

Étude des projections climatiques sur l'Algérie à l'horizon 2100 : cas de la sécheresse

Zakaria BENGHABRIT^a

^a Direction Météorologique Régional Ouest (DMRO-Oran)

Correspondant : benghabritzak@gmail.com

Résumé

Cette étude analyse les tendances de la sécheresse dans le nord de l'Algérie jusqu'en 2100, en utilisant l'indice de précipitations normalisé (SPI) calculé à différentes échelles temporelles (3, 6, et 12 mois) et des projections climatiques basées sur le modèle IPSL-CM5 sous le scénario RCP4.5. Les résultats révèlent une augmentation modérée de l'intensité des sécheresses météorologiques à court et moyen terme (3 à 6 mois), particulièrement durant la saison humide d'octobre à mars, indiquant des hivers plus secs susceptibles d'affecter l'agriculture. Cependant, à plus long terme (12 mois), aucune intensification significative des sécheresses n'est observée, suggérant une stabilité relative des conditions climatiques. Bien que les sécheresses agricoles et météorologiques puissent devenir plus fréquentes, les sécheresses hydrologiques ne devraient pas représenter un risque majeur. Il est recommandé de compléter ces résultats par d'autres indices de sécheresse tels que le SPEI et d'explorer les impacts sous des scénarios plus pessimistes comme le RCP8.5.

Mots clés : Sécheresse, Indice SPI, IPSL-CM5, Précipitations, Agriculture, Algérie, RCP4.5, Tendances climatiques.

Table des matières

1	Introduction	1
2	Méthodologie	2
2.1	L'indice de précipitation normalisé	2
	Origine • Caractéristiques • Utilité • Limites	
2.2	Modèle climatique IPSL-CM5	2
	Scénario RCP4.5	
2.3	Collecte et traitement des données	3
	Sources de données	
3	Résultats	3
3.1	SPI sur 3 mois	4
3.2	SPI sur 6 mois	4
3.3	SPI sur 12 mois	6
4	Conclusion	6
	Références	7

1. Introduction

La sécheresse est un phénomène insidieux qui résulte d'une diminution des précipitations par rapport à des niveaux considérés comme normaux. Lorsque cette anomalie persiste sur une saison ou sur une période plus longue, les précipitations deviennent insuffisantes pour répondre aux

besoins de l'environnement et des activités humaines. La sécheresse doit être appréhendée comme un état relatif, variant selon les régions, chacune ayant ses propres caractéristiques climatiques. Ainsi, les sécheresses observées dans les Grandes Plaines d'Amérique du Nord diffèrent de celles qui touchent le nord-est du Brésil, l'Afrique australe, l'Europe occidentale, l'Australie orientale ou encore la plaine du nord de la Chine. Ces différences sont liées aux variations de la quantité, du cycle saisonnier et de la nature des précipitations propres à chaque région. [1]

Outre les précipitations, d'autres facteurs comme la température, le vent et l'humidité relative jouent un rôle déterminant dans la caractérisation de la sécheresse. Le suivi de ce phénomène doit également tenir compte des impacts spécifiques à chaque secteur, puisque la sécheresse affecte différemment les gestionnaires de l'eau, les agriculteurs, les opérateurs de centrales hydroélectriques ou les écologistes. Même au sein d'un même secteur, ses effets peuvent être perçus de manière variable. La sécheresse est généralement classée en trois types principaux : météorologique, agricole et hydrologique, et elle varie en fonction de son intensité, de sa durée et de sa couverture spatiale. [1]

Au fil des années, divers indices de sécheresse ont été développés par des météorologues et climatologues à travers le monde, allant des plus simples, comme le pourcentage des normales de précipitations, aux plus complexes, tels

que l'indice de sévérité de la sécheresse de Palmer (PDSI, Palmer, 1965) [5]. Aux États-Unis, des experts ont souligné la nécessité d'un indice simple à calculer, statistiquement pertinent et adapté à différents contextes. Cela a conduit McKee, Doesken et Kleist à développer, en 1993, l'indice de précipitations standardisé (SPI), qui permet une évaluation plus précise des déficits de précipitations en fonction de leurs impacts sur divers aspects hydrologiques, comme les eaux souterraines, les réservoirs, l'humidité du sol ou les écoulements des cours d'eau. [1]

Cet article se structure en trois parties. La première présente une description de l'indice SPI (McKee et al. 1993, 1995) [4] ainsi que du modèle climatique IPSL-CM5. Dans la seconde partie, une analyse des cartes du SPI sera réalisée pour identifier les tendances de la sécheresse. Enfin, une conclusion générale viendra clore cette étude.

2. Méthodologie

2.1 L'indice de précipitation normalisé

2.1.1 Origine

L'indice SPI (Standardized Precipitation Index) a été développé en 1992 par McKee et ses collègues à l'Université d'État du Colorado. Présenté en 1993 lors de la Conférence sur la climatologie appliquée, il a été recommandé par l'OMM en 2009 pour surveiller les sécheresses météorologiques. [2]

2.1.2 Caractéristiques

Le SPI repose sur l'analyse des précipitations historiques et permet de calculer la probabilité de sécheresses sur des périodes allant de 1 à 48 mois. Plus la série de données est longue, plus la distribution est fiable. Le SPI peut être calculé avec un minimum de 20 ans de données, mais une série de 30 ans est préférable. [2]

L'indice quantifie les déficits de précipitations sur différentes échelles de temps pour répondre aux besoins variés des décideurs. Il est utilisé pour identifier des sécheresses météorologiques (1-2 mois), agricoles (1-6 mois) et hydrologiques (6-24 mois). [1]

2.1.3 Utilité

Le SPI est flexible et peut être calculé même en cas de lacunes dans les données. Il est utilisé dans l'agriculture, la gestion des ressources en eau, et d'autres secteurs. Il est simple à calculer, comparé à d'autres indices, car il ne nécessite que des données de précipitations. [2]

2.1.4 Limites

L'indice ne prend pas en compte les températures, qui influencent pourtant le bilan hydrique. Il peut également poser des difficultés d'interprétation lorsque les séries de données sont trop courtes ou incomplètes.

2.2 Modèle climatique IPSL-CM5

L'IPSL-CM5 est la 5e version du modèle climatique de l'IPSL (Institut Pierre-Simon de Laplace). C'est un modèle

TABLE 1. Échelle d'intensité SPI

Valeur du SPI	Description
$SPI > 2.0$	Extrêmement humide
$1.5 < SPI < 1.99$	Très humide
$1.0 < SPI < 1.49$	Modérément humide
$-0.99 < SPI < 0.99$	Proche de la normale
$-1.49 < SPI < -1.0$	Modérément sec
$-1.99 < SPI < -1.5$	Très sec
$SPI < -2.0$	Extrêmement sec

du système terre global. En plus du modèle physique atmosphère-sol-océan-glace de mer, il inclut une représentation du cycle de carbone, la chimie troposphérique et stratosphérique avec les aérosols. [3]

Il existe deux versions de ce modèle : L'IPSL-CM5A qui est une extension de l'IPSL-CM4, tandis que l'IPSL-CM5B est un modèle atmosphérique avec une paramétrisation physique totalement différente. L'IPSL-CM5A est devenu l'IPSL-CM5A2 avec l'objectif d'avoir une version plus rapide pur de longues simulations.

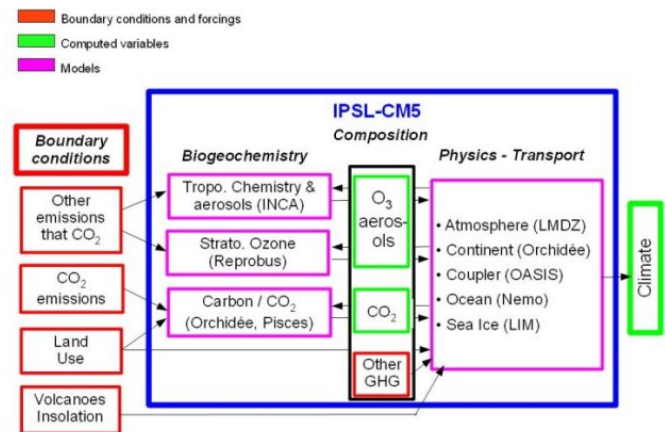


FIGURE 1. Schéma du modèle climatique IPSL-CM5

Le modèle IPSL-CM5 est composé des modèles suivants :

- Le modèle atmosphérique **LMDZ**.
- Le modèle océan **NEMO**, incluant la glace de mer et la biogéochimie marine.
- Le modèle des surfaces continentales **ORCHIDEE**, incluant le cycle de carbone.
- Le modèle de chimie et aérosols **INCA**.
- Le modèle couplé géochimie-climat **LMDz-REPROBUS**.

L'IPSL-CM5 a été utilisé dans le cadre de la 5e phase du projet d'intercomparaison de modèles couplés CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project), avec une unique résolution pour le modèle océan (2°, avec une résolution méridionale de 0.5° au voisinage de l'équateur), et 2 résolutions différentes pour le modèle atmosphère : une faible résolution de 1.9° x 3.75° (96x96xL39), et moyenne résolution de 1.25° x 2.5° (144x143xL39) . [3]

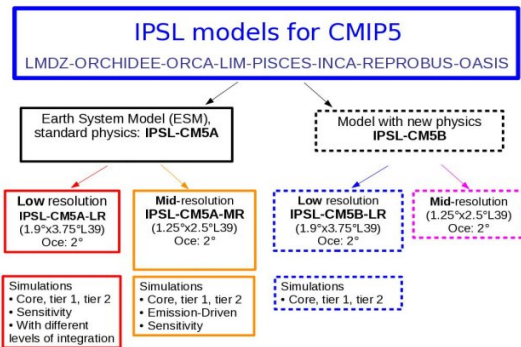


FIGURE 2. Les modèles de l'IPSL pour le CMIP5

2.2.1 Scénario RCP4.5

Le scénario RCP4.5 (Representative Concentration Pathway 4.5) est l'un des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre utilisés dans le cadre du cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Ce scénario représente un avenir où les émissions de gaz à effet de serre augmentent dans un premier temps, puis se stabilisent grâce à des politiques de réduction des émissions.

Caractéristiques du scénario

RCP4.5 suppose une augmentation modérée des concentrations de gaz à effet de serre, avec des efforts significatifs pour atténuer les émissions à partir de 2020. Ce scénario est souvent considéré comme un scénario intermédiaire, où les efforts de réduction des émissions sont mis en œuvre, mais pas de manière suffisamment agressive pour éviter un réchauffement climatique significatif.

Importance pour les projections climatiques

L'utilisation du scénario RCP4.5 dans les simulations climatiques permet d'évaluer les impacts potentiels des changements climatiques sur les systèmes naturels et humains. Il offre une vision réaliste des conditions climatiques futures, en tenant compte des politiques d'atténuation qui pourraient être mises en œuvre. Les résultats obtenus à partir de ce scénario sont cruciaux pour la planification et la gestion des ressources en eau, l'agriculture, et d'autres secteurs sensibles aux variations climatiques.

En résumé, l'IPSL-CM5 est un modèle climatique complet qui intègre divers processus du système terrestre, et l'utilisation du scénario RCP4.5 permet d'explorer les impacts potentiels des changements climatiques dans un contexte de politiques d'atténuation modérées. Ces éléments sont essentiels pour comprendre les tendances climatiques futures et leurs implications pour la gestion des ressources naturelles.

2.3 Collecte et traitement des données

2.3.1 Sources de données

Les données utilisées dans cette étude proviennent des simulations du modèle climatique IPSL-CM5, spécifiquement pour le scénario intermédiaire RCP4.5. Les données

de précipitations quotidiennes ont été extraites des simulations réalisées par l'Institut Pierre-Simon de Laplace (IPSL) pour la période allant du 1er janvier 1970 au 31 décembre 2100. Ces données couvrent le nord de l'Algérie et sont essentielles pour évaluer les tendances de la sécheresse dans cette région.

Les précipitations quotidiennes fournissent une base solide pour l'analyse des épisodes de sécheresse, car elles permettent de calculer des indices de sécheresse tels que l'indice de précipitations normalisé (SPI). L'utilisation de données à haute résolution temporelle est cruciale pour capturer les variations saisonnières et interannuelles des précipitations, ce qui est particulièrement pertinent pour l'étude des sécheresses météorologiques, agricoles et hydrologiques.

Pour analyser les données de précipitations et calculer les indices SPI, plusieurs techniques statistiques et outils ont été utilisés

- **Calcul de l'indice SPI** : L'indice de précipitations normalisé (SPI) a été calculé sur différentes échelles temporelles (3, 6 et 12 mois) afin de couvrir les trois types de sécheresse : météorologique, agricole et hydrologique.
- **Quintiles du SPI** : Les quintiles du SPI ont été calculés pour quatre périodes distinctes (1970-2020, 2021-2050, 2051-2080, 2081-2100) afin d'évaluer les tendances de la sécheresse au fil du temps. Cette approche permet de comparer les conditions de sécheresse passées avec les projections futures, fournissant ainsi des informations précieuses sur l'évolution des risques de sécheresse.
- **Outils logiciels** : Le logiciel statistique R a été utilisé tout au long du processus, depuis l'extraction des données jusqu'au calcul de l'indice standardisé de précipitations (SPI) et la production des cartes. Grâce à ses bibliothèques spécialisées, R permet de traiter efficacement les données climatiques et de calculer les indices de sécheresse, comme le SPI. De plus, il facilite l'analyse des grandes quantités de données issues des simulations du modèle climatique IPSL-CM5, tout en offrant des fonctions spécifiques pour visualiser et cartographier les résultats de manière claire et précise.

3. Résultats

Pour cette étude, les précipitations quotidiennes issues des simulations du modèle IPSL-CM5 pour le CMIP5, suivant le scénario intermédiaire RCP4.5, ont été utilisées pour la période du 1er janvier 1970 au 31 décembre 2100. Les précipitations mensuelles ont ensuite été déduites à partir de ces données quotidiennes. Afin de couvrir les trois types de sécheresses (météorologique, hydrologique et agricole), les quintiles du SPI ont été calculés sur 3, 6 et 12 mois, pour quatre périodes distinctes (1970-2020, 2021-2050, 2051-2080,

2081-2100), afin de déterminer les tendances.

Pour concentrer l'analyse sur la saison des pluies, seul le mois de février a été pris en considération pour le SPI sur 3 mois (période décembre-janvier-février), et le mois de mars pour le SPI sur 6 mois (période octobre-novembre-décembre-janvier-février-mars).

3.1 SPI sur 3 mois

Les figures 03, 04, 05 et 06 illustrent l'évolution des quintiles SPI (de gauche à droite 20%, 40%, 60% et 80 %) sur 03 mois durant la période allant du 1970 au 2100, l'analyse des données pour la période de 1970 à 2020 révèle que le premier quintile du SPI (Standardized Precipitation Index) se situe autour de -1, tandis que le deuxième quintile est proche de 0. Cela indique que 40 % des hivers durant cette période ont été classés comme météorologiquement secs, avec la moitié de ces hivers étant considérés comme modérément secs. En d'autres termes, une proportion significative des hivers a connu des conditions de sécheresse, ce qui souligne une tendance vers des hivers moins humides.

Pour la période projetée de 2021 à 2100, il est observé que la valeur du premier quintile augmente puis diminue. Cela signifie qu'il y a une légère tendance à l'augmentation de l'intensité des sécheresses météorologiques au cours de cette période. En d'autres termes, les hivers pourraient devenir légèrement plus secs, mais cette intensité ne continuera pas à croître de manière linéaire. La fluctuation de la valeur du premier quintile suggère que, bien qu'il y ait une tendance à la sécheresse, il pourrait y avoir des variations d'intensité au fil du temps, avec des périodes de sécheresse plus marquées suivies de périodes moins sèches. En résumé, cette analyse indique que, bien que la sécheresse météorologique soit une préoccupation croissante, son intensité pourrait connaître des variations plutôt qu'une augmentation constante jusqu'en 2100.

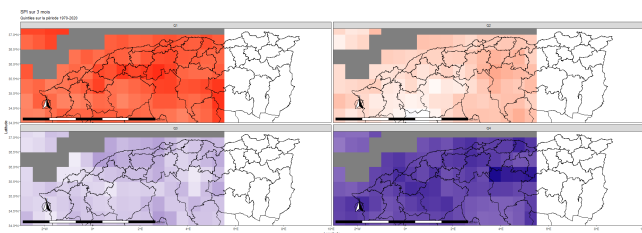


FIGURE 3. Quintiles du SPI sur 3 mois pour la période 1970-2020

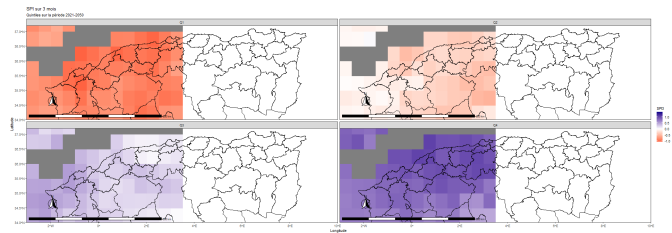


FIGURE 4. Quintiles du SPI sur 3 mois pour la période 2021-2050

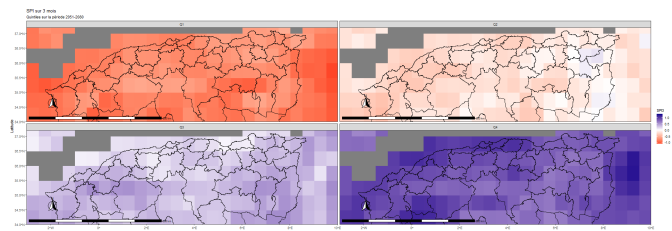


FIGURE 5. Quintiles du SPI sur 3 mois pour la période 2051-2080

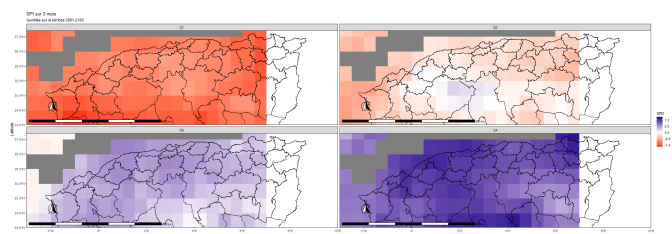


FIGURE 6. Quintiles du SPI sur 3 mois pour la période 2081-2100

3.2 SPI sur 6 mois

Les figures 07, 08, 09 et 10 illustrent l'évolution des quintiles SPI (de gauche à droite 20%,40%,60% et 80 %) sur 06 mois durant la période allant du 1970 au 2100

Le SPI (Standardized Precipitation Index) sur 6 mois indique que les résultats observés pour cette période sont similaires à ceux du SPI sur 3 mois. Cela signifie que la tendance à la sécheresse est également présente sur une période plus longue, de six mois, qui couvre la saison humide d'octobre à mars.

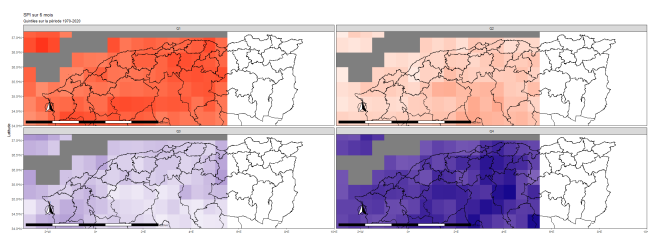


FIGURE 7. Quintiles du SPI sur 6 mois pour la période 1970-2020

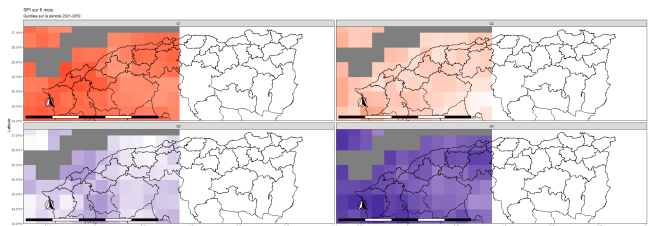


FIGURE 8. Quintiles du SPI sur 6 mois pour la période 2021-2050

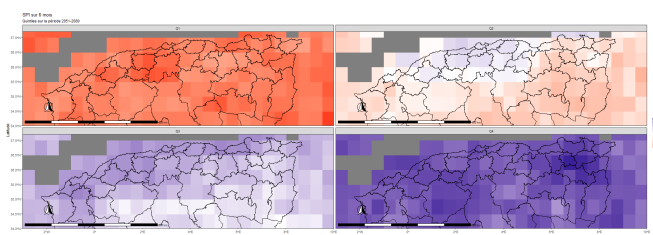


FIGURE 9. Quintiles du SPI sur 6 mois pour la période 2051-2080

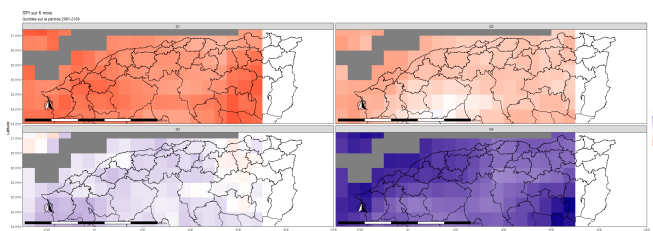


FIGURE 10. Quintiles du SPI sur 6 mois pour la période 2081-2100

L'implication de cette constatation est que, d'ici l'horizon étudié, cette période deviendra de plus en plus sèche. Cette augmentation de la sécheresse aura des conséquences significatives sur l'agriculture, car des sols asséchés peuvent réduire la disponibilité d'eau pour les cultures, affectant ainsi les rendements agricoles. En résumé, la tendance à la sécheresse sur une période de six mois pourrait entraîner des défis majeurs pour l'agriculture dans la région concernée

3.3 SPI sur 12 mois

Les figures 11, 12, 13 et 14 illustrent l'évolution des quintiles SPI (de gauche à droite 20%, 40%, 60% et 80 %) sur 12 mois durant la période allant du 1970 au 2100

Le SPI (Standardized Precipitation Index) sur 12 mois indique que, pour la période de 1970 à 2020, les observations sont similaires à celles des SPI sur 3 et 6 mois, ce qui suggère une tendance générale à la sécheresse. Cependant, en ce qui concerne les périodes futures, il n'y a pas de changement significatif dans l'intensité des sécheresses sur le long terme.

Cela signifie que, bien que des sécheresses continuent à se produire, leur gravité ou leur intensité ne semble pas augmenter avec le temps. En d'autres termes, même si les sécheresses demeurent une préoccupation, les données ne montrent pas une tendance croissante vers des épisodes de sécheresse plus sévères. Cela pourrait indiquer que les conditions climatiques restent relativement stables en ce qui concerne l'intensité des sécheresses sur une période de 12 mois, malgré les variations à court terme observées dans les SPI sur 3 et 6 mois.

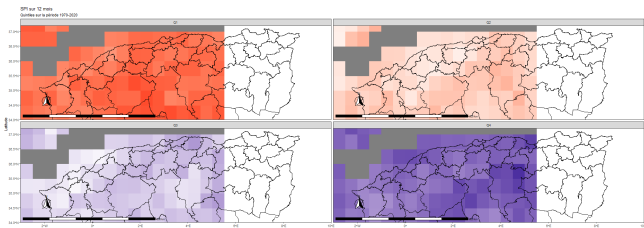


FIGURE 11. Quintiles du SPI sur 12 mois pour la période 1970-2020

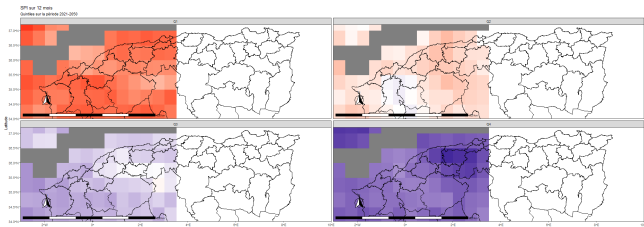


FIGURE 12. Quintiles du SPI sur 12 mois pour la période 2021-2050

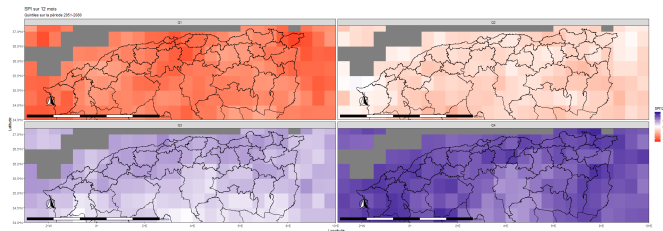


FIGURE 13. Quintiles du SPI sur 12 mois pour la période 2051-2080

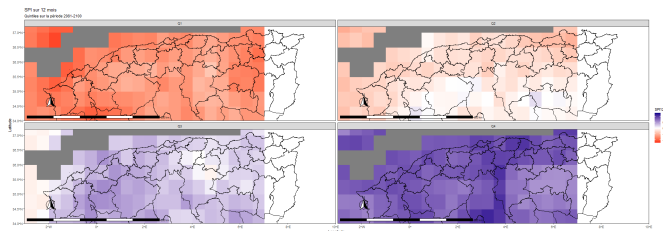


FIGURE 14. Quintiles du SPI sur 12 mois pour la période 2081-2100

4. Conclusion

L'étude vise à résumer les tendances de la sécheresse dans le nord de l'Algérie jusqu'en 2100, en se basant sur le scénario intermédiaire RCP4.5. Les résultats indiquent qu'il existe une légère tendance à l'augmentation de l'intensité des sécheresses à court et moyen terme (sur des périodes de 3 et 6 mois), particulièrement durant la saison humide, qui s'étend d'octobre à mars. Cela signifie que les hivers pourraient devenir plus secs, ce qui affecterait la disponibilité d'eau pour l'agriculture.

Cependant, pour des périodes plus longues (12 mois), l'étude ne prévoit pas de changement significatif dans l'intensité des sécheresses. Cela suggère que, bien que des sécheresses continuent de se produire, leur gravité ne devrait pas augmenter de manière marquée sur le long terme. L'étude conclut que le nord de l'Algérie sera principalement touché par des sécheresses météorologiques (hivers plus secs) et agricoles (sols asséchés), tandis que les sécheresses hydrologiques (affectant les cours d'eau, réservoirs et nappes phréatiques) devraient être moins préoccupantes.

Pour mieux préparer des stratégies d'adaptation face à ces défis, il est recommandé de comparer ces résultats avec d'autres indices de sécheresse, comme le SPEI (Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index), et d'explorer

d'autres scénarios climatiques, notamment le scénario pessimiste RCP8.9, qui pourrait offrir une perspective différente sur les impacts futurs.

Références

- [1] World Meteorological Organization, 2012 : *Standardized Precipitation Index User Guide*, (WMO-No. 1090), World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- [2] World Meteorological Organization, 2012 : *Handbook of Drought Indices and Indicators*, (WMO-No. 1173), World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- [3] Dufresne, J.-L. et al., 2013 : Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model : from CMIP3 to CMIP5. *Climate Dynamics*, 40(9-10), 2123-2165. <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1636-1>, <https://archimer.ifremer.fr/doc/00138/24966/>.
- [4] McKee, T.B., N.J. Doesken, and J. Kleist, 1993 : The relationship of drought frequency and duration to time scale. In : *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, January 17-22, 1993. Boston : American Meteorological Society, 179-184.
- [5] Palmer, W.C., 1965 : *Meteorological Drought*. Research Paper No. 45, US Weather Bureau, Washington, DC.