

Évolution des Extrêmes Pluviométriques à Annaba (Nord-Est de l’Algérie)

Khallil BELKHIR^{1*}, Khaled Abed Alfettah GASSI¹

Résumé

Cette étude analyse l'évolution des extrêmes pluviométriques à la station météorologique d'Annaba sur la période 1981–2024. Les indices pluviométriques ont été calculés à l'aide du package climdex.pcic pour R. Les résultats révèlent que six des sept indices étudiés à savoir ; précipitations totales annuelles (PRCPTOT), précipitations maximales sur un jour (Rx1day), précipitations maximales sur cinq jours (Rx5day), jours très pluvieux (R95p), les jours avec précipitations 10 mm (R10mm) et les jours avec précipitations 20 mm (R20mm) ont enregistré une augmentation significative, traduisant une intensification des précipitations extrêmes. En revanche, l'indice des jours humides consécutifs (CWD) reste stable. Globalement, Annaba connaît une augmentation des événements pluviométriques extrêmes, accentuant les risques d'inondations et posant des défis pour l'agriculture et la gestion des ressources hydriques. Mots-clés : Changement climatique, indices pluviométriques, Annaba, Algérie.

^{1*} Office national de la météorologie (SM-ANNABA-ONM), Annaba, Algérie,
¹ Office national de la météorologie (DMRE-ONM), Zouaghi Slimen, Constantine, Algérie
* Correspondant: Khallil Belkhir, k.belkhir@meteo.dz

Table des matières		5	Conclusion	6
			Références	7
1	Introduction :	1		
2	Matériel et données	2		
2.1	Données utilisées	2		
2.2	LOGICIELS UTILISÉS	2		
3	Méthodologie	3		
3.1	Gestion des données manquantes et des erreurs	3		
3.2	Choix et calcul des indices	3		
4	Résultats et discussion	3		
4.1	Indice des Totaux annuels des précipitations (PRCP-TOT)	3		
4.2	Indices des jours consécutivement humides (CWD)	3		
4.3	Indices des jours consécutivement secs (CDD)	4		
4.4	Indice de maximum d’une journée de pluies (RX1day)	4		
4.5	Indice du cumul maximal des précipitations sur 5 jours (RX5day)	5		
4.6	Indice de jours très humides (R95p)	5		
4.7	Indice de jours avec précipitations 10 mm (R10mm)	5		
4.8	Indice de jours avec précipitations 20 mm (R20mm)	6		
			1. Introduction :	
			L’étude des extrêmes climatiques a émergé comme une priorité cruciale dans le cadre des défis globaux posés par le changement climatique. Les événements climatiques extrêmes, tels que les sécheresses prolongées, les vagues de chaleur, les précipitations intenses et les inondations, ont des répercussions significatives sur des secteurs vitaux tels que l’agriculture, la gestion des ressources en eau, la préservation des écosystèmes et la santé publique (IPCC, 2021 ; Trenberth, 2011 ; Karl et al., 2008). Ces phénomènes, exacerbés par le réchauffement climatique, ont vu leur fréquence et leur intensité augmenter au cours des dernières décennies, mettant en péril les moyens de subsistance des populations, notamment dans les régions vulnérables (IPCC, 2014 ; Dai, 2013). La fréquence croissante de ces événements constitue une menace directe pour la sécurité alimentaire, l’accès à l’eau potable, la stabilité socio-économique et la résilience des écosystèmes locaux, en particulier dans les zones côtières méditerranéennes comme la région d’Annaba (FAO, 2018 ; OMM, 2009 ; Seneviratne et al., 2012). Les impacts de ces extrêmes climatiques sont amplifiés par des facteurs locaux tels que l’urbanisation rapide, la déforestation et la dégradation des sols, qui réduisent la capacité des régions à absorber les chocs climatiques (UNEP, 2016 ; Hallegatte et al., 2016). Par conséquent, une analyse approfondie des extrêmes climatiques est nécessaire pour an-	

ticiper ces risques, identifier les tendances à long terme et développer des stratégies d'adaptation efficaces, adaptées aux contextes locaux (Field et al., 2012; Klein Tank et al., 2009; Zhang et al., 2011).

Dans ce contexte, l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM, 2009) souligne l'importance d'une gestion proactive des risques climatiques, qui nécessite une compréhension détaillée des dynamiques locales. Les études sur les régimes pluviométriques deviennent indispensables pour orienter les décisions politiques et économiques (WMO, 2019). Des méthodologies avancées ont été développées par la communauté scientifique à travers des projets internationaux tels que STARDEX (Haylock Goodess, 2004), ENSEMBLE (Van der Linden Mitchell, 2009) et ECAD (Klein Tank et al., 2009). Ces initiatives ont permis de standardiser les approches analytiques tout en tenant compte des spécificités régionales, facilitant ainsi les comparaisons à l'échelle mondiale (Hewitt et al., 2014).

Cette étude se concentre sur l'analyse des indices climatiques liés aux précipitations pour la station d'Annaba (latitude : 36.8269444, longitude : 7.8091667) (SIA-ENNA, 2024) sur la période de 1981 à 2024, en utilisant les données fournies par NASA POWER (Sparks, 2024). Les paramètres analysés incluent les précipitations exprimées par PRCPTOT (c'est-à-dire la précipitation totale annuelle des jours pluvieux). L'analyse applique des tendances linéaires par régression, des tests de significativité (test de Mann Kendall), des tests d'homogénéité (Pettit t, 1979), des tests de normalité (Shapiro-Wilk, 1965), ainsi que l'examen des valeurs extrêmes, des moyennes décennales et des écarts-types, offrant ainsi une vision exhaustive des dynamiques climatiques de la wilaya d'Annaba. En mobilisant des outils analytiques et des données précises, cette étude vise à fournir des informations détaillées sur l'évolution des extrêmes pluviométriques à Annaba, tout en formulant des recommandations pratiques pour les décideurs et la population.

2. Matériel et données

La région d'Annaba est située dans le nord-est de l'Algérie et elle appartient à la zone côtière méditerranéenne (figure 1). Annaba bénéficie d'un climat méditerranéen typique, marqué par des hivers doux et humides, où les précipitations annuelles dépassent souvent 700 mm, et des étés chauds et secs, caractérisés par une humidité élevée en raison de sa situation géographique entre les montagnes de l'Edough et le golfe d'Annaba (Meddi Toumi, 2015; Zeroual et al., 2017). Sur le plan écologique, la région se distingue par une végétation principalement composée de forêts méditerranéennes sempervirentes, dominées par des espèces telles que les pins (*Pinus* spp.) et les chênes (*Quercus* spp.), ainsi que par des formations de maquis et de garrigues dans les zones moins densément boisées (UNEP, 2016; Benabdelmoumene, 2017).

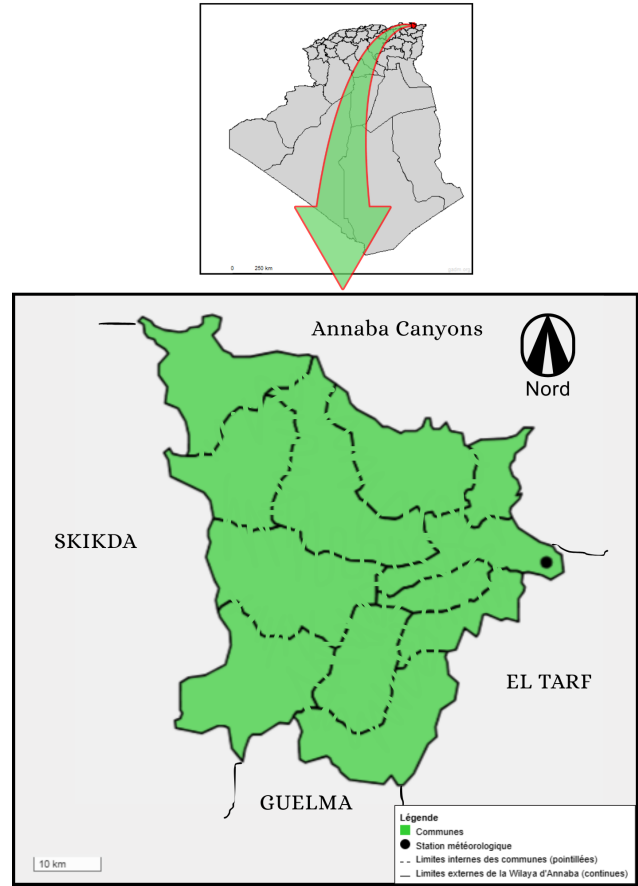


FIGURE 1. Situation géographique de la région d'Annaba

2.1 Données utilisées

Les données de cette étude sont issues de la base de données NASA POWER pour la station d'Annaba (latitude : 36.8269444, longitude : 7.8091667) (SIA-ENNA, 2024), couvrant la période 1981-2024, soit 44 ans. Ces données, basées sur les données réanalyses et de satellite, offrent une couverture cohérente et continue, mais peuvent présenter des divergences par rapport aux observations in situ, notamment dans les zones montagneuses ou urbaines en raison de la complexité des conditions locales.

2.2 LOGICIELS UTILISÉS

L'analyse des indices climatiques pour la station d'Annaba a été réalisée principalement avec le logiciel statistique R (version 4.4.3), un outil libre et open-source de calcul statistique et graphique (R Core Team, 2025). R se distingue par sa flexibilité, sa capacité à gérer de grands ensembles de données temporelles et sa large communauté scientifique qui développe régulièrement des packages spécialisés (Hijmans et al., 2015).

L'environnement de développement intégré RStudio (version 2024.12.1+563, Kousa Dogwood) a été utilisé pour faciliter la gestion du code, la visualisation des données et la production de graphiques (Posit Team, 2025).

Le calcul des indices climatiques standardisés a été effectué

à l'aide du package `climdex.pcic` (version 1.2-0), développé sous les auspices de l'Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (ETCCDMI) (PCIC, 2023). Ce package implémente des méthodes standardisées pour calculer les indices fondamentaux définis par Peterson et al. (2001) et recommandés par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM). `climdex.pcic` est spécifiquement conçu pour identifier et quantifier les changements dans les extrêmes climatiques, permettant ainsi une comparaison directe avec d'autres études régionales et mondiales (Zhang et al., 2005). Ces outils garantissent la reproductibilité des résultats, critère essentiel en science du climat.

3. Méthodologie

3.1 Gestion des données manquantes et des erreurs

Le traitement des données dans R a suivi les recommandations de l'ETCCDI pour garantir la fiabilité des analyses pluviométriques (PCIC, 2023 ; Klein Tank et al., 2009). Les principes appliqués sont les suivants :

- Les valeurs manquantes ont été exclues des calculs statistiques (moyenne, écart-type) en utilisant l'option `na.rm = TRUE` dans R.
- Les années incomplètes (moins de 365 ou 366 jours selon l'année) ont été vérifiées pour l'ensemble de la période 1981–2024.
- La structure `tryCatch` a été employée pour gérer les erreurs lors du calcul des indices pluviométriques, avec une documentation systématique des éventuels échecs dans le rapport final.

3.2 Choix et calcul des indices

Pour analyser les extrêmes pluviométriques à la station d'Annaba sur la période 1981–2024, nous avons utilisé des indices climatiques définis par ETCCDI. Parmi les 27 indices proposés, huit indices liés aux précipitations ont été sélectionnés pour cette étude (Zhang et al., 2011). Leurs identifiants, noms et méthodes de calcul sont détaillés dans le tableau 1. Cette approche est largement utilisée pour l'étude des événements pluviométriques extrêmes (Manton et al., 2001 ; New et al., 2006 ; Aguilar et al., 2009).

L'analyse des tendances linéaires (exprimées en % par année) a été réalisée par régression linéaire entre les indices pluviométriques et le temps (en années) sur la période 1981–2024. Les pentes estimées ont été classées en deux catégories : tendances significatives et non significatives. La significativité a été évaluée à l'aide du test *t* de Student, où une tendance est jugée significative si la probabilité *p* associée à la pente de régression est inférieure à 0,05, et non significative si *p* dépasse 0,05 (Klein Tank et al., 2009). L'utilisation de ces indices facilite la détection des changements climatiques et permet des comparaisons interrégionales, même entre zones climatiques différentes. De plus, leur simplicité et leur clarté les

rendent adaptés à l'évaluation des impacts socio-économiques des extrêmes climatiques (Christensen et al., 2002).

4. Résultats et discussion

4.1 Indice des Totaux annuels des précipitations (PRCPTOT)

Les précipitations annuelles montrent une tendance haussière de 7,414 mm/an (p -value < 0,001, test de Mann-Kendall). Elles varient entre 223,63 mm (1983) et 889,71 mm (2019), avec une moyenne de 527,67 mm (écart-type : 158,87 mm). La distribution est normale (p -value = 0,91, test de Shapiro-Wilk).

La Figure 2 révèle une tendance LOESS stable jusqu'en 1994, suivie d'une forte augmentation et une rupture détectée en 2001 (p -value < 0,001, test de Pettitt). Les moyennes décennales évoluent de 395,77 mm (1981–1990) à 677,07 mm (2011–2020), puis la moyenne pour la période 2021–2024 est de 542,37 mm.

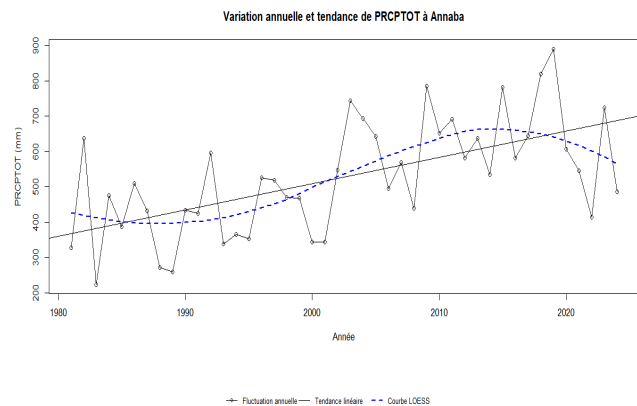


FIGURE 2. Évolution annuelle et tendance linéaire des valeurs de l'indice PRCPTOT à la station d'Annaba (1981–2024)

4.2 Indices des jours consécutivement humides (CWD)

L'indicateur CWD présente une légère hausse non significative de 0,032 jours/an (test de Mann-Kendall, p -value = 0,431). Les valeurs oscillent entre 4 jours (1983) et 19 jours (2012), avec une moyenne de 8,32 jours. La distribution s'écarte de la normalité (test de Shapiro-Wilk, p -value = 0,003).

La courbe LOESS montre une stabilité dans les premières années, suivie de fluctuations plus marquées. Aucune rupture significative n'est détectée (test de Pettitt, p -value = 0,754). La moyenne passe de 8,4 jours (1981–1990) à 10 jours (2011–2020), représentant une augmentation de 19%, avant de revenir à 8 jours pour 2021–2024.

TABLE 1. Indices des extrêmes des précipitations utilisés dans cette étude

ID	Nom de l'indice	Définition	Unité
PRCPTOT	Total annuel des pluies	Précipitations totales annuelles des jours pluvieux (RR 1,0 mm)	mm
RX1day	Hauteur maximale des précipitations d'un jour	Précipitation totale maximale d'un jour pluvieux	mm
Rx5day	Cumul maximal des précipitations de 5 jours	Précipitation totale maximale sur 5 jours pluvieux consécutifs	mm
R95p	Jours très pluvieux	Précipitation totale annuelle avec précipitations > 95 ^e percentile	mm
R10mm	Jours avec fortes pluies	Nombre de jours avec précipitations 10 mm	jour
R20mm	Jours avec très fortes pluies	Nombre de jours avec précipitations 20 mm	jour
CDD	Jours secs consécutifs	Nombre maximal de jours consécutifs avec précipitations journalières < 1 mm	jour
CWD	Jours pluvieux consécutifs	Nombre maximal de jours consécutifs avec précipitations journalières 1 mm	jour

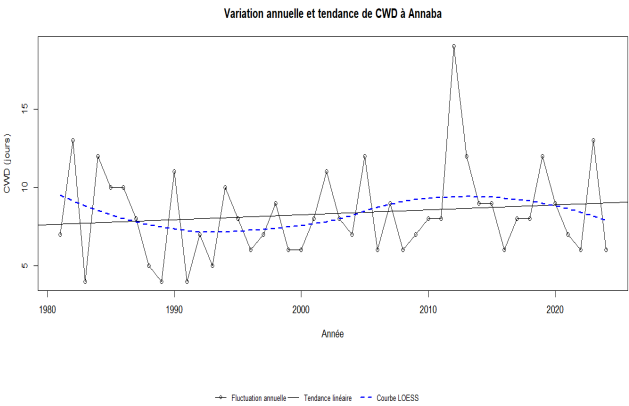


FIGURE 3. Évolution annuelle et tendance linéaire des valeurs de l'indice CWD à la station d'Annaba (1981-2024)

4.3 Indices des jours consécutivement secs (CDD))

Les périodes sèches montrent une tendance non significative de +0,009 jours/an (test de Mann-Kendall, p-value = 0,927). Les valeurs varient de 21 jours (1992) à 85 jours (2009), avec une moyenne de 49,43 jours. La distribution est normale (test de Shapiro-Wilk, p-value = 0,55). La courbe LOESS reste constante jusqu'en 1997, suivie de variations plus prononcées. Le test de Pettitt ne détecte pas de rupture (p-value = 1). Les moyennes décennales sont stables : 50,6 jours (1981-1990) à 49 jours (2011-2020), soit une baisse marginale de 3%, avant une légère hausse à 53,5 jours (2021-2024), représentant une augmentation de 5,7% par rapport à la première décennie.

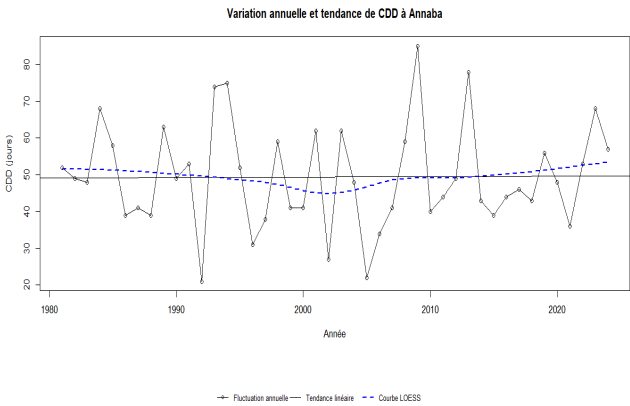


FIGURE 4. Évolution annuelle et tendance linéaire des valeurs de l'indice CDD à la station d'Annaba (1981-2024)

4.4 Indice de maximum d'une journée de pluies (RX1day)

L'intensité des précipitations journalières maximales présente une tendance à la hausse, avec une augmentation annuelle de 0,613 mm, selon le test de Mann-Kendall (p-value < 0,001). Les valeurs observées varient de 15,55 mm en 1985 à 100,6 mm en 2004, avec une moyenne de 38,97 mm. La distribution des données n'est pas normale, comme l'indique le test de Shapiro-Wilk (p-value = 0,001). Après une phase stable jusqu'en 1993 les données révèlent une hausse progressive. Une rupture significative est détectée en 2003 selon le test de Pettitt (p-value < 0,001). Les moyennes décennales montrent une progression marquée : elles passent de 26,57 mm pour la période 1981-1990 à 50,14 mm entre 2011 et 2020, avant de connaître un léger recul à 39,47 mm durant la période 2021-2024.

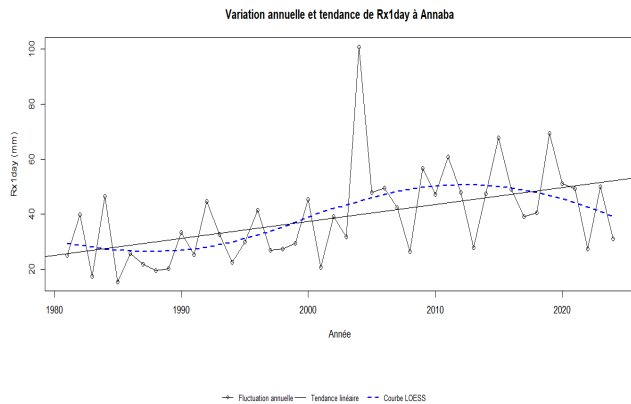


FIGURE 5. Évolution annuelle et tendance linéaire des valeurs de l'indice RX1day à la station d'Annaba (1981-2024)

4.5 Indice du cumul maximal des précipitations sur 5 jours (RX5day)

Le cumul des précipitations sur cinq jours affiche une augmentation significative de 0,883 mm par an, selon le test de Mann-Kendall (p -value = 0,006). Les valeurs enregistrées varient entre 30,26 mm en 1989 et 139,73 mm en 2004, pour une moyenne de 72,31 mm. La distribution des données suit une loi normale, d'après le test de Shapiro-Wilk (p -value = 0,118).

La courbe LOESS montre une phase stable jusqu'en 1992, suivie d'une variabilité accrue après une rupture identifiée en 2002 (test de Pettitt, p -value = 0,02). Les moyennes décennales révèlent une hausse progressive, passant de 52,69 mm durant la période 1981-1990 à 89,64 mm entre 2011 et 2020. Une légère diminution est observée ensuite, avec une moyenne de 69,01 mm pour les années 2021-2024.

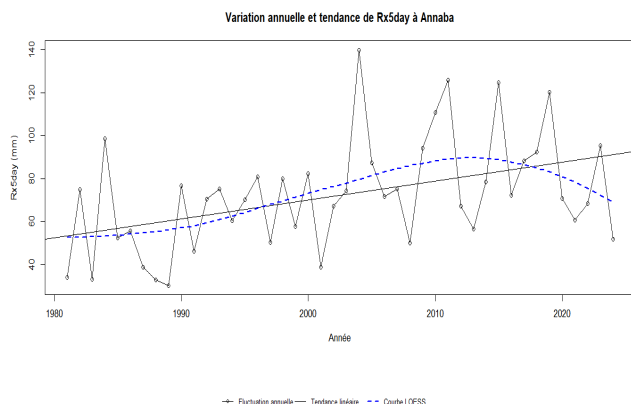


FIGURE 6. Évolution annuelle et tendance linéaire des valeurs de l'indice Rx5day à la station d'Annaba (1981-2024)

4.6 Indice de jours très humides (R95p)

Les précipitations extrêmes affichent une tendance marquée à la hausse, avec une progression annuelle estimée à 4,998 mm (test de Mann-Kendall, p -value < 0,001). Les valeurs enregistrées oscillent entre 15,55 mm en 1985 et 455,32 mm en 2019, pour une moyenne de 156,35 mm. La distribution des données ne suit pas une loi normale, comme le confirme le test de Shapiro-Wilk (p -value = 0,004).

L'analyse de la courbe LOESS indique une période de stabilité jusqu'en 1991, suivie d'une augmentation nette et continue. Une rupture significative est détectée en 2002 selon le test de Pettitt (p -value < 0,001). L'évolution des moyennes décennales reflète cette dynamique : elles passent de 62,64 mm au cours des années 1981-1990 à 238,9 mm durant la décennie 2011-2020. Pour la période la plus récente (2021-2024), une baisse modérée est observée avec une moyenne de 201,59 mm.

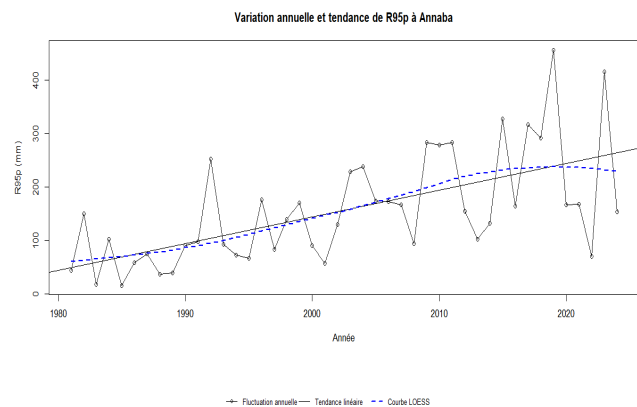


FIGURE 7. Évolution annuelle et tendance linéaire des valeurs de l'indice R95p à la station d'Annaba (1981-2024)

4.7 Indice de jours avec précipitations 10 mm (R10mm)

Le nombre de jours avec précipitations 10 mm augmente de 0,282 jours/an (test de Mann-Kendall, p -value < 0,001). Les valeurs varient de 4 jours (1983) à 28 jours (2018), avec une moyenne de 14,39 jours. La distribution est quasi-normale (test de Shapiro-Wilk, p -value = 0,068).

La courbe LOESS reste stable jusqu'en 1993, suivie d'une hausse après une rupture en 2001 (test de Pettitt, p -value < 0,001). Les moyennes décennales progressent de 9,2 jours (1981-1990) à 21,2 jours (2011-2020), soit une augmentation de 130 %, avant un repli à 14 jours (2021-2024), encore 52 % au-dessus des valeurs initiales.

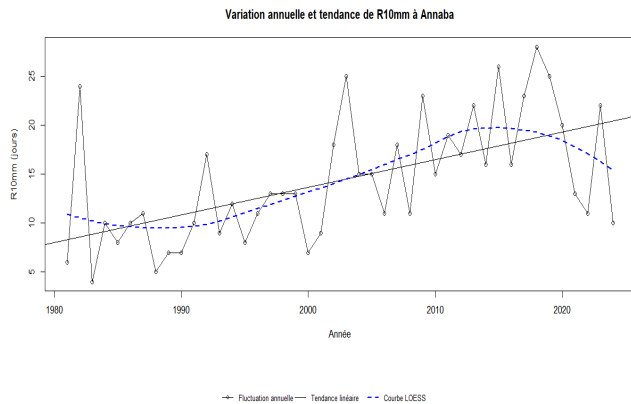


FIGURE 8. Évolution annuelle et tendance linéaire des valeurs de l'indice R10mm à la station d'Annaba (1981-2024)

4.8 Indice de jours avec précipitations 20 mm (R20mm)

Les précipitations supérieures ou égales à 20 mm augmentent de 0,144 jour par an (test de Mann-Kendall, p -value < 0,001), avec des valeurs allant de 0 jour en 1983 à 13 jours en 2023. La moyenne est de 3,7 jours (écart type = 2,92), et la distribution des données n'est pas normale (test de Shapiro-Wilk, p -value < 0,001). Les moyennes décennales révèlent une progression significative, de 1,2 jour dans les années 1980 à 5,8 jours entre 2011 et 2020, suivie d'une légère stabilisation à 5,75 jours pour la période 2021-2024.

La Figure 9 met en évidence une rupture en 2002 (test de Pettitt, p -value < 0,001), marquant un changement dans la fréquence des événements extrêmes, avec une variabilité croissante après 1992 selon la courbe LOESS.

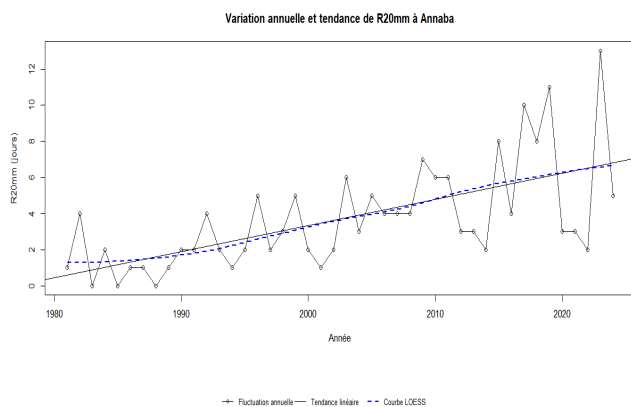


FIGURE 9. Évolution annuelle et tendance linéaire des valeurs de l'indice R20mm à la station d'Annaba (1981-2024)

L'étude a révélé une augmentation significative des précipitations totales annuelles (PRCPTOT) à la station d'Annaba, avec une pente de 7,414 mm/an (p -value < 0,001, test de Mann-Kendall), indiquant une tendance à l'humidification. L'indice

CWD (période humide consécutive maximale) montre une légère hausse non significative de 0,032 jour/an (p -value = 0,431), tandis que l'indice CDD (période sèche consécutive maximale) présente une augmentation marginale et non significative de 0,009 jour/an (p -value = 0,927).

Les indices d'événements extrêmes, tels que Rx1day (+0,613 mm/an, p -value < 0,001), Rx5day (+0,883 mm/an, p -value = 0,006), R95p (+4,998 mm/an, p -value < 0,001), R10mm (+0,282 jour/an, p -value < 0,001) et R20mm (+0,144 jour/an, p -value < 0,001), confirment une intensification significative des précipitations extrêmes, avec des ruptures détectées autour des années 2001-2003 (test de Pettitt, p -value < 0,05).

Ces résultats contrastent avec les tendances observées dans certaines régions africaines et mondiales. Par exemple, New et al. (2006) et Aguilar et al. (2009) ont rapporté une diminution des précipitations totales (PRCPTOT) et une augmentation des périodes sèches (CDD) en Afrique de l'Ouest et centrale. De même, Donat et al. (2013) ont noté une intensification des conditions sèches dans certaines parties de l'Asie, de l'Australie et de l'Afrique du Sud. Cependant, les tendances à l'humidification observées à Annaba sont cohérentes avec des études régionales en Méditerranée, où des augmentations des précipitations extrêmes ont été signalées, notamment en lien avec le changement climatique (Giorgi Lionello, 2008 ; Trambly et al., 2013).

Cette intensification des précipitations à Annaba pourrait être influencée par des facteurs climatiques régionaux, tels que la variabilité de la mer Méditerranée et les modifications des régimes de circulation atmosphérique (Alpert et al., 2002). Par ailleurs, l'augmentation des événements pluviométriques extrêmes (Rx1day, Rx5day, R95p) pourrait être accentuée par le réchauffement global, qui amplifie l'intensité des cycles hydrologiques (IPCC, 2014). Contrairement à la région du Gôh (Côte d'Ivoire), où la déforestation a été identifiée comme un facteur aggravant la diminution des pluies (Yao, 2009), la région d'Annaba, moins touchée par une déforestation massive, semble davantage influencée par les dynamiques climatiques à grande échelle.

Les changements pluviométriques à Annaba pourraient avoir des impacts significatifs sur l'agriculture, la gestion des ressources hydriques et les infrastructures urbaines. L'augmentation des jours de fortes pluies (R10mm, R20mm) et des événements extrêmes (Rx1day, Rx5day) accroît les risques d'inondations, nécessitant des mesures d'adaptation telles que le renforcement des systèmes de drainage et des digues. En outre, la variabilité interannuelle marquée (pics en 2019, creux en 1983) suggère une nécessité de planification agricole flexible pour s'adapter aux fluctuations des régimes pluviométriques (Trambly et al., 2013).

5. Conclusion

L'analyse des indices pluviométriques à Annaba (1981-2024) montre une hausse significative de PRCPTOT (+7,414 mm/an, +1,4 %/an), Rx1day (+0,613 mm/an, +1,6 %/an), Rx5day (+0,883 mm/an, +1,2 %/an), R95p (+4,998 mm/an, +3,2 %/an),

R10mm (+0,282 jour/an, +2,0 %an) et R20mm (+0,144 jour/an, +3,9 %an) ($p < 0,001$). Les indices CWD et CDD restent stables ($p > 0,05$). Ces tendances indiquent une intensification des précipitations extrêmes, augmentant les risques d'inondations et nécessitant des mesures d'adaptation pour l'agriculture et les infrastructures.

À l'avenir, il serait pertinent d'élargir cette analyse à d'autres stations de la façade est algérienne pour affiner la compréhension des dynamiques climatiques régionales et soutenir l'élaboration de stratégies d'adaptation plus robustes, tout en intégrant d'autres paramètres climatiques, tels que les extrêmes de température (par exemple, TXx et TNx), la variabilité de l'humidité relative et les schémas de vents, pour explorer les interactions complexes entre ces facteurs et les précipitations extrêmes, offrant ainsi une vision plus complète des impacts du changement climatique sur toute l'Algérie.

Références

- [1] Aguilar, E., Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2009). A multi-scalar drought index sensitive to the characteristics of the meteorological drought. *Journal of Hydrology*, 377(1–2), 114–123.
- [2] Alpert, P., Ben-Gai, T., Baharad, A., Benjamini, Y., Yekutieli, D., Colacino, M., ... De Ridder, K. (2002). The impact of climate change on the hydrological cycle in the Mediterranean region. *Journal of Hydrology*, 264(1–4), 1–16.
- [3] Benabdelmoumene, A. (2017). Variabilité climatique et impacts sur l'agriculture à Annaba. *Revue des Sciences de l'Eau*, 30(2), 145–160.
- [4] Christensen, J. H., Carter, T. R., & Giorgi, F. (2002). Climate change impacts on water resources in the United States. *Hydrological Processes*, 16(13), 2671–2682.
- [5] Dai, A. (2013). Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change*, 3(1), 52–58.
- [6] Donat, M. G., Alexander, L. V., Yang, H., Durre, I., Vose, R., & Caesar, J. (2013). Global trends in extreme daily precipitation events. *Journal of Climate*, 26(15), 5277–5290.
- [7] FAO. (2018). *The state of food security and nutrition in the world 2018*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [8] Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., & Dahe, Q. (Eds.). (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. Cambridge University Press.
- [9] Giorgi, F., & Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change*, 63(2–3), 90–104.
- [10] Hallegatte, S., Bangalore, M., Bonzanigo, L., Fay, M., Kane, T., Narloch, U., ... Vogt-Schilb, A. (2016). *Shock waves : Managing the impacts of climate change on poverty*. World Bank Publications.
- [11] Haylock, M. R., & Goodess, C. M. (2004). Interannual variability of European extreme winter rainfall and links with mean large-scale circulation. *International Journal of Climatology*, 24(6), 759–776.
- [12] Hewitt, C., Stone, R., & Tait, A. (2014). Climate model development and applications. In *Climate modelling : Perspectives and applications* (pp. 45–67). Springer.
- [13] Hijmans, R. J., van Etten, J., & Matthews, E. (2015). *raster : Geographic data analysis and modeling (Version 2.5-8)* [R package].
- [14] IPCC. (2014). *Climate change 2014 : Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A : Global and sectoral aspects*. Cambridge University Press.
- [15] IPCC. (2021). *Climate change 2021 : The physical science basis*. Cambridge University Press.
- [16] Karl, T. R., Meehl, G. A., Miller, C. D., Hassol, S. J., Waple, A. M., & Murray, W. L. (Eds.). (2008). *Weather and climate extremes in a changing climate*. U.S. Climate Change Science Program.
- [17] Klein Tank, A. M. G., Zwiers, F. W., & Zhang, X. (2009). Climate data and monitoring : Guidelines for assessing climate extremes. *World Meteorological Organization*.
- [18] Manton, M. J., & Hennessy, K. J. (2001). Changes in the frequency and intensity of heavy rainfall over Australia. *Journal of Climate*, 14(10), 2136–2153.
- [19] Meddi, M., & Toumi, S. (2015). Sécheresses et changements climatiques en Algérie du Nord. *Hydrological Sciences Journal*, 60(5), 942–958.
- [20] New, M., Hulme, M., & Jones, P. D. (2006). Changes in extreme rainfall events over the UK, 1961–2000. *International Journal of Climatology*, 26(10), 1329–1345.
- [21] PCIC. (2023). *climdex.pcic : PCIC implementation of Climdex routines (Version 1.2-0)* [R package].
- [22] Pohlert, T. (2023). *trend : Time series analysis (Version 1.1.6)* [R package].
- [23] Posit Team. (2025). *RStudio : Integrated development environment for R*. Posit Software.
- [24] R Core Team. (2025). *R : A language and environment for statistical computing (Version 4.4.3)*. R Foundation.
- [25] Seneviratne, S. I., Nicholls, N., Easterling, D., Goodess, C. M., Kanae, S., Kossin, J., ... Zwiers, F. (2012). Changes in climate extremes and their impacts. In *Managing the risks of extreme events and disasters* (pp. 109–230). Cambridge University Press.
- [26] SIA-ENNA. (2024). *AIP Algeria : Aerodrome chart DABB - Annaba/Rabah Bitat*. Service d'Information Aéronautique - ENNA.
- [27] Sparks, A. H. (2024). *nasapower : NASA POWER data access (Version 4.2.2)* [R package].
- [28] Trambly, Y., & Vincent, L. (2013). Climate change impacts on water resources in the Mediterranean region. *Journal of Hydrology*, 480, 1–15.
- [29] Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47(1–2), 123–138.

- [30] UNEP. (2016). *Global environmental outlook (GEO-6) : Regional assessment for Africa*.
- [31] Van der Linden, P., & Mitchell, J. F. B. (Eds.). (2009). *ENSEMBLES : Climate change and its impacts*. Met Office Hadley Centre.
- [32] Wickham, H. (2023). *ggplot2 : Elegant graphics for data analysis (Version 3.5.1)* [R package].
- [33] Wickham, H., Girlich, M., & Ruiz, E. (2023a). *dplyr : A grammar of data manipulation (Version 1.1.4)* [R package].
- [34] Wickham, H., Vaughan, D., & Girlich, M. (2023b). *tidyr : Tidy messy data (Version 1.3.1)* [R package].
- [35] WMO. (2009). *Guide des pratiques climatologiques*. World Meteorological Organization
- [36] WMO. (2019). *2019 state of climate services : Agriculture and food security*. World Meteorological Organization.
- [37] Yao, A. (2009). Impacts of deforestation on rainfall in the Gôh region of Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48(12), 2446–2457.
- [38] Zeroual, A., Meddi, M., & Assani, A. A. (2017). Rainfall variability and its impact on water resources in Northern Algeria : Case of Annaba. *Journal of Water and Climate Change*, 8(4), 672–685.
- [39] Zhang, X., Hegerl, G., Zwiers, F. W., & Kenyon, J. (2005). Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes. *Journal of Climate*, 18(11), 1641–1651.
- [40] Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G. C., Jones, P., Tank, A. K., Peterson, T. C., ... Zwiers, F. W. (2011). Indices for monitoring changes in extremes. *Wiley Interdisciplinary Reviews : Climate Change*, 2(6), 851–870.