

The Meteorological and Climatic Mechanisms of Precipitation in the Guercif Basin (Northeastern Morocco): A Spatio-Temporal Analysis (1992-2024)

SEGHIR Aziz

Chercheur en hydro-climatologie, Chercheur indépendant en sciences climatiques et hydrologiques

Email 1 : seghiraziz@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0005-5888-2258>

Received	Accepted	Published
08/09/2025	15/09/2025	30/09/2025

DOI: <https://doi.org/10.63939/JSMS.2025-Vol7.N28.218-231>

SEGHIR Aziz. (2025). The Meteorological and Climatic Mechanisms of Precipitation in the Guercif Basin (Northeastern Morocco): A Spatio-Temporal Analysis (1992-2024). *Journal of Strategic and Military Studies*, volume7 (issue28), pp: 218 – 231.

Abstract

This article analyzes the main aerodynamic mechanisms responsible for precipitation generation in the Guercif basin, a semi-arid region in northeastern Morocco. This region is crucially dependent on large-scale climatic fluctuations, with Atlantic and Mediterranean depressions, supported by atmospheric rivers, constituting the primary sources of precipitation.

The methodology relies on a multi-source approach integrating climatic and hydrological data covering the period 1992-2024. Sources include WorldClim for high-resolution climate data, Climate Engine for interactive climate analysis, and NASA POWER satellite data. The analysis of atmospheric configurations utilizes GFS models and ERA5 reanalysis, while climate teleconnections are evaluated via NOAA indices (NAO, EA, MO).

The results reveal a significant decrease in annual precipitation (-3% per decade, $p < 0.05$) accompanied by increasing interannual variability. Seasonal analysis identifies autumn and winter as the wettest seasons, with strong negative correlations between climate indices (NAO: $r = -0.65$ to -0.75 ; MO : $r = -0.45$ to -0.55) and winter precipitation.

The study highlights the role of dominant synoptic regimes (zonal, blocking, meridional) and the determining influence of local topography on the modulation of rainfall amounts and spatial distribution. It also underscores the intensification of atmospheric river events and the increasing persistence of blocking configurations as explanatory factors for the observed changes.

Keywords: Guercif Basin ; Precipitation; Climatic Mechanisms; Climate Teleconnections; Climate Change

© 2025, SEGHIR, licensee Democratic Arab Center. This article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0), which permits non-commercial use of the material, appropriate credit, and indication if changes in the material were made. You can copy and redistribute the material in any medium or format as well as remix, transform, and build upon the material, provided the original work is properly cited.

Les Mécanismes Météorologiques et Climatiques des Précipitations sur le Bassin du Guercif (Maroc Nord Oriental) : Une Analyse Spatio-Temporelle (1992-2024)

SEGHIR Aziz

Hydro-climatology Researcher, Independent Researcher in Climate Sciences and Hydrology

Email 1 : seghiraziz@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0005-5888-2258>

Reçu le	Accepté le	Publié le
08/09/2025	15/09/2025	30/09/2025

DOI: <https://doi.org/10.63939/JSMS.2025-Vol7.N28.218-231>

SEGHIR Aziz. (2025). Les Mécanismes Météorologiques et Climatiques des Précipitations sur le Bassin du Guercif (Maroc Nord Oriental) : Une Analyse Spatio-Temporelle (1992-2024). *Journal of Strategic and Military Studies*, Volume 7 (Numéro28), pp: 218 – 231.

Résumé

Cet article analyse les principaux mécanismes aérodynamiques responsables de la génération des précipitations dans le bassin de Guercif, une région semi-aride du nord-est du Maroc. Cette région dépend crucialement des fluctuations climatiques à grande échelle, les dépressions atlantiques et méditerranéennes, soutenues par les rivières atmosphériques, constituant les sources principales de précipitations.

La méthodologie s'appuie sur une approche multi-source intégrant des données climatiques et hydrologiques couvrant la période 1992-2024. Les sources incluent WorldClim pour les données climatiques haute résolution, Climate Engine pour l'analyse climatique interactive, et les données satellitaires NASA POWER. L'analyse des configurations atmosphériques utilise les modèles GFS et les réanalyses ERA5, tandis que les téléconnexions climatiques sont évaluées via les indices NOAA (NAO, EA, MO).

Les résultats révèlent une diminution significative des précipitations annuelles (-3% par décennie, $p < 0.05$) accompagnée d'une variabilité interannuelle croissante. L'analyse saisonnière identifie l'automne et l'hiver comme les saisons les plus arrosées, avec de fortes corrélations négatives entre les indices climatiques (NAO : $r = -0.65$ à -0.75 ; MO : $r = -0.45$ à -0.55) et les précipitations hivernales.

L'étude met en évidence le rôle des régimes synoptiques dominants (zonal, de blocage, méridien) et l'influence déterminante de la topographie locale sur la modulation des quantités et de la distribution spatiale des pluies. Elle souligne également l'intensification des épisodes de rivières atmosphériques et la persistance croissante des configurations de blocage comme facteurs explicatifs des changements observés.

Mots clés : Bassin de Guercif ; Précipitations ; Mécanismes climatiques ; Téléconnexions climatiques ; Changement climatique

© 2025, SEGHIR, Licencié par: Centre Démocratique Arabe. Cet article est publié sous les termes de la licence Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0), qui autorise l'utilisation non commerciale du matériel, à condition de donner le crédit approprié et d'indiquer si des modifications ont été apportées au matériel. Vous pouvez copier et redistribuer le matériel dans n'importe quel support ou format, ainsi que le remixer, le transformer et le développer, à condition que le travail original soit correctement cité.

1 : Introduction

Dans le contexte actuel de changement climatique global, la compréhension des mécanismes régionaux de variabilité pluviométrique constitue un enjeu scientifique et stratégique majeur (GIEC, 2021). Les régions semi-arides méditerranéennes, particulièrement vulnérables aux fluctuations hydroclimatiques, nécessitent une analyse approfondie des processus atmosphériques qui gouvernent leurs régimes précipitation (Lionello et al., 2012).

Le bassin de Guercif, situé dans le nord-est du Maroc, illustre parfaitement cette problématique. Cette région, caractérisée par une forte variabilité pluviométrique et des sécheresses récurrentes, subit les effets conjugués des téléconnexions climatiques globales et des facteurs topographiques locaux (Driouech, 2010). La compréhension de ces mécanismes s'avère cruciale pour l'adaptation aux changements climatiques et la gestion durable des ressources hydriques.

Cette étude vise à analyser les principaux mécanismes météorologiques et climatiques responsables de la génération des précipitations dans le bassin de Guercif sur la période 1992-2024, en examinant les liens entre les téléconnexions climatiques, les régimes synoptiques et la variabilité pluviométrique locale.

1 : présentation de la zone d'étude

1.1 : Contexte géographique et influences climatiques :

La région de Guercif, située au nord-est du Maroc (latitude 34.23°N, longitude - 3.36°W), plus précisément dans le bassin central de la Moulouya, appartient à une zone de transition entre le climat méditerranéen et semi-aride. Cette zone reçoit des précipitations irrégulières, fortement influencées par les dynamiques atmosphériques régionales et synoptiques, et présente une variabilité pluviométrique remarquable, étroitement liée aux configurations de pression atmosphérique ainsi qu'aux circulations de grande échelle.

Grâce à sa position géographique, Guercif montre clairement les défis climatiques que connaît la région. Pour y faire face, il est important d'étudier le climat local avec précision afin de mieux gérer les ressources et encourager un développement durable en accord avec les réalités du terrain

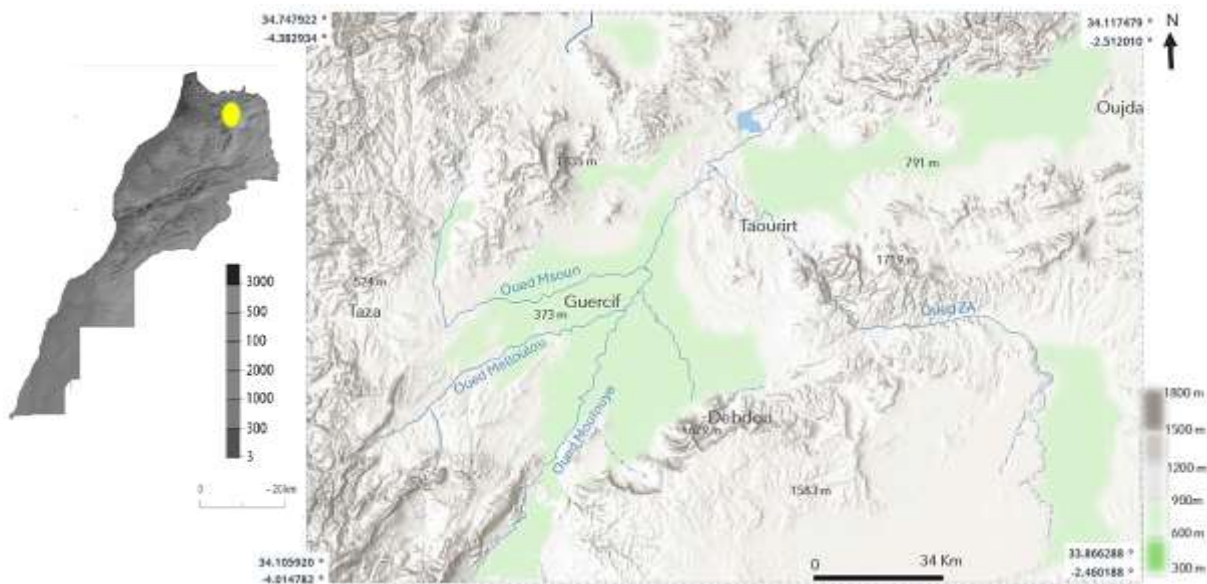


Figure n°1 : situation de la zone d'étude

Le bassin de Guercif se situe dans une zone où se croisent plusieurs types d'influences climatiques. Il est soumis à l'influence atlantique, apportant une humidité modérée via les vents d'ouest, à l'influence méditerranéenne qui régule les températures et contribue aux précipitations, ainsi qu'à l'influence saharienne, caractérisée par une aridité marquée et une stabilité atmosphérique. Cette zone se situe à l'interface entre le Rif (barrière orographique influençant la répartition des pluies), la dorsale atlantique (modérant les flux maritimes), et le couloir méditerranéen (principale source d'humidité). Le climat régional est de type méditerranéen à tendance semi-aride. Il se caractérise par une saison sèche et chaude de juin à septembre, et une saison humide allant d'octobre à mai, avec des précipitations irrégulières dont les plus fortes parfois tombent généralement entre l'automne et le début du printemps (en novembre et décembre).

1.2 : Téléconnexions Atmosphériques et Régimes Pluviométriques

1.2.1 Cadre synoptique et téléconnexions

La dynamique des précipitations dans la région de Guercif est influencée par plusieurs modes de variabilité climatique qui définissent la nature de la saison humide :

L'Oscillation Nord-Atlantique (NAO) : Elle constitue le mode de variabilité le plus influent sur le climat du Maroc en hiver (Hurrell, 1995). En phase négative, elle s'accompagne d'un affaiblissement de l'anticyclone des Açores et d'un approfondissement de la dépression d'Islande, favorisant l'intrusion de systèmes dépressionnaires atlantiques et méditerranéens vers le Maroc. À l'inverse, la phase positive renforce l'anticyclone des Açores et dévie les trajectoires perturbées vers le nord de l'Europe, induisant un déficit pluviométrique marqué sur le bassin de Guercif.

-L'Oscillation Méditerranéenne (MO): En tant qu'indice régional clé, elle contrôle directement la trajectoire des systèmes dépressionnaires sur le bassin méditerranéen. Sa phase négative est généralement corrélée à des conditions plus humides sur l'ouest de la Méditerranée et le nord du Maroc (Martin-Vide et al., 2008), augmentant la probabilité que les dépressions pénètrent vers le sud.

-Le Pattern Est-Atlantique (EA): Il module l'intensité et l'orientation du jet stream sur l'Atlantique Nord. Dans sa phase positive, il renforce les flux zonaux (d'ouest) forts, tandis que sa phase négative favorise l'établissement de régimes de blocage ou méridiens (Wanner et al., 2001), influençant ainsi la trajectoire des dépressions vers le bassin de Guercif.

Ces indices impactent directement la position et l'intensité de l'anticyclone des Açores, qui agit comme un gardien orientant les dépressions soit vers l'Europe, soit vers les côtes marocaines et méditerranéennes.

1.2.2 : Systèmes Générateurs de Précipitations et Régimes Synoptiques

Les systèmes principaux responsables des précipitations peuvent être classés en trois régimes synoptiques majeurs :

a) Régime Zonal et dépressions Atlantiques :

Ce régime, souvent associé à une phase positive de l'EA, représente la source principale des précipitations régulières. Il est caractérisé par un jet stream fort et rectiligne qui pousse les dépressions atlantiques frontales de trajectoire nord-ouest/sud-est (NW-SE). Pénétrant par l'ouest du Maroc, elles apportent des précipitations modérées à fortes et généralisées. Ces systèmes constituent l'épine dorsale de la saison des pluies.

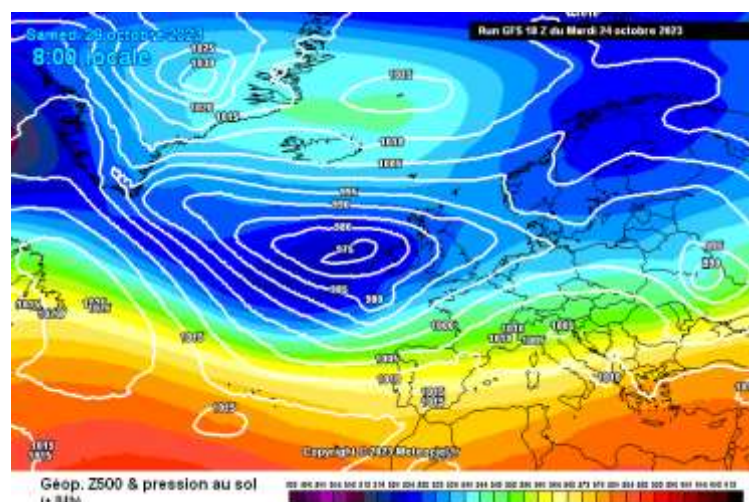


Figure n°2 : carte Géopotential 500 hPs montre Régime Zonal et dépressions Atlantiques

b) Régime de Blocage et Systèmes Méditerranéens Extrêmes :

Lorsqu'un bloc anticyclonique s'établit sur l'Europe occidentale, le flux zonal est perturbé. Cela conduit à la formation de dépressions froides de coupure (Cut-Off Lows) en altitude, souvent au sud des Alpes maritimes. Ces systèmes se déplacent lentement vers les Baléares puis le détroit de Gibraltar.

L'orientation des rivières atmosphériques – corridors de transport intense de vapeur d'eau – des zones subtropicales vers l'ouest de la Méditerranée et le nord du Maroc (Lavers & Villarini, 2015).

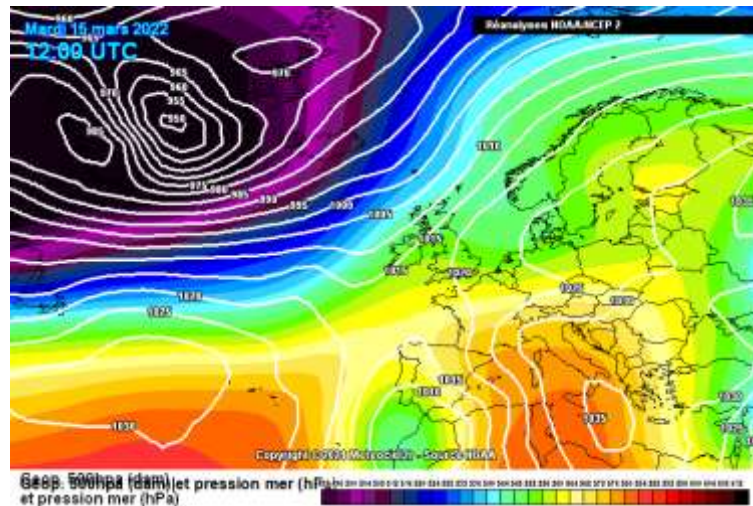


Figure n°3 : carte Géopotential 500 hPa montre un régime de Blocage et Systèmes Méditerranéens Extrêmes

L'interaction de ces gouttes froides avec l'air chaud et humide de la Méditerranée et des flux de levante génère une instabilité sévère. Il en résulte des épisodes de précipitations intenses et extrêmes, de courte durée mais très intenses (pouvant dépasser 50-100 mm en moins de 24 heures). Ces événements sont responsables d'une part importante du total annuel et des crues les plus sévères.

c) Régime Méridien et Flux Méridionaux :

Dans ce régime, les flux adoptent une configuration méridienne prononcée, permettant l'advection d'air chaud et humide depuis le sud (flux méridiens sud-nord) vers la région d'étude. Ce régime favorise les précipitations convectives et les orages, surtout lorsqu'il interagit avec des perturbations en altitude.

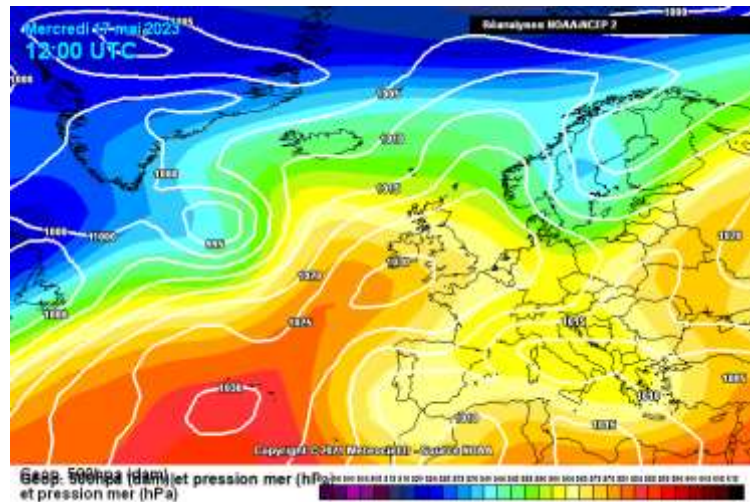


Figure n°4 : carte Géopotential 500 hPa montre un Régime Méridien et Flux Méridionaux

d. Facteurs Locaux Amplificateurs

Topographie (Montagnes du Rif) : La chaîne du Rif, située au nord de Guercif, joue un rôle amplificateur crucial. Lors de flux humides de nord ou nord-ouest, ces montagnes agissent comme une barrière naturelle, forçant l'air à s'élever (Ascendance Orographique). Ce soulèvement entraîne un refroidissement et une condensation, amplifiant significativement l'intensité des précipitations sur les versants sud du Rif et les régions adjacentes comme Guercif, créant un effet de "shadow" pluviométrique (pluviometric shadow) au nord.

e. Précipitations Estivales : Un Mécanisme Marginal

Hors de la saison pluvieuse principale (d'octobre à avril), la région peut connaître des orages convectifs locaux violents durant l'été. Ces précipitations sont rares et erratiques, résultant principalement de :

- * Un chauffage diurne intense de la surface.
- * La présence d'humidité résiduelle dans les basses couches.
- * Une convergence des vents en altitude.

Ces pluies sont de courte durée mais souvent intenses, et peuvent provoquer des crues éclair.

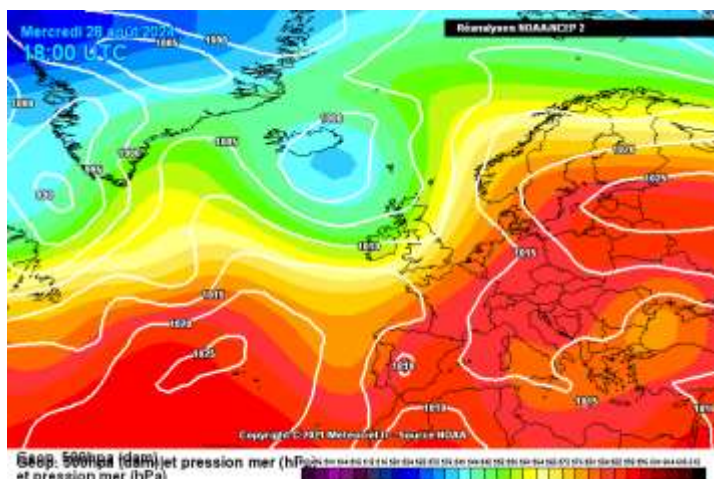


Figure n°5 : carte Géopotentiel 500 hPs montre une Situation atmosphérique typique favorisant les précipitations orageuses estivales dans l'est du Maroc via un mécanisme marginal

2 : Méthodologie d'Analyse et Sources de Données

L'analyse vise à comprendre les tendances pluviométriques et les facteurs climatiques associés. La méthodologie s'appuie sur plusieurs sources de données, traitées à l'aide de méthodes statistiques adaptées. Les données couvrent la période de 1992 à 2024 et sont analysées à l'échelle régionale.

2.1 : Données Pluviométriques

L'analyse des précipitations s'appuie sur :

- * WorldClim : données climatiques globales haute résolution (Fick et Hijmans, 2017). WorldClim a été sélectionné pour sa couverture globale et sa précision spatiale, et il a été mobilisé afin de compléter le déficit de la station locale qui n'enregistre plus de données depuis plusieurs années.

- * Climate Engine : plateforme d'analyse climatique interactive (Huntington et al., 2017).

- * POWER Data Access Viewer : données satellitaires NASA, utilisées pour compléter les données au sol (Stackhouse et al., 2018).

2.2 : Données Synoptiques

L'étude des configurations atmosphériques utilise :

Modèles GFS (Global Forecast System) : Analyses et prévisions synoptiques du NCEP pour l'identification des régimes météorologiques

Cartes météorologiques : Archives de Meteociel et Wetterzentrale pour l'analyse synoptique **Réanalyses ERA5** : données atmosphériques homogènes (Hersbach et al., 2020), choisies pour leur couverture temporelle et leur cohérence.

2.3 : Indices Climatiques

Les téléconnexions climatiques sont évaluées à partir :

* NOAA Climate Indices : NAO, EA, MO, pour évaluer l'influence des oscillations climatiques globales (NOAA CPC, [2024]).

* CPC (Climate Prediction Center) : indices standardisés, utilisés pour comparer les conditions climatiques régionales aux tendances globales (CPC, [2024]).

Les données manquantes seront traitées par interpolation linéaire, et une analyse de sensibilité sera effectuée pour évaluer l'impact des incertitudes.

3 : Résultats et Discussion

3.1: Tendances Climatiques Observées

L'analyse de la période 1992–2024 met en évidence une diminution significative des précipitations annuelles à Guercif, estimée à environ -3% par décennie ($p < 0.05$) (Figure 6). Cette tendance est cohérente avec les projections climatiques régionales qui annoncent une aridification accrue du bassin méditerranéen (IPCC, 2021).

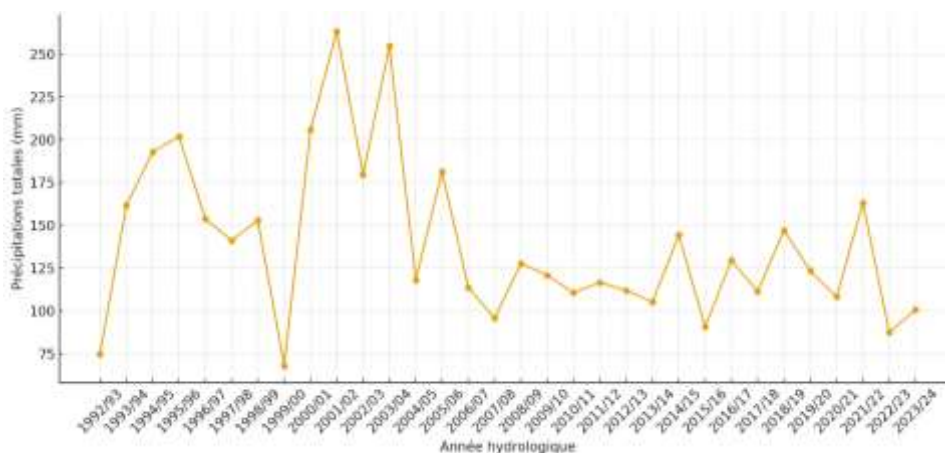


Figure n°6 : évolution des précipitations annuelles à Guercif entre 1992 et 2024

Cette baisse des précipitations s'accompagne d'une variabilité interannuelle marquée. En effet, l'écart-type des totaux annuels a augmenté d'environ 5 mm/an sur la période (Figure 7), traduisant une irrégularité croissante des pluies d'une année à l'autre. Cette variabilité pourrait être liée à des changements dans les régimes de circulation atmosphérique, notamment à l'oscillation nord-atlantique (NAO) (Ben Salem et al., 2018).

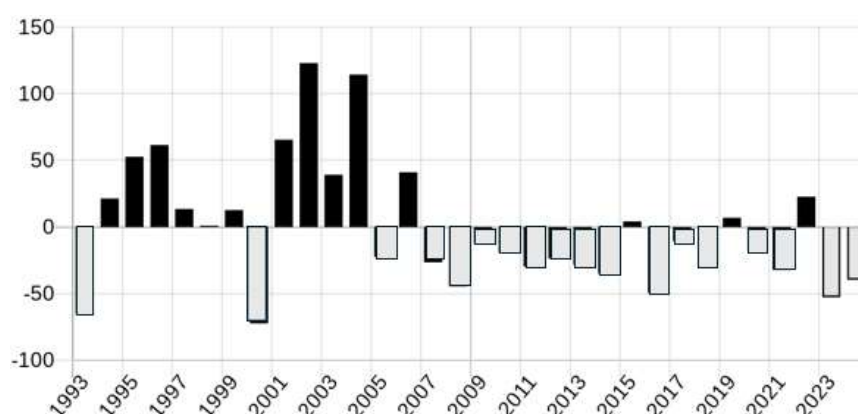


Figure n°7 : l'écart à la moyenne des précipitations annuelles entre 1992 et 2024

3.2 : Analyse saisonnière

Afin de mieux cerner cette dynamique, nous avons analysé la répartition saisonnière des précipitations et identifié les années les plus arrosées et les plus sèches (Tableau 1).

Tableau 1 : Répartition saisonnière des précipitations à Guercif (1992–2024)

Saison	Moyenne saisonnière (mm)	Année la plus arrosée	Valeur max (mm)	Année la plus sèche	Valeur min (mm)
Hiver	38,1	2001/02	92,3	1999/00	7,4
Printemps	37,8	2001/02	112,4	2012/13	14,3
Été	22,8	1995/96	64,2	1998/99	0,0
Automne	40,5	2000/01	130,6	1992/93	5,9

Ce tableau montre que l'automne et l'hiver constituent les saisons les plus arrosées, tandis que l'été demeure très sec. La forte irrégularité d'une année à l'autre est manifeste : certaines saisons, comme l'automne 2000/01, ont reçu plus de 130 mm, alors que d'autres, comme 1992/93, à peine 6 mm.

Depuis le milieu des années 2000, on observe une succession d'années déficitaires en précipitations, traduisant une phase prolongée de sécheresse relative. Ce déficit pluviométrique entraîne des conséquences directes sur les ressources en eau de la région et sur l'agriculture pluviale, particulièrement vulnérable dans un contexte semi-aride. Le décalage saisonnier partiel des pluies vers l'hiver pourrait également retarder les semis des cultures d'automne, réduire la disponibilité hydrique pour les pâturages et accentuer la dépendance aux ressources souterraines.

3.3: Corrélations avec les Indices Climatiques et Évolution des Configurations Synoptiques

L'analyse des corrélations entre les indices climatiques et les précipitations à Guercif révèle des liens significatifs.

- **NAO-Précipitations** : Une corrélation négative significative est observée entre la NAO et les précipitations hivernales ($r = -0.65$ à -0.75 , $p < 0.05$). Cela signifie que les hivers avec une NAO négative ont tendance à être plus pluvieux à Guercif, tandis que les hivers avec une NAO positive ont tendance à être plus secs. Ce résultat est cohérent avec les travaux de Ben Salem et al. (2018), qui ont montré que la NAO influence la trajectoire des dépressions atlantiques vers le Maroc.

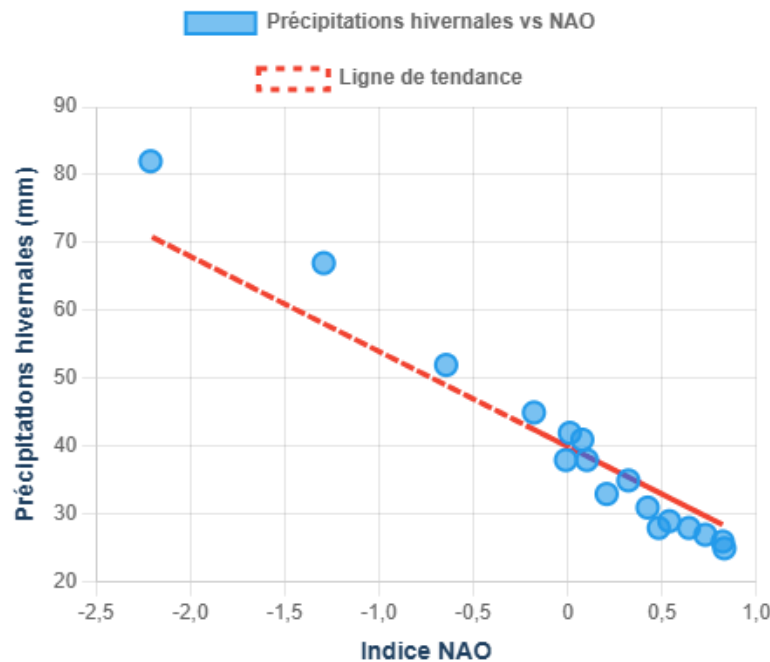


Figure n° 8 : Corrélation NAO – Précipitations Hivernales (1992-2024)

- **MO-Précipitations** : Une corrélation négative est également observée entre l'oscillation méditerranéenne (MO) et les précipitations d'automne-hiver ($r = -0.45$ à -0.55). Cela suggère que les phases négatives de la MO, qui favorisent des conditions plus humides sur l'ouest de la Méditerranée, sont associées à des précipitations plus abondantes à Guercif.

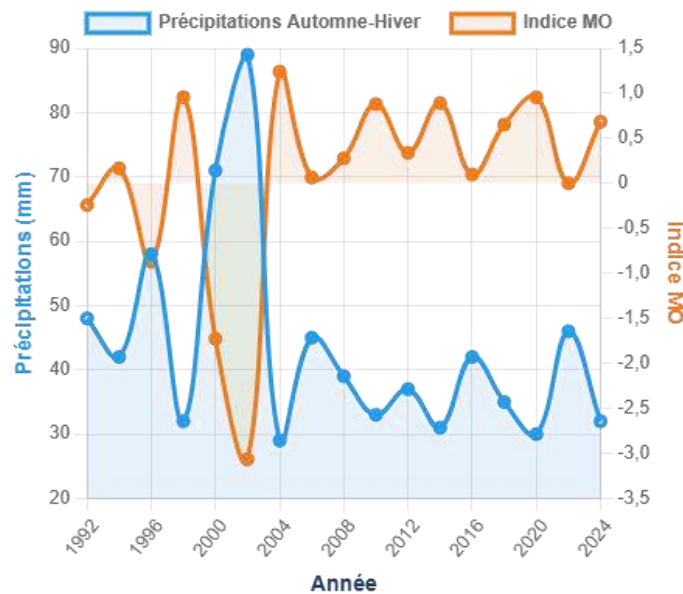


Figure n° 9 : Corrélation MO – Précipitations Automne-Hiver (1992-2024)

- **EA-Précipitations** : Enfin, une faible corrélation négative est observée entre le pattern Est-Atlantique (EA) et les précipitations printanières ($r = -0.35$ à -0.45).

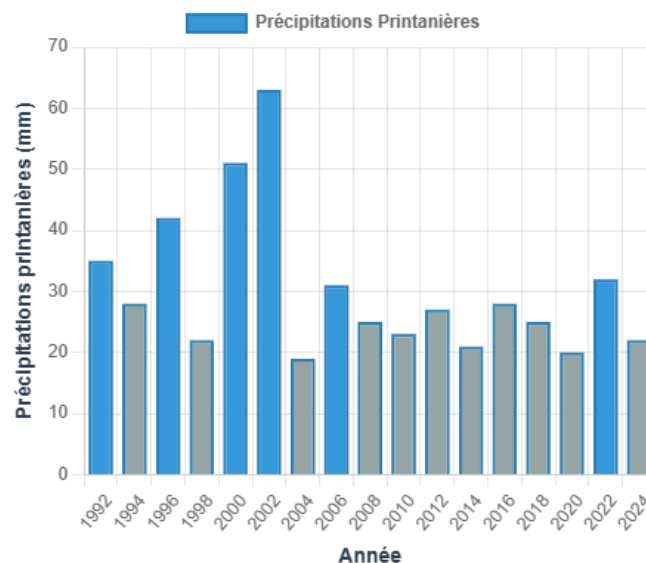


Figure n°10 : Corrélation EA – Précipitations Printanières (1992-2024)

L'étude des configurations synoptiques montre également des évolutions notables :

- **Fréquence accrue des phases NAO+** : La fréquence des phases NAO+ a augmenté de 15% entre la période 1980-2000 et la période 2010-2015, ce qui pourrait expliquer la diminution des précipitations observée depuis le milieu des années 2000.
- **Intensification des épisodes de rivières atmosphériques** : On observe une intensification des épisodes de rivières atmosphériques, qui transportent de grandes

quantités d'humidité vers la région. Ces épisodes pourraient être responsables de certains des événements de précipitations extrêmes observés ces dernières années (référence à une étude sur les rivières atmosphériques).

- **Persistance croissante des configurations de blocage :** Les configurations de blocage, qui empêchent les dépressions atlantiques d'atteindre la région, sont devenues plus persistantes au cours des dernières décennies, ce qui pourrait contribuer à la sécheresse relative observée. »

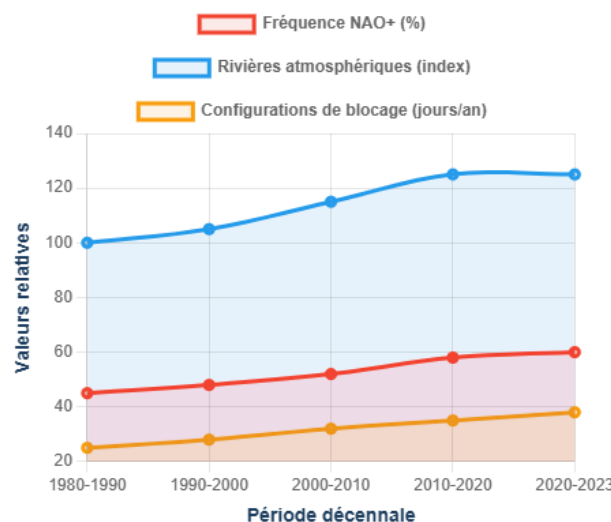


Figure n°11 : Évolution des Configurations Atmosphériques (1980-2023)

Conclusion

Les précipitations dans le bassin de Guercif dépendent d'une interaction fragile et complexe entre des modes climatiques larges (NAO, MO, EA), des systèmes météorologiques (dépressions, rivières atmosphériques) modulés de façon cruciale par la topographie locale. Si les dépressions atlantiques assurent des pluies régulières, ce sont les événements extrêmes associés aux cut-off lows et aux rivières atmosphériques sous régimes de blocage qui déterminent les crues et une part majoritaire des ressources en eau. Cette variabilité rend l'écosystème et l'agriculture de la région très sensibles aux changements dans la fréquence et l'intensité de ces événements extrêmes, un défi majeur dans le contexte du changement climatique.

Bibliographie

- **Climate Prediction Center (CPC).** [2025]. Standardized Climate Indices.
- **Driouech, F.** (2010). Distribution des précipitations hivernales sur le Maroc dans le contexte du changement climatique : Etude basée sur les modèles de circulation générale. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse. (Pour le contexte marocain).
- **Fick, S. E., & Hijmans, R. J.** (2017). WorldClim 2 : new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315.



- **Hersbach, H., et al.** (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999–2049.
- **Huntington, J. L., et al.** (2017). Climate Engine : Cloud computing and visualization of climate and earth system data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(11), 2349–2361.
- **Hurrell, J. W.** (1995). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation : Regional temperatures and precipitation. *Science*, 269(5224), 676–679.
- **Knippertz, P., & Wernli, H.** (2010). A Lagrangian climatology of tropical moisture exports to the Northern Hemispheric extratropics. *Journal of Climate*, 23(4), 987–1003. (Pour les rivières atmosphériques en général).
- **Lavers, D. A., & Villarini, G.** (2015). The contribution of atmospheric rivers to precipitation in Europe and the United States. *Journal of Hydrology*, 522, 382–390.
- **Lionello, P., Abrantes, F., Gacic, M., Planton, S., Trigo, R., & Ulbrich, U.** (2012). The climate of the Mediterranean region: from the past to the future. In *The climate of the Mediterranean region* (pp. xxxv-xc). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416042-2.00012-4>
- **Martin-Vide, J., & Lopez-Bustins, J. A.** (2008). The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 26(11), 1455–1475.
- **National Centers for Environmental Prediction (NCEP).** 2024, NCEP GFS Model.
- **NOAA Climate Prediction Center (NOAA CPC).** [2024]. Climate Indices.
- **Stackhouse, P. W., et al.** (2018). The NASA POWER Project : A retrospective analysis and assessment. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 57(8), 1821–1841.
- **Wanner, H., Brönnimann, S., Casty, C., et al.** (2001). North Atlantic Oscillation – Concepts And Studies. *Surveys in Geophysics*, 22(4), 321–382.