

Evolution récente des températures moyennes en Algérie

Mahmoud HAOUARI^a

Résumé

Cette étude examine l'évolution récente des températures moyennes en Algérie sur la période la plus récente de 1990 à 2023, coïncidant avec un réseau d'observations plus étendu qu'avant 1990 d'une part, et la période la plus chaude jamais observée sur la planète, d'autre part. Étant donné que l'Algérie est un vaste pays, cette évolution est étudiée dans cinq régions climatiques homogènes du point de vue de la température moyenne. Bien que le réchauffement observé sur la planète soit également observable en Algérie, il ne se produit pas de la même manière dans l'ensemble du pays et à l'intérieur des cinq régions ainsi définies.

Mots-clés : Surveillance du climat, réchauffement, Algérie, période récente.

^aIngénieur en Météorologie

Table des matières

1	Introduction :	1
2	Matériel et Méthodologie	1
2.1	Données utilisées	1
2.2	Pré-traitement des données	2
2.3	Homogénéisation des séries mensuelles	2
2.4	Calcul des normales mensuelles, annuelles et l'anomalie thermique	2
3	Régionalisation des températures mensuelles moyennes	2
4	Résultats et Discussion	4
4.1	Analyse globale	4
4.2	Analyse régionale	5
5	Conclusion	7
	Références	8

1. Introduction :

Le 12 janvier dernier l'OMM (OMM 2024), a officiellement confirmé que 2023 est de loin l'année la plus chaude jamais enregistrée. La température moyenne mondiale de 2023 dépasse les valeurs préindustrielles de 1.45 °C . Les mois de Juillet et août ont été les deux mois les plus chauds jamais enregistrés. Depuis les années 1980, chaque décennie est plus chaude que la précédente. Ces neuf dernières années ont été les plus chaudes jamais observées (figure 1), selon l'OMM (OMM, 2024). L'objectif de cette étude tente d'analyser les séries de température moyennes de l'Algérie sur la période la plus récente (1990-2023) pour pouvoir répondre aux questions suivantes :

- Ce réchauffement est-il observable dans notre pays?
- Est-il en conformité avec la tendance planétaire?
- Toutes les régions du pays se comportent elles de la même manière?

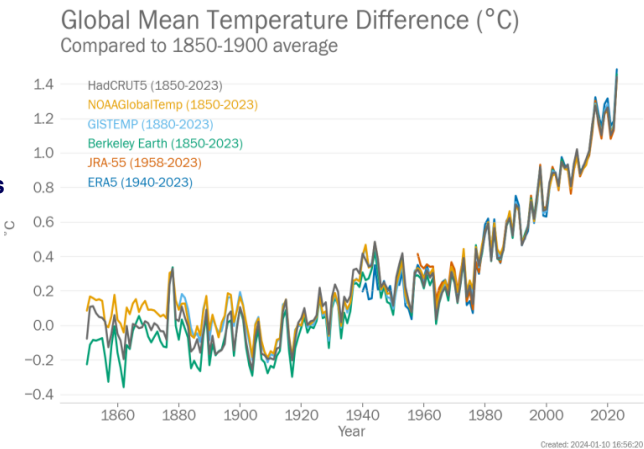


FIGURE 1. Evolution de l'anomalie thermique mondiale en (°C) par rapport à la normale 1850-1900 (source OMM, 2024)

2. Matériel et Méthodologie

2.1 Données utilisées

Les données utilisées proviennent du réseau professionnel de l'ONM, sous formes de séries mensuelles de la température maximale moyenne et de la température minimale moyenne sur la période la plus récente entre 1990 à 2023. Les séries de données ont été sélectionnées suivant le nombre d'années disponibles sur la période 1990-2023. Ces

séries contiennent moins de 5% de données manquantes ou rejetées par le contrôle de qualité.

2.2 Pré-traitement des données

Les données ont été validées par un contrôle de qualité qui identifie les valeurs aberrantes, puis procède à leur correction. Les données manquantes ont été rattrapées par une méthode d'imputation multiple basée sur l'analyse en composante principale (Josse J et al. (2011) et Josse J et al. (2012)) en utilisant le package missMDA (Josse J et al. (2016)) sous le langage R (R Core Team (2023)).

2.3 Homogénéisation des séries mensuelles

Les séries d'observations climatologiques sont souvent contaminées par des événements artificiels (urbanisation, changements de méthodes de mesure...etc.) qui introduisent des erreurs dans l'estimation de la variabilité naturelle du climat d'un lieu ou d'une région donnée. Pour résoudre ce problème, plusieurs méthodes sous forme d'algorithmes ont été développées pour rendre homogène ces séries. Une revue de ces méthodologies sont décrites dans les travaux de Peterson et al. (1998) et Aguilar et al. (2003).

Il existe un ensemble de packages et logiciels résumés dans la page web [disponibles pour les climatologues qui permettent d'appliquer des procédures d'homogénéisation des séries climatologiques.

Pour notre part, nous avons utilisé le package climatol (<https://CRAN.R-project.org/package=climatol>) qui possède des fonctions pour la visualisation graphique, le contrôle de qualité, le comblement des valeurs manquantes et surtout l'homogénéisation des variables climatologiques. Notre choix est motivé par sa simplicité d'utilisation, sa documentation riche et surtout sa maintenance et sa mise à jour régulière. Ces fonctions sont décrites dans Guijaro JA (2023a).

La méthode de climatol est fortement dépendante des séries de différence entre les séries candidates et les séries de références. Elle est basée sur l'application du test SNHT (Standard Normal Homogenization Test (Alexandersson and Moberg, 1997) pour détecter les ruptures d'homogénéités dans les séries d'observations. Les séries des différences sont estimées par une moyenne pondérée par les stations les plus proches et les plus corrélées aux séries de références. La fiabilité de l'homogénéisation et du rattrapage des données manquantes est fortement liée à la corrélation. Le processus débute par la normalisation des séries brutes et la construction des séries de références (jusqu'à dix, si disponible) pour chaque série candidate, mais il n'utilise que quatre pour la correction des séries hétérogènes. Ce processus est itératif, jusqu'à la correction de toutes les ruptures (Guijaro JA (2023b)). Ainsi, les séries mensuelles de température maximales et minimales sur la période 1990-2023, validées et complétées ont été homogénéisées avec les fonctions de climatol.

2.4 Calcul des normales mensuelles, annuelles et l'anomalie thermique

Une fois, les séries ont été complétées (sans lacunes) et homogénéisées, nous avons calculés les normales mensuelles des températures maximales et minimales sur la dernière période de référence 1991-2020, en respectant les recommandations de l'OMM (WMO(2017)). Ces séries ainsi obtenues serviront aux calculs des anomalies de la température moyenne.

Enfin, l'anomalie thermique d'une année donnée est calculée comme la différence entre sa température moyenne et sa normale (1991-2020).

3. Régionalisation des températures mensuelles moyennes

Comme l'Algérie est un vaste pays aux climats contrastés, il était important d'examiner l'évolution des températures moyennes sur les différentes régions climatiquement homogènes du point de vue des températures moyennes mensuelles. A cet effet, la classification hiérarchique ascendante avec le choix d'une distance euclidienne comme mesure de proximité entre les individus (stations) et comme critère d'agrégation, la méthode de Ward qui permet d'obtenir des classes de plus en plus compactes et de plus en plus éloignées entre-elles, c'est à dire qui minimise la distance intra-classe et maximise les distances inter-classes (Everitt.B (1974) et Hartigan.J.A (1975)).

Les résultats (figure 2), montrent que deux types de climat divisant l'Algérie entre le nord et le sud se dégagent d'une façon évidente, confirmée par la majorité des indices statistiques qui mesurent la qualité de la classification.

Par contre, notre choix en tant que climatologue, s'est porté sur une régionalisation plus fine en cinq classes (figure 3). Ce choix est conforté d'une part par la répartition géographique logique des classes (figure 3), et d'autre part, par le tableau N°1 des statistiques de chaque classe.

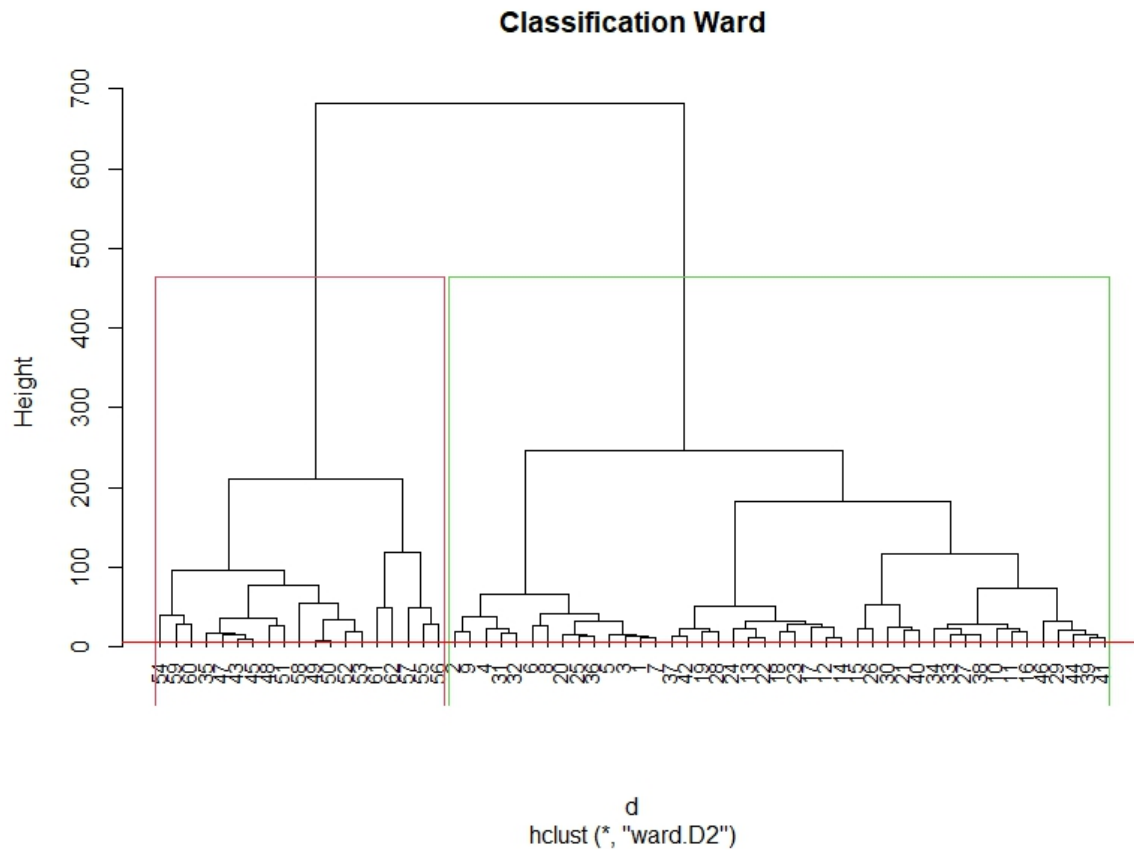


FIGURE 2. Dendrogramme pour 2 classes

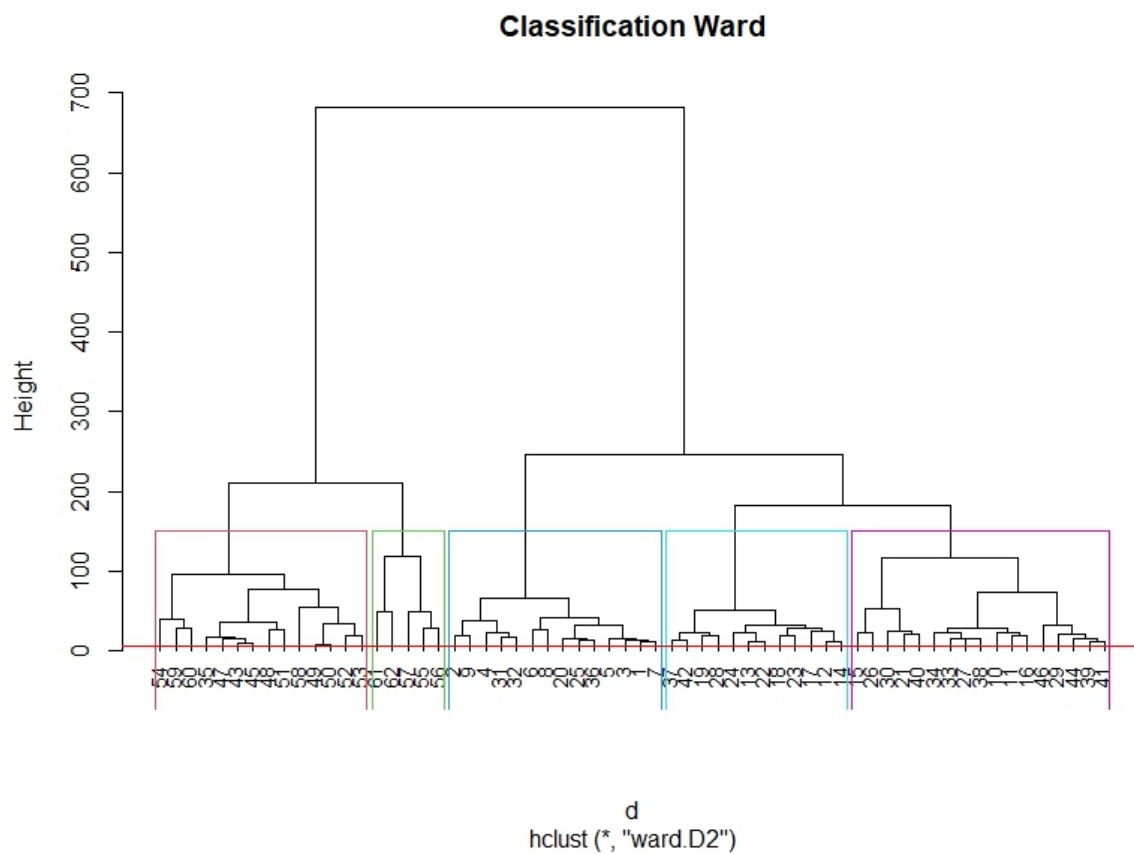


FIGURE 3. Dendrogramme pour 5 classes

Dans la répartition géographique des classes, on remarque que la longitude (ouest-est), la proximité de mer (méditerranée et océan atlantique), la latitude (nord-sud) et l'altitude sont les facteurs déterminant de la variation de la température moyenne en Algérie.

TABLE 1. Moyennes des températures annuelles (°C) des 5 classes.

Région	T maximale (°C)	T minimale (°C)	T moyenne (°C)
Littoral	23,54	13,79	18,67
Intérieur ouest	24,53	11,47	18,00
Intérieur est	21,88	9,38	15,63
Sahara central	30,10	15,87	22,98
Extrême sud	34,75	18,67	26,71

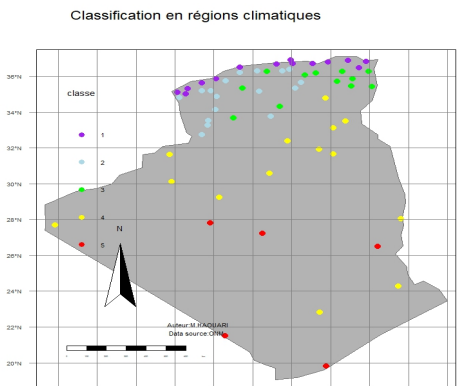


FIGURE 4. Représentation géographique des 5 classes climatiques.

Dans la figure 4, on distingue les cinq régions climatique-ment homogènes dénommées : littoral (en violet), intérieur ouest (en bleu), intérieur est (en vert), sahara central (en jaune) et extrême sud (en rouge). Dans le tableau N°1, les cinq classes ainsi définies ont des moyennes significative-ment différentes sauf entre les classes littoral et intérieur ouest. Dans ce cas, la différence s'explique par l'amplitude thermique (différence entre la température maximale et la température minimale).estimée à plus de 3 °C entre ces deux classes : ainsi le climat intérieur ouest est plus continentale que le climat du littoral. Dans le tableau N°1 , la magnitude de la température moyenne annuelle illustre les climats contrastés sauf peut-être entre le littoral et l'intérieur ouest qui peut s'expliquer par une différence d'amplitude de plus de 3 °C entre les deux climats.

4. Résultats et Discussion

Pour être en conformité avec les centres mondiaux de surveillance du climat, nous analyserons l'évolution annuelle et mensuelle de l'anomalie thermique. L'anomalie thermique étant définie comme la différence de la température moyenne d'une année donnée avec sa normale calculée sur la période 1991-2020.

4.1 Analyse globale

L'évolution chronologique de l'anomalie thermique annuelle sur tout le pays sur la période 1990-2023 (figure 5) nous montre que :

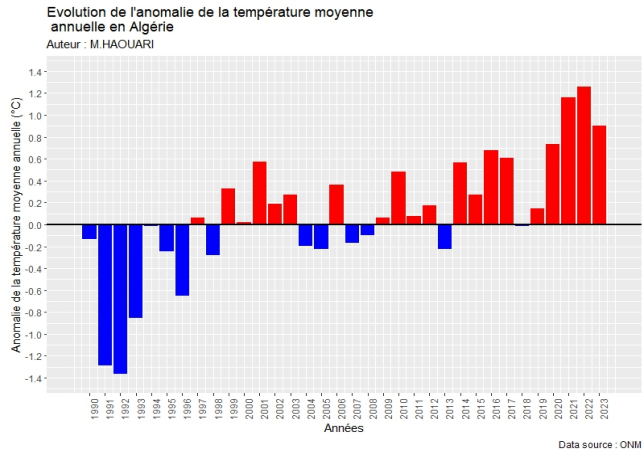


FIGURE 5. Évolution chronologique de l'anomalie thermique moyenne annuelle sur l'Algérie (°C) de 1990 à 2023

- La dernière décennie de 2014-2023 est la décennie la plus chaude jamais observée avec une augmentation moyenne de 0.63 °C par rapport à la normale annuelle estimée à 19.37 °C.
- Les 4 dernières années de 2020-2023 mentionnées dans le tableau 2 sont les plus chaudes jamais obser- vées avec, dans l'ordre, 2022, 2021, 2023 et 2020.
- Les 3 dernières années occupent le podium dans l'ordre suivant : 2022, 2021 et 2023 (tableau 2).
- L'année la plus chaude jamais observée est l'année 2022 avec une augmentation de 1.25 °C par rapport à sa normale.
- L'année la plus récente 2023 occupe la troisième place avec une augmentation de 0.90 °C. Néanmoins, l'aug- mentation de l'anomalie de la température maximale moyenne est du même ordre de grandeur que celle de l'année la plus chaude, 2022, soit 1.36 °C (Tableau 2).

TABLE 2. Anomalie thermique moyenne annuelle sur la période 2020-2023 (°C) des températures maximales, minimales et moyennes.

Année	Tmax anomalie (°C)	Tmin anomalie (°C)	Tmoy anomalie (°C)
2020	0.89	0.57	0.73
2021	1.21	1.10	1.16
2022	1.36	1.14	1.25
2023	1.36	0.45	0.90

Examinons maintenant, la distribution mensuelle de cette anomalie, tout d'abord, pour la décennie 2014-2023, décennie la plus chaude jamais observée : On constate (fi- gure 5) que le réchauffement se distribue sur l'ensemble des

12 mois de l'année, mais pas d'une façon équitable. Ce sont les mois de mars suivi du mois de janvier qui se réchauffent le moins. Du mois d'avril jusqu'à la fin de l'année, soit 9 mois consécutifs, l'augmentation de la température est d'au moins de 0.45 °C pour chaque mois. Le mois de septembre est celui qui se réchauffe le plus (+1.00°C), suivi du mois d'avril (+0.90 °C), du mois de juillet (+0.89 °C) et du mois de décembre (+0.74 °C). Durant la saison estivale, saison la plus chaude de l'année, c'est le mois de juillet qui se réchauffe le plus. .

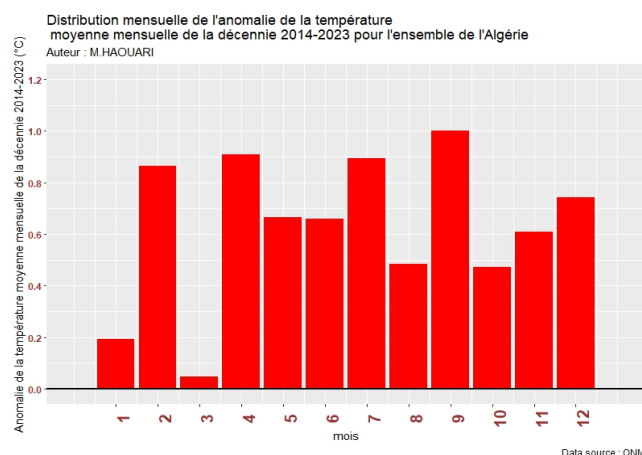


FIGURE 6. Distribution mensuelle de l'anomalie thermique calculée sur la période 2013-2023 sur l'ensemble de l'Algérie

En 2023, on remarque que 10 mois ont été plus chauds que la normale, surtout les mois de juin au mois de décembre avec un mois de juillet très exceptionnel de +2.96 °C sur tout le pays, il devient ainsi le mois le plus chaud jamais observé. Les mois les plus chauds sont dans l'ordre, juillet, (+2.96 °C), octobre (+1.90 °C), novembre (+1.58 °C) et septembre (+1.24 °C). La saison la plus chaude reste l'automne (+1.57 °C) suivi de près de la saison d'été (+1.23 °C). De même en 2022 (figure 6), 10 mois ont été plus chauds que la normale, surtout la période du mois de juin au mois de décembre. Le mois le plus chaud, très exceptionnel, est de loin le mois de décembre devenant ainsi le mois de décembre le plus chaud jamais observé. Les mois les plus chauds sont dans l'ordre, décembre (+3.22 °C), juin (+2.59 °C), septembre (+2.20 °C) et octobre (2.10 °C). La saison d'automne reste la plus chaude (+1.97 °C) suivie de la saison d'été (+1.51 °C).

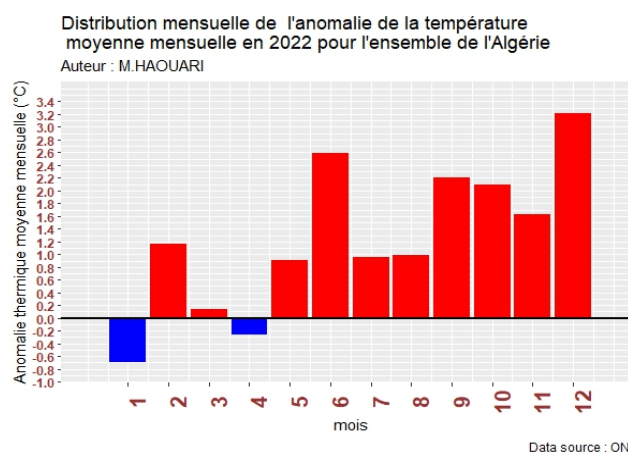
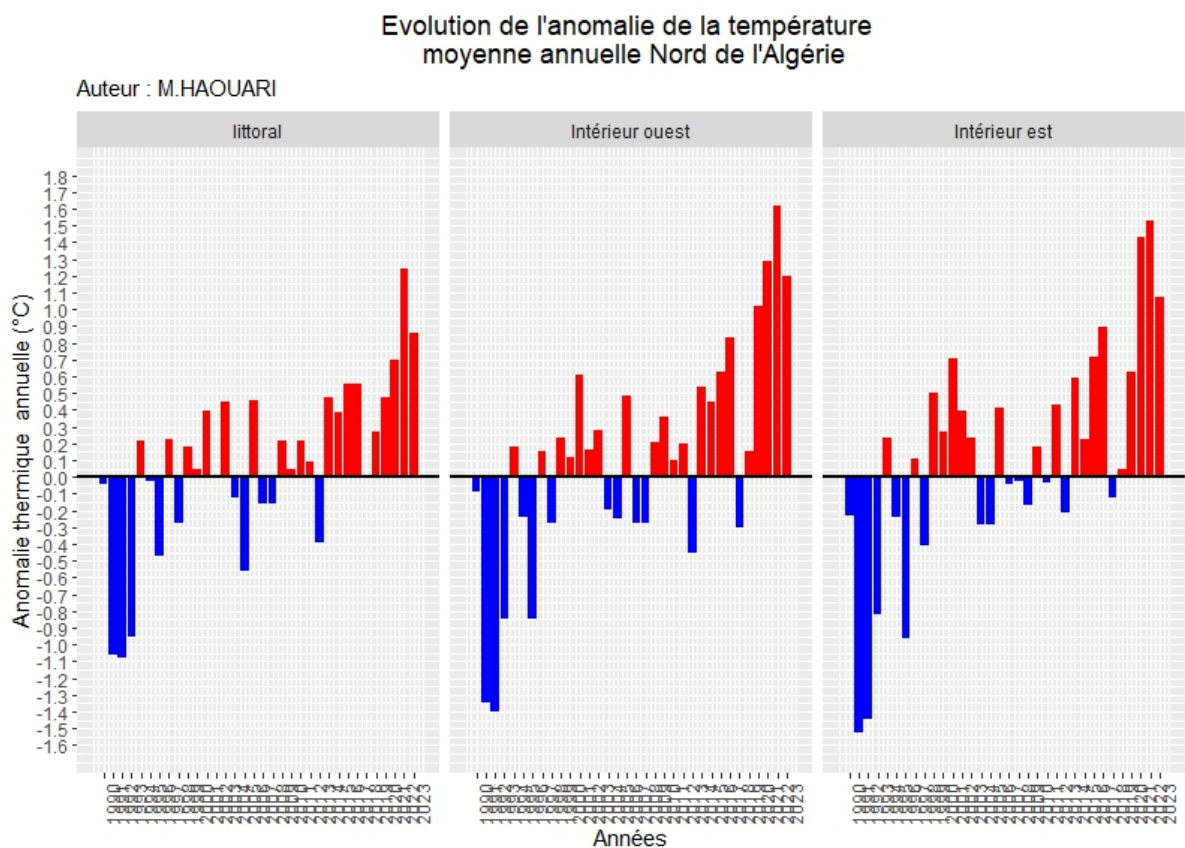


FIGURE 7. Distribution mensuelle de l'anomalie thermique de l'année 2022 sur l'Algérie

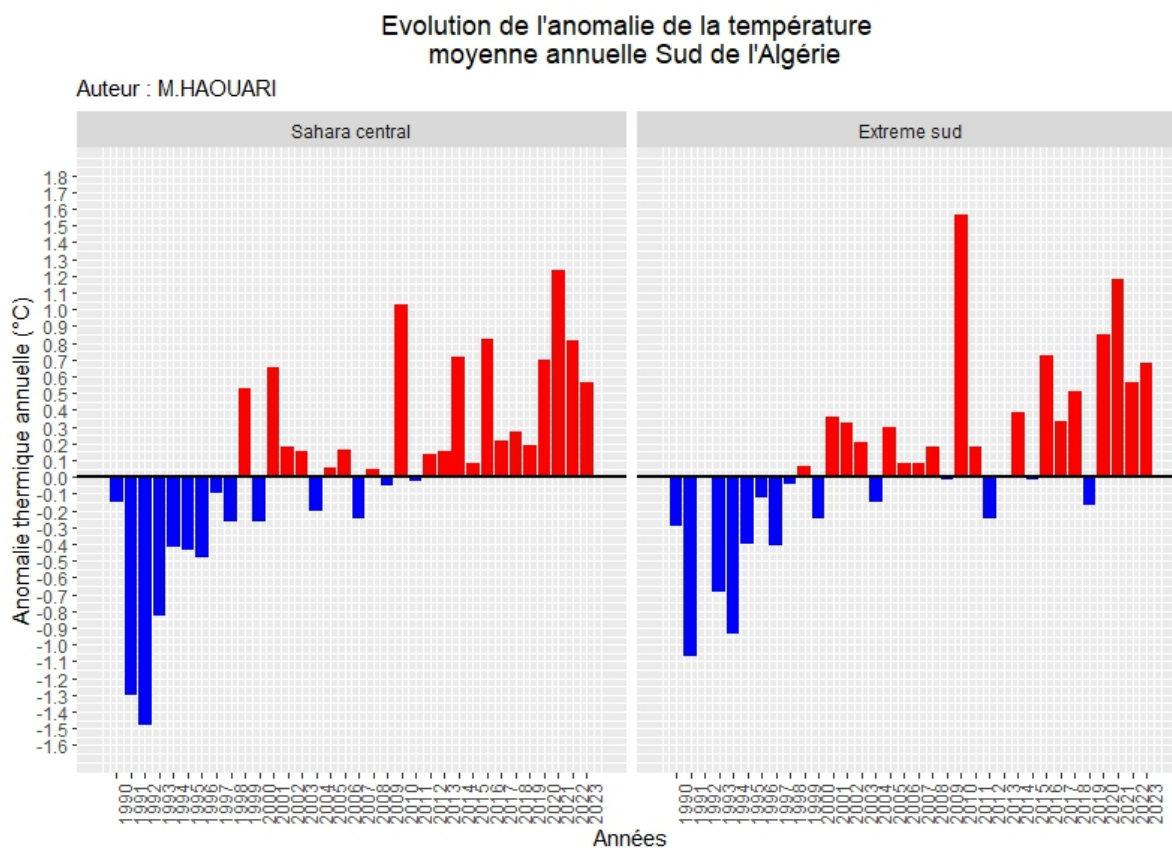
4.2 Analyse régionale

L'évolution de cette anomalie de la température moyenne annuelle ne se distribue pas de la même façon sur l'ensemble du territoire national. Les régions nord au climat méditerranéen (littoral et intérieur) se distinguent des régions sud au climat Saharien à Sahélien (figure 7). Si l'on examine la dernière décennie de 2014 à 2023, décennie la plus chaude jamais observée en Algérie, on remarque que :

- Le nord (+0.66 °C) se réchauffe plus vite que le sud (+0.53 °C).
- Au nord, le littoral (+0.55 °C) se réchauffe moins vite que les régions intérieures (+0.72 °C).



Data source : ONM



Data source : ONM

FIGURE 8. Evolution de l'anomalie thermique annuelle pour les 5 régions climatiques de l'Algérie sur la période 1990-2023.

Concernant l'année 2022, l'année la plus chaude jamais observée en Algérie, on remarque :

- Le record 2022 de l'année la plus chaude est observé seulement dans les 3 régions du nord, par contre pour le Sahara central, il s'est produit en 2021 (+1.23 °C) et en 2010 pour l'extrême sud (+1.56 °C).
- Le réchauffement a été plus accentué au nord (+1.46 °C) par rapport au sud (+0.69 °C) (figure 8).
- Au nord, la région du littoral (+1.24 °C) s'est réchauffée moins que les régions intérieures avec (+1.62 °C) pour l'intérieur ouest et (+1.53 °C) pour l'intérieur est.
- Au sud, le Sahara central (+0.82 °C) s'est réchauffé plus que l'extrême sud (+0.56 °C).

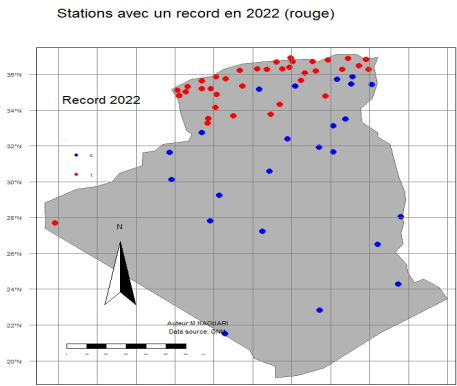


FIGURE 9. Distribution géographique des stations qui ont battu le record de température moyenne annuelle en 2022.

Pour analyser régionalement la distribution mensuelle de ce réchauffement au cours de la dernière décennie 2014-2023, on a calculé les anomalies moyennes mensuelles durant cette période sur l'ensemble des 3 régions du nord et l'ensemble des 2 régions du sud. Les résultats sont illustrés sur la figure 10.

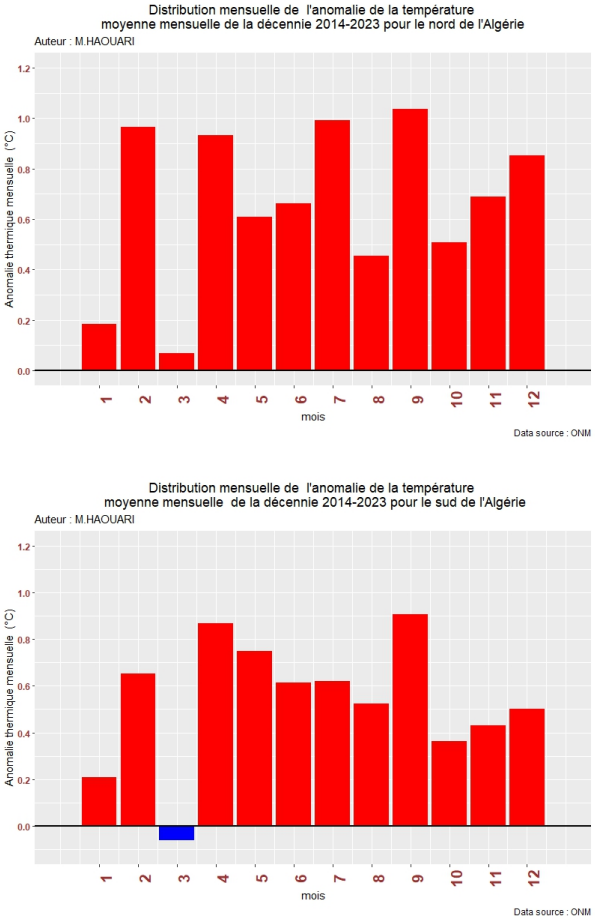


FIGURE 10. Distribution mensuelle de l'anomalie thermique au nord (en haut)et au sud (en bas) calculée sur la décennie 2014-2023

Il apparaît que :

- Toutes les saisons se réchauffent au nord plus qu'au sud ;
- Les saisons qui se réchauffent le moins sont le printemps au nord (+0.54 °C) et l'hiver pour le sud (+0.45 °C) ;
- Les saisons qui se réchauffent le plus sont l'automne et l'été d'environ (0.7 °C) pour le nord et de (0.58 °C) pour le sud ;
- Tous les mois se réchauffent sauf pour le mois de mars qui reste proche de la normale ;
- Le mois de septembre se réchauffe le plus de (+1.04 °C) pour le nord et de (0.91 °C) pour le sud, suivi du mois de juillet (+0.99 °C) pour le nord et du mois d'avril (+0.87 °C) pour le sud.

5. Conclusion

De ce qui précède, il est clair que :

- La dernière décennie de 2014-2023 est la décennie la plus chaude jamais observée avec une augmentation

moyenne de 0.63 °C par rapport à la normale annuelle nationale estimée à 19.37 °C.

- Les 4 dernières années de 2020-2023 sont les plus chaudes jamais observées avec dans l'ordre 2022, 2021, 2023 et 2020.
- Les 3 dernières années occupent le podium dans l'ordre suivant : 2022, 2021 et 2023.
- L'année la plus chaude jamais observée est l'année 2022 avec une augmentation de 1.25 °C par rapport à sa normale, mais avec une contribution majeure de la partie nord. L'occurrence de ce record ne s'est pas produit en 2022 au sud, avec une différence entre le sahara central (2021) et l'extrême sud (2010).
- L'année la plus récente 2023, occupe la troisième place avec une augmentation de 0.90 °C. Tout porte à croire que le réchauffement s'est accéléré ces dernières années.
- Il apparaît que le nord soumis à un climat méditerranéen se réchauffe plus vite que le sud soumis à un climat saharien à sahélien.
- Les facteurs qui influencent le plus la variation de la température moyenne de l'Algérie sont : la longitude (ouest-est), la proximité de mer (méditerranée et océan atlantique), la latitude (nord-sud) et l'altitude.
- Ce réchauffement affecte toutes les saisons durant 11 mois de l'année, le mois de mars reste un cas particulier.
- La saison d'été commence tôt à partir d'avril et se prolonge durant l'automne et même jusqu'à la fin de l'année.
- Le mois qui se réchauffe le plus est le mois de septembre prorogeant ainsi la saison estivale.
- La saison d'hiver est la saison qui se réchauffe le moins, exception faite pour le mois de décembre.
- Enfin, même si l'évolution des températures moyennes sont en hausse en conformité avec la tendance mondiale, la distribution chronologique des records et l'amplitude de la variation ne sont pas les mêmes. L'Algérie, fait partie des pays qui se réchauffent le plus.

Nous recommandons :

- L'extension de cette étude avec l'analyse des tendances sur de longues séries climatologiques.
- Une surveillance accrue du climat de notre pays par la modernisation et l'extension du réseau d'observations que concrétise progressivement l'ONM et la pérennisation des mesures spéciales (gaz à effets de serre et autres) de la station de l'Assekrem qui fait partie du réseau mondiale de la veille de l'atmosphère globale.

Références

- [1] OMM, 2024. *Rapport annuel sur l'état du climat mondial*. Organisation météorologique mondiale, Genève, Suisse.
- [2] Josse J., Pagès J., Husson F., 2011. *Multiple imputation in principal component analysis*. *Advances in Data Analysis and Classification*, 5(3), pp. 231-246.
- [3] Josse J., Husson F., 2012. *Handling missing values in exploratory multivariate data analysis methods*. *Journal de la Société Française de Statistique*, 153(2), pp. 79-99.
- [4] Josse J., Husson F., 2016. *missMDA : A package for handling missing values in multivariate data analysis*. *Journal of Statistical Software*, 70(1), pp. 1-31.
- [5] Guijarro JA., 2023a. *climatol : Climate Data Tools*. R package version 3.1.1. URL : <https://CRAN.R-project.org/package=climatol>
- [6] Guijarro JA., 2023b. *Homogenization of Climate Data : Theory and Practice*. Springer Climate, Springer Nature.
- [7] Alexandersson H., Moberg A., 1997. *Homogenization of Swedish temperature data. Part I : Homogeneity test for linear trends*. *International Journal of Climatology*, 17(1), pp. 25-34.
- [8] Everitt B.S., 1974. *Cluster Analysis*. Heinemann Educational Books, London.
- [9] Hartigan J.A., 1975. *Clustering Algorithms*. John Wiley Sons, New York.