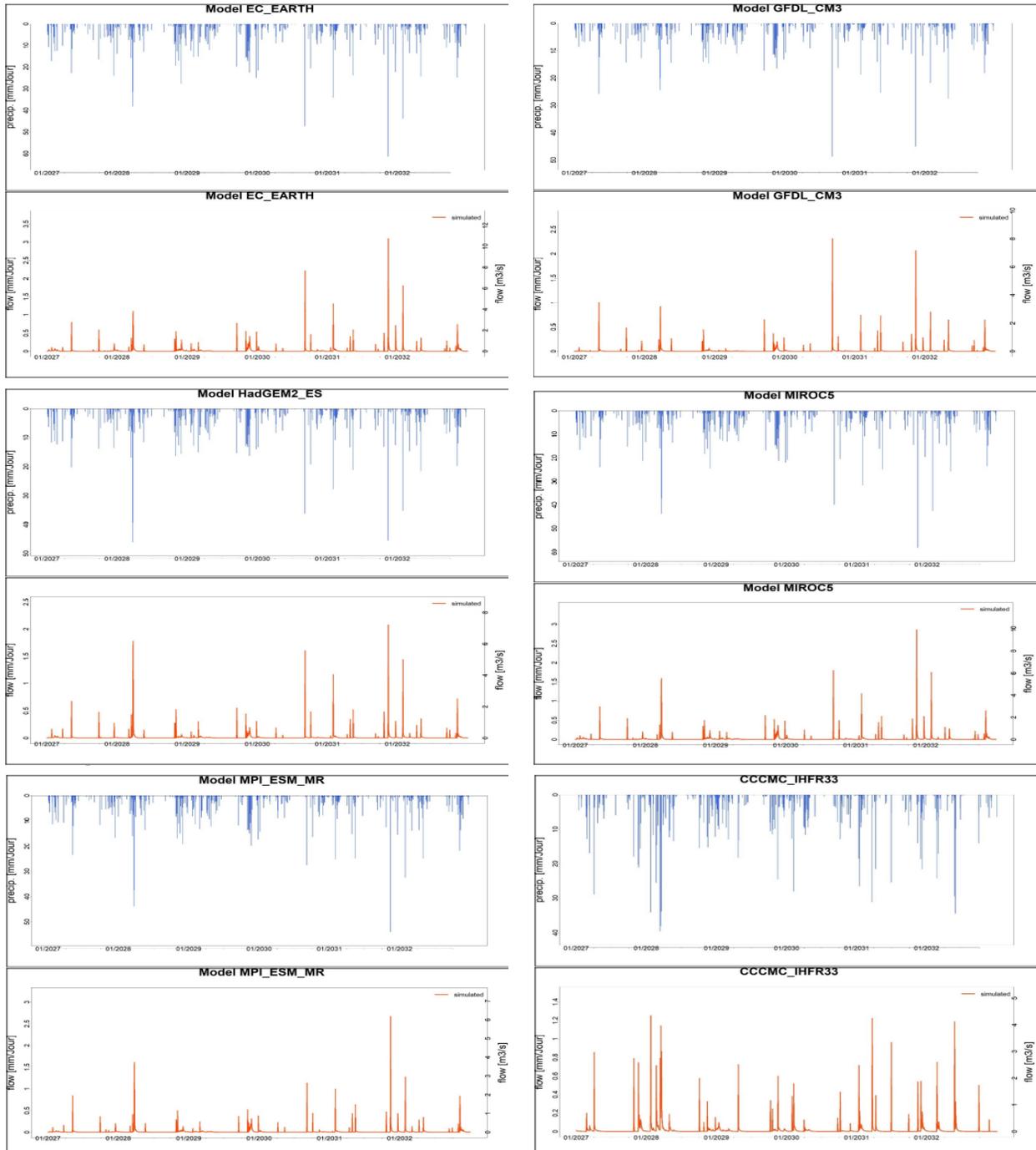
En revanche pour le modèle CCCMC\_IHFR, le régime des débits mensuels simulés est très différent du régime de référence. On note aussi une baisse des régimes quel que soit le mois.

Alors on peut constater que les modèles EC-EARTH, GFDL\_CM3, HadGEM2\_ES, MIROC5, MPI-ESM-MR semblent mieux reproduire le régime des débits mensuels par rapport à la période de référence.

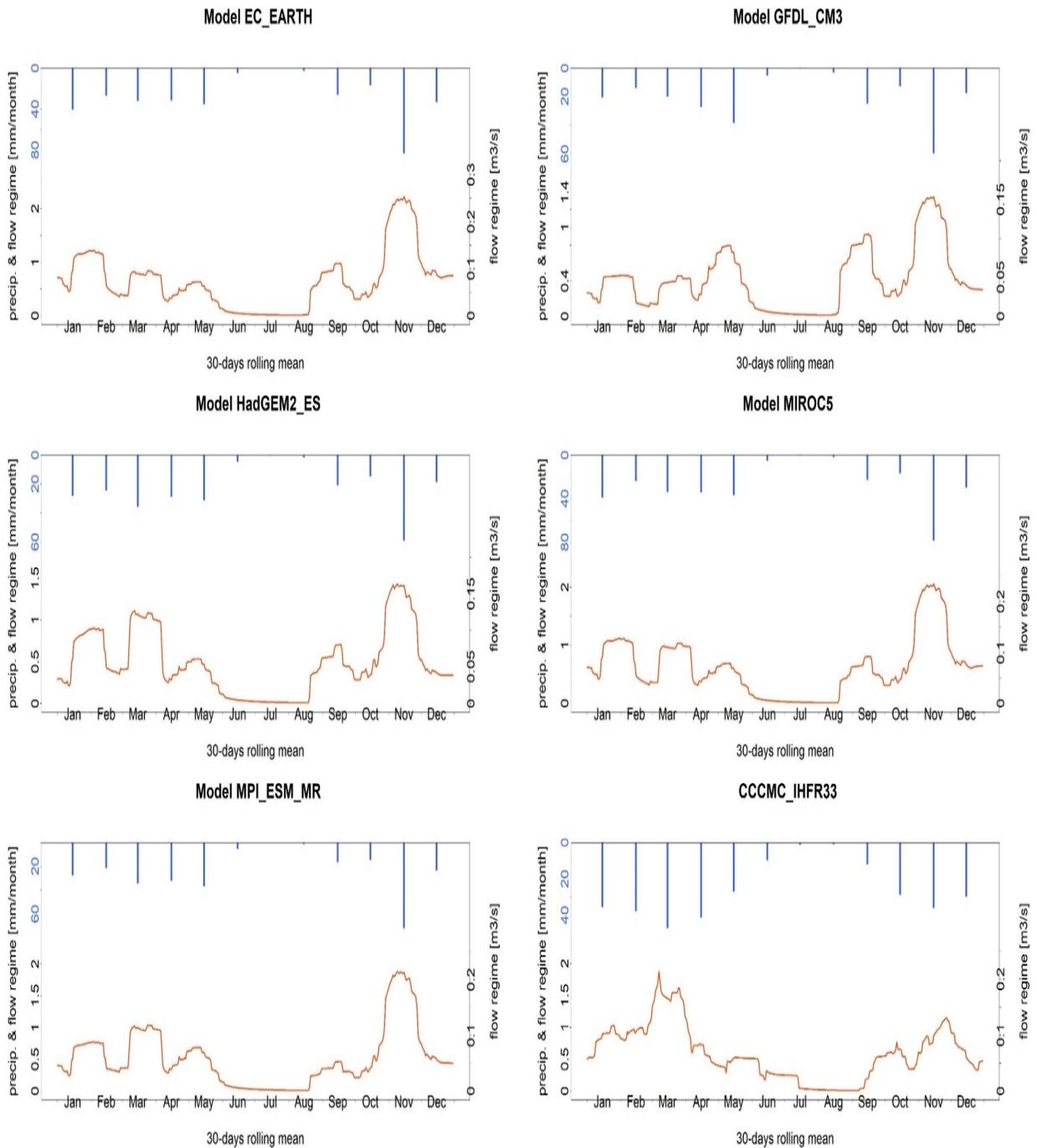
Par contre, le modèle CCCMC\_IHFR présente des divergences significatives par rapport à la période de référence.



**Figure 12.** Résultat des simulations des débits journaliers et des précipitations, horizon 2021-2040 par le modèle EC-EARTH.



**Table 1.** Résultat des simulations des débits journaliers et des précipitations, horizon 2021-2040 par les différents modèles.



**Table 2.** Résultat des simulations des régimes, pour de l'horizon 2021-2040 pour les différents modèles.

## 5. Conclusion

Nous avons réalisé des simulations hydrologiques sur le bassin versant Oued Mekerra de Sidi Bel Abbès avec le modèle d'impact GR4J afin d'étudier l'impact du changement climatique sur le régime hydraulique du bassin versant d'Oued Mekerra de Sidi Bel Abbès. Nous avons tout d'abord défini des scénarios du climat futur puis nous avons choisi et calibré notre modèle d'impact hydrologique (GR4J) et enfin nous avons estimé les changements potentiels des deux paramètres régimes et débits durant notre période d'étude.

L'étude statistique des conditions climatiques révèle des variations des précipitations, ce qui signifie que les quantités de pluie ont changé au fil du temps. L'étude hydrologique a permis de mettre en évidence l'évolution des lames d'eau écoulées au niveau de la station de jaugeage du bassin versant de l'Oued Mekerra de Sidi Bel Abbès.

Les simulations des débits basées sur les scénarios du climat futur du GIEC RCP4.5 pour la période 2021-2040 ont indiqué que les régimes hydrologiques du bassin seront impactés. Les résultats ont montré une diminution des débits maximums quotidiens, ainsi que des modifications dans les régimes mensuels avec l'apparition de périodes de faibles débits et des changements dans les régimes d'écoulement. En comparaison avec la période de référence, les débits projetés étaient généralement inférieurs, ce qui indique une tendance à la baisse des débits selon ces modèles.

## References

- [1] Mohamed Meddi and Abdelkader Sadeuk Ben Abbes. Analyse statistique et prévision des débits de crues dans le bassin versant de l'oued mekerra (ouest de l'algérie). *Nature & Technology*, (10):21, 2014.
- [2] Mohamed M Meddi, Ali Arkamose Assani, and Hind Meddi. Temporal variability of annual rainfall in the macta and tafna catchments, northwestern algeria. *Water Resources Management*, 24:3817–3833, 2010.
- [3] Charles Perrin, Claude Michel, and Vazken Andréassian. Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of hydrology*, 279(1-4):275–289, 2003.
- [4] Mikhail A Semenov, Roger J Brooks, Elaine M Barrow, and Clarence W Richardson. Comparison of the wgen and lars-wg stochastic weather generators for diverse climates. *Climate research*, 10(2):95–107, 1998.
- [5] Mikhail A Semenov and Roger J Brooks. Spatial interpolation of the lars-wg stochastic weather generator in great britain. *Climate Research*, 11(2):137–148, 1999.
- [6] Chunxi Zhang, Ming Xue, Timothy A Supinie, Fanyou Kong, Nathan Snook, Kevin W Thomas, Keith Brewster, Youngsun Jung, Lucas M Harris, and Shian-Jiann Lin. How well does an fv3-based model predict precipitation at a convection-allowing resolution? results from caps forecasts for the 2018 noaa hazardous weather test bed with different physics combinations. *Geophysical Research Letters*, 46(6):3523–3531, 2019.