

ÉVALUATION DE LA CANICULE ESTIVALE 2021 DANS LES VILLES MAROCAINES : REGARDS SUR LES MODIFICATIONS STATISTIQUES DES TEMPÉRATURES

Hind FATTAH

Laboratoire d'études et de recherches « Sociétés, Territoires, Histoire et Patrimoine (STHP) », Dpt. Géographie, FLSH Rabat, Université Mohammed V Maroc, Fattah.hind@gmail.com

Résumé : Au cours de l'été 2021, une vague de chaleur exceptionnelle a touché la majorité des villes Marocaines. Cet évènement climatique extrêmement puissant a été caractérisé par l'enregistrement de nouveaux records de températures maximales journalières dépassant largement 48°C dans certaines stations, et accompagnées de vents chauds, secs et forts de type *Chergui*. De juillet à août 2021, le Maroc a connu plusieurs épisodes successifs de canicule qui ont duré entre quatre et sept jours. Devant l'ampleur de cette situation, on s'est posé les questions problématiques suivantes : **Comment les températures maximales ont-elles évolué au Maroc depuis l'accélération du réchauffement climatique ? Quelles sont les villes Marocaines les plus touchées par la canicule estivale 2021 ? Et comment peut-on expliquer cet aléa climatique ?** Cette étude a pour objectif, dans un premier temps, de suivre la tendance évolutive des températures maximales des mois les plus chauds de l'année pour six stations météorologiques pendant la période 1973-2021 (49 ans) et d'analyser statistiquement le nombre de jours de très fortes chaleurs ($T_{Max} \geq 40^{\circ}C$) durant l'été 2021. Dans un deuxième temps, une analyse synoptique a été indispensable pour mieux expliquer les épisodes caniculaires de 2021.

Mots-Clés : Canicule estivale – Aléa climatique – Températures maximales – Réchauffement climatique

Introduction

Dans son usage courant, le terme *canicule* évoque à lui seul un contexte climatique exceptionnel, marqué avant tout par une chaleur intense mais également par une grande sécheresse et un fort ensoleillement rendant l'ambiance éprouvante (CANTAT.O, 2005). Avec l'accélération du réchauffement climatique pendant les années 1980, 1990 et le début du 3^{ème} millénaire, les canicules d'été ont pris une ampleur extravagante, tant dans leur fréquence que dans leur intensité. Plusieurs pays ont été touchés par cet aléa climatique cataclysmique, notamment ceux localisés dans les moyennes latitudes. L'Espagne, la France et l'Italie faisaient partie des pays subissant les dégâts les plus considérables, suite à la vague de chaleur survenue en été 2003. Le système climatique Marocain a été également influencé au cours de la même année par la persistance d'un type de temps plus au moins chaud. Depuis cette date, la fréquence des vagues de chaleur au Maroc n'a pas cessé d'augmenter.

Récemment, et notamment au cours de l'été 2021, une vague de chaleur exceptionnelle a touché la majorité des villes Marocaines. Cet évènement climatique extrêmement puissant a été caractérisé par l'enregistrement de nouveaux records de températures maximales journalières dépassant largement 48°C dans certaines stations, et accompagnées de vents chauds, secs et forts de type *Chergui* (vent continental extrêmement brutal et violent, venant du Sahara et soufflant vers le territoire Marocain pendant l'été). De juillet à août 2021, le Maroc a connu plusieurs épisodes successifs de canicule qui ont duré entre quatre et sept jours. Devant l'ampleur de cette situation, on s'est posé les questions problématiques suivantes : **Comment les températures maximales ont-elles évolué au Maroc depuis l'accélération du réchauffement climatique ? Quelles sont les villes Marocaines les plus touchées par la canicule estivale 2021 ? Et comment peut-on expliquer cet aléa climatique ?** Cette étude a pour objectif, dans un premier temps, de suivre la tendance évolutive des températures maximales des mois les plus chauds de l'année (juillet et août) pour six stations météorologiques et d'analyser statistiquement le nombre de jours de très fortes chaleurs ($T_{Max} \geq$

40°C) et ce, en se basant sur des données mensuelles et journalières pour une période de 49 ans, allant de 1973 à 2021. Dans un deuxième temps, une analyse synoptique a été indispensable pour mieux expliquer les épisodes caniculaires de 2021.

1. Site d'étude

Une grande attention a été accordée à six villes Marocaines (**Figure 1**) représentant ainsi quatre domaines climatiques du pays¹ et dont les caractéristiques climatiques restent totalement variables : Oujda (Région orientale), Tétouan, Rabat-Salé et Meknès (Région Atlantique Nord), Marrakech (Région Atlantique centre) et Ouarzazate (Région Sub-Saharienne).

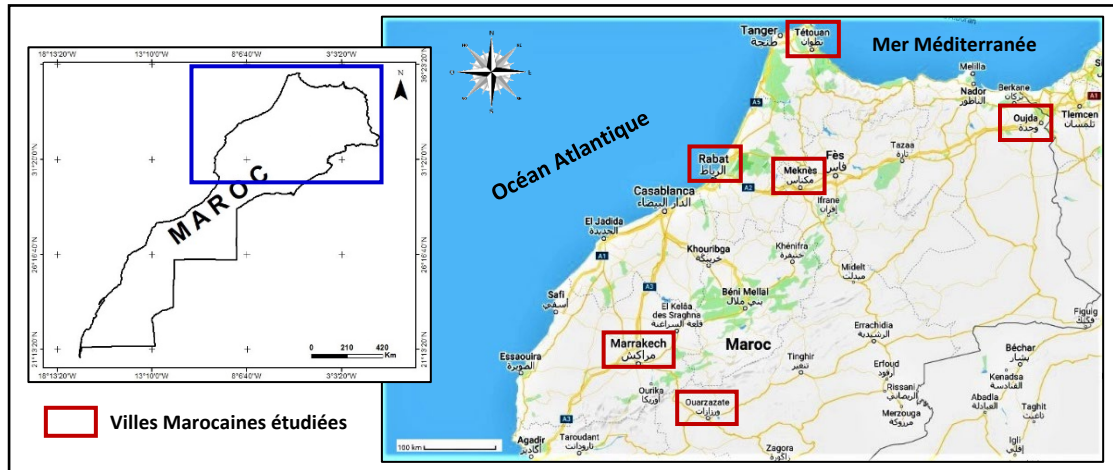


figure 1. Carte de localisation des villes Marocaines étudiées. **Source :** Données CARTO, Google Maps, 2022

2. Données et méthodes

La base de données climatiques utilisées dans ce travail, est composée de plusieurs séries de températures maximales (°C), journalières et mensuelles, relatives aux mois les plus chauds de l'année (juillet et août) couvrant une période de 49 ans (1973-2021), et ce, pour six stations météorologiques Marocaines, dont deux sont côtières (Tétouan et Rabat-Salé) et quatre dans les terres (Oujda, Meknès, Marrakech et Ouarzazate). Ces données nous ont été fournies par la DGM² de Casablanca et ne présentent aucune rupture climatique. Les mesures susmentionnées ont été complétées par des cartes isobariques à une altitude de 500hPa. Ces cartes synoptiques, provenant notamment de « Wetterzentrale (Weather central) », couvrent ainsi toute l'Europe et une partie du territoire Marocain. Nous avons volontairement choisi les cartes présent à 12h00 UTC³ puisqu'en général, la température maximale de la journée s'enregistre au début de l'après-midi.

Pour l'analyse statistique et l'explication de l'évènement météorologique vécu en été 2021, une méthodologie à double approche (analytique et synthétique à la fois) a été adoptée, et dont les différentes étapes sont les suivantes :

- L'utilisation du test non-paramétrique de Mann-Kendall (Mann 1945, Kendal 1975) a permis de détecter l'absence ou la présence d'une tendance évolutive (progressive ou régressive) dans la série temporelle étudiée. Il a servi également pour savoir si les résultats obtenus sont significatifs ou non.
- La classification des maximales thermiques journalières en se basant sur l'indice de fréquence a été indispensable. Elle a permis d'obtenir des statistiques représentatives du nombre total des journées chaudes ($35 < T_x \leq 40^\circ\text{C}$) ou très chaudes ($T_x \geq 40^\circ\text{C}$).

¹ Selon la répartition des stations Marocaines par domaines climatiques (établie par Abdelali SEBBAR en 2013).

² Direction Générale de Météorologie.

³ Universel Temps Coordonné.

- L'explication de l'aléa climatique a été basée sur une analyse synoptique descriptive qui a mis le point sur le type de temps régnant pendant cette période de l'année.

3. Résultats

3.1. Analyse statistique des maximales estivales mensuelles pendant la période 1973-2021

À partir des années 1980 et 1990, le climat des différentes stations Marocaines a été caractérisé par une augmentation généralisée des températures. La situation s'est aggravée encore plus au cours des deux premières décennies du 3^{ème} millénaire qui ont été marquées par une accélération brusque de la fréquence des chaleurs caniculaires. Des températures maximales enregistrant des valeurs extrêmes ont été alors observées lors des récentes canicules estivales, notamment celles des années 2010, 2017 et 2020... D'ailleurs, La DGM de Casablanca a confirmé dans un rapport spécial édité en Février 2021 que l'année 2020 était l'année la plus chaude au Maroc, par rapport aux années 1970, 1980, 1990 et 2000. Les tendances d'évolution des températures maximales mensuelles ont été calculées pour les mois de juillet et d'août sur la période 1973-2021. Afin de vérifier la significativité statistique des tendances, le test non-paramétrique de Mann-Kendal a été appliqué (avec un niveau de confiance de 95% i.e. pour une valeur- $p < 0.05$). Les résultats obtenus diffèrent d'un mois à l'autre :

Tendances du mois de juillet : Les températures maximales pour les stations de l'Atlantique Nord (Rabat-Salé et Meknès) ne suivent aucune tendance évolutive temporelle. En revanche, les autres stations analysées (Oujda, Tétouan, Marrakech et Ouarzazate) présentent des tendances évolutives progressives significatives durant la période 1973-2021 oscillant entre $+0,054^{\circ}\text{C}$ et $+0,083^{\circ}\text{C}$ par an (**Tableau 1**).

Tableau 1. Résultats du test de Mann-Kendall appliqué aux températures maximales d'été 1973-2021 (Niveau de confiance de 95%). Les astérisques indiquent les tendances significatives.

Région	Station	Pente de Sen (Valeur-p du test)			
		Juillet		Août	
Orientale	Oujda	$+0,083^*$	$(<0,0001)$	$+0,062^*$	$(<0,0001)$
Atlantique Nord	Tétouan	$+0,061^*$	$(<0,0001)$	$+0,038^*$	$(0,000)$
	Meknès	$+0,023$	$(0,305)$	$+0,064^*$	$(<0,0001)$
	Rabat-Salé	$+0,008$	$(0,575)$	$+0,019$	$(0,142)$
Atlantique Centre	Marrakech	$+0,054^*$	$(0,018)$	$+0,050^*$	$(0,004)$
Sub-Saharienne	Ouarzazate	$+0,060^*$	$(<0,0001)$	$+0,045^*$	$(<0,0001)$

Tendances du mois d'août : Les résultats obtenus à travers le calcul du test, nous permet de dire avec certitude que la majorité des stations étudiées, à savoir Oujda, Tétouan, Meknès, Marrakech et Ouarzazate, présente une tendance positive significative variant de $+0,038^{\circ}\text{C}$ et $+0,064^{\circ}\text{C}$ par an. Pour la station de Rabat-Salé, aucune tendance significative n'a été détectée pour les températures maximales d'août (comme en juillet) malgré le sens positif de la tendance (**Tableau 1**).

3.2. Analyse statistique des maximales estivales journalières durant les mois de juillet et août 2021

Le mois de juillet 2021 a connu deux épisodes caniculaires. Le premier épisode a duré quatre jours. Il a débuté le 09 juillet et s'est prolongé jusqu'au 12 du même mois, et ce, pour la majorité des stations étudiées, notamment Oujda, Marrakech, Meknès et Rabat-Salé. Les maximales journalières

enregistrées (respectivement 47,3°C, 47,2°C, 46,8°C et 33,6°C⁴) entre le 10 et le 11 juillet 2021 ont largement dépassé la normale mensuelle 1981-2010⁵ et ont battu les records des années précédentes. La station de Ouarzazate, quant à elle, a connu également ce temps chaud, mais plus tardivement. Ce n'est qu'à partir du 13 juillet 2021 que les températures ont commencé d'augmenter pour atteindre une maximale de 42°C le 18 juillet. De même, la station de Tétouan a atteint 38,2°C à la même date. Un deuxième épisode de chaleur a été observé entre le 17 et le 23 juillet 2021 (7 jours), mais moins sévère que le premier pour la majorité des stations, à l'exception de la station de Marrakech qui a enregistré sa température record du mois (47,5°C) le 23 juillet 2021, dépassant ainsi la normale mensuelle 1981-2010 de 10,3°C (Figure 2).

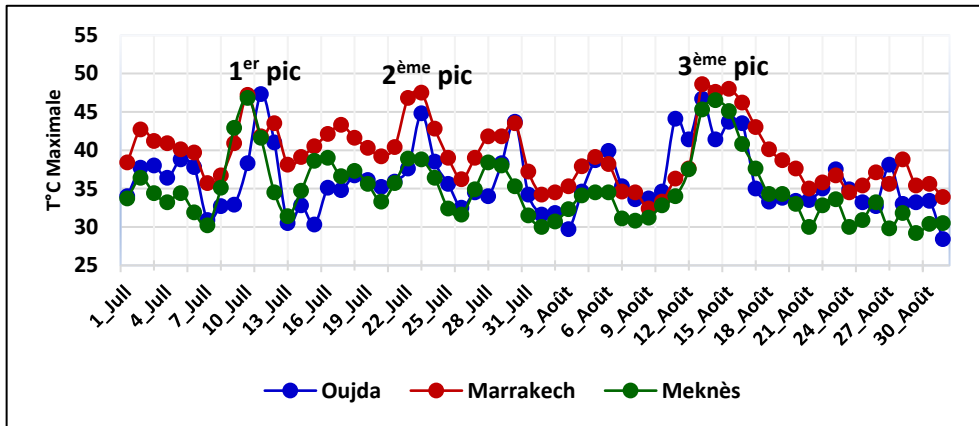


figure 2. Maximales journalières des stations les plus touchées par la canicule estivale 2021 (juillet et août)

Au cours du mois d'août, une vague de chaleur de six jours (du 12 au 17 août 2021) a touché une grande partie du pays. Sur les six stations analysées, quatre stations (Marrakech, Oujda, Meknès et Tétouan) ont battu les records mensuels enregistrés il y a quelques années. Les mesures journalières dévoilent une hausse sensible des températures maximales franchissant la normale mensuelle (1981-2010) de 11,9 °C à 13,3°C (Figure 2).

Durant les mois de juillet et août 2021, la région Sub-Saharienne et celle de l'Atlantique Centre ont été marquées par un très fort dôme de chaleur⁶. Les stations de Ouarzazate et Marrakech (influencées par un degré très élevé de continentalité) ont enregistré, respectivement, 28 et 26 jours de $T_x \geq 40^\circ\text{C}$ et 34 et 28 jours de $35 > T_x \geq 40^\circ\text{C}$ (sur un total de 62 jours). La station d'Oujda, représentative de l'Est du pays, a atteint 10 jours de $T_x \geq 40^\circ\text{C}$ et 22 jours de $35 > T_x \geq 40^\circ\text{C}$. En ce qui concerne la station de Meknès, le nombre total de jours extrêmement chauds ($T_x \geq 40^\circ\text{C}$) était de 7 jours et ceux dépassant 35°C étaient de 16 jours. Quant aux stations côtières (Tétouan et Rabat-Salé), les températures au-delà de 40°C et 35°C ont été moins fréquentes en raison de l'influence de la mer (Tableau 2).

⁴ Une telle différence de température entre Rabat-Salé et les autres stations peut s'expliquer par le fait que la station de Rabat-Salé est une station côtière bénéficiant tout au long de l'année des influences océaniques Atlantique ce qui rend les valeurs thermiques moins fortes.

⁵ Respectivement 33,7 °C, 37,2°C, 33,7 °C et 27,2°C.

⁶ Phénomène météorologique désignant une importante masse d'air chaude piégée entre la surface et l'altitude par une haute pression persistante.

Tableau 2. Classification des maximales journalières des mois de juillet et août 2021 selon les valeurs enregistrées (en Nbr)

Région	Station	Tx≥40°C	35>Tx≥40°C	30>Tx≥35°C	25>Tx≥30°C	20>Tx≥25°C
Orientale	Oujda	10	22	28	2	0
Atlantique Nord	Tétouan	1	8	18	34	1
	Meknès	7	16	37	2	0
	Rabat-Salé	0	0	6	50	6
Atlantique Centre	Marrakech	26	28	8	0	0
Sub-Saharienne	Ouarzazate	28	34	0	0	0

3.3. Analyse synoptique des conditions atmosphériques engendrant la canicule estivale 2021

La situation météorologique vécue au Maroc au cours des mois de juillet et août 2021 a exigé une analyse synoptique à la fois descriptive et profonde. Une grande attention a été accordée notamment aux journées ayant enregistré des records absolus (**Figures 3 & 4**) :

La situation synoptique des 10 et 11 juillet 2021 : À ces dates, l'avancée de l'anticyclone des Açores (venant du Sud-Ouest) vers le Nord, notamment le Maroc et une grande partie de l'Europe, a engendré un état atmosphérique caractérisé par des crêtes planétaires chaudes qui ont rendu l'ambiance thermique totalement éprouvante. Autrement dit, l'anticyclone subtropical a transporté en se dirigeant vers l'Afrique du Nord, y compris le Maroc, une masse d'air très chaude accompagnée de rafales de vent (69 Km/h à Marrakech) très sèches, poussiéreuses et sableuses (connues sous le nom de *Chergui*). Cette situation explique les hautes températures enregistrées au cours de la journée du 10 juillet 2021 pour les stations de Meknès et Marrakech et la journée du 11 juillet pour la station d'Oujda. Cette situation s'est combinée avec un recul notable de la dépression d'Islande vers le Nord et le Nord-Ouest, prenant ainsi place au-dessus de la Groenland et une partie de l'Amérique du Nord (**Figure 3 (A) & (B)**).

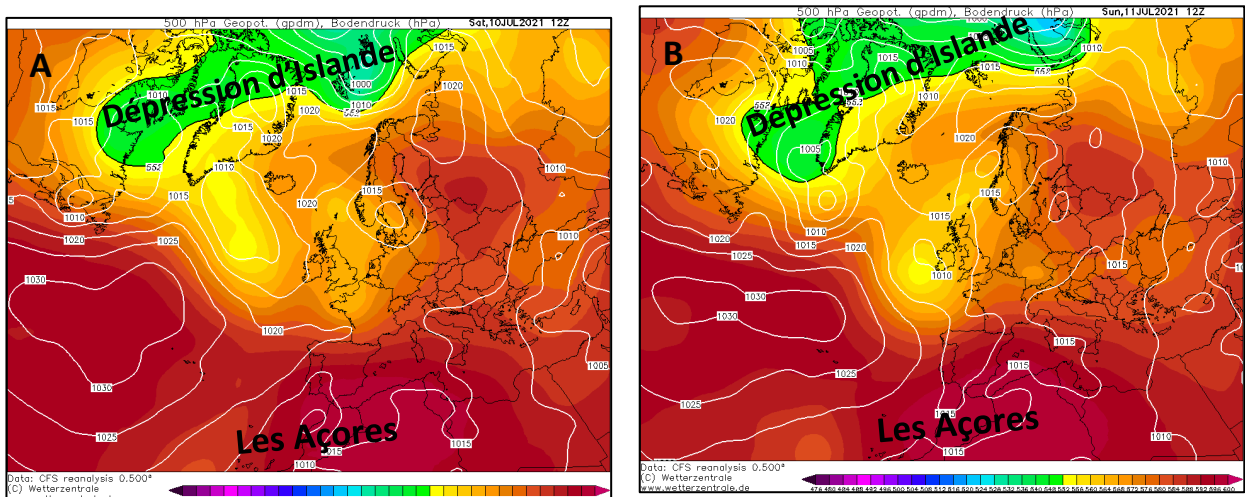


figure 3. Cartes synoptiques à 500 hPa (12h00 UTC). A- 10 juillet 2021. B- 11 juillet 2021. **Source** : Wetterzentrale

La situation synoptique des 13 et 14 août 2021 : La chaleur extrême dominait toujours au Maroc, l'Algérie et une grande partie de l'Europe. L'anticyclone des Açores – chargé d'air chaud et sec – s'est installé avec force dans ces territoires. La dépression d'Islande quant à elle, a été observée notamment au-dessus de la Groenland et au Nord de l'Amérique du Nord. Elle n'a pas cessé de gagner du terrain vers la Norvège et la Suède, mais en saison estivale, il est évident que cette dynamique dépressionnaire ne se prolonge pas vers le territoire Marocain. Tout au contraire, au-dessus du pays, la prédominance des hautes pressions (1020 hPa), coïncidant avec un état anticyclonique stable et puissant et engendrant un temps purement chaud et sec, explique les records battus par la majorité des stations analysées (**Figure 4 (A) & (B)**).

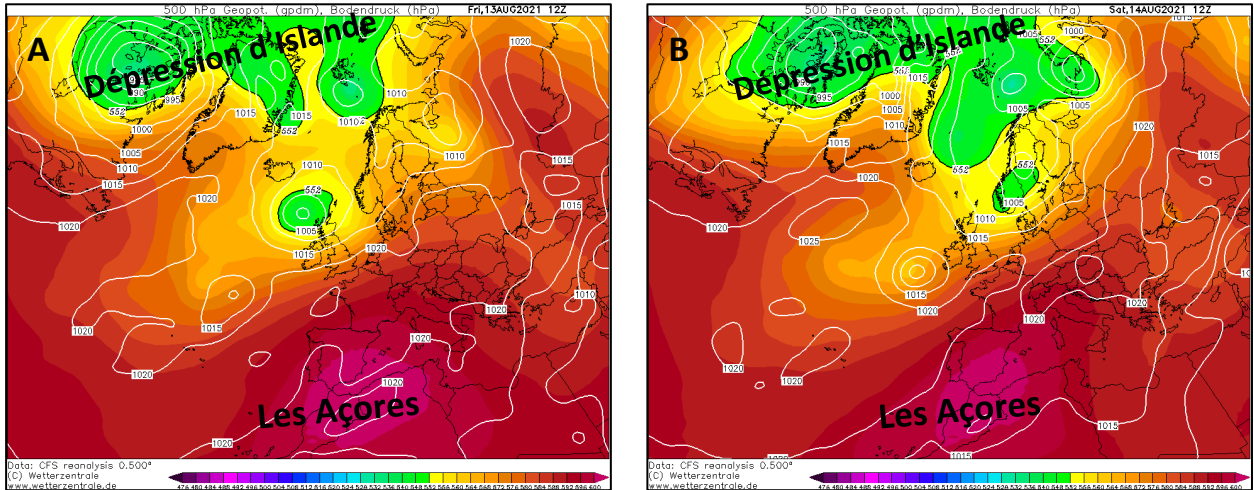


figure 4. Cartes synoptiques à 500 hPa (12h00 UTC). **A-** 13 août 2021. **B-** 14 août 2021. **Source :** Wetterzentrale

Conclusion et discussion

Les résultats obtenus montrent une tendance significative d'augmentation des températures maximales estivales au Maroc sur la période 1973-2021 et reflètent davantage l'ampleur de l'événement météorologique survenu au Maroc au cours de l'été 2021. D'un point de vue spatial, les stations localisées à l'intérieur du pays, à savoir Oujda, Meknès, Marrakech et Ouarzazate ont été les plus touchées par cette canicule. Pour les stations côtières (Tétouan et Rabat-Salé), la vague de chaleur était moins frappante et agressive. Au Maroc, comme partout en Afrique du Nord et en Europe, la succession des épisodes sévères de températures extrêmes au cours de l'année 2021 a relancé un important débat sur les causes directes de cet événement bouleversant. D'après Claire CHANAL, prévisionniste à Météo-France, « les records de chaleur enregistrés dans le bassin Méditerranéen en été 2021 sont expliqués par deux phénomènes : le premier est strictement météorologique, il s'agit d'une situation de blocage anticyclonique – comme nous l'avons mentionné plus haut – l'anticyclone des Açores a stagné pendant un bon moment et la masse d'air s'est réchauffée petit à petit. Le deuxième phénomène n'est autre que le réchauffement climatique. Avec l'accentuation de ce dernier, les masses d'air qui stagnent sont plus chaudes à la base, et donc, on bat les records ». Selon les communications du climatologue Marocain M-Saïd KARROUK (2021), les records thermiques enregistrés au Maroc et même en Europe étaient bien prévus dans les scénarios climatiques élaborés par le GIEC. D'après la même source, ces extrêmes thermiques étaient une exception auparavant. Dorénavant, il faut s'attendre qu'elles soient la règle.

Bibliographie

Avila F., 2018 : La chaleur dans le Sud du Bassin aquitain : Contribution du poste d'aire sur l'Adour (1971-2018) à la connaissance du climat. 31^{ème} colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Nice, France, 62-67.

Cantat O., 2005 : Dynamique spatio-temporelle d'un événement météo-climatique extrême : la canicule de l'été 2003 en Europe de l'Ouest. *Annales de l'association Internationale de Climatologie*, Vol 2, 99-136.

Direction Générale de la Météorologie., 2021 : *Maroc : Etat du climat 2020*. DGM de Casablanca. Ministère de l'équipement, du transport, de la logistique et de l'eau, Maroc. 36 pages.

Faci M., 2018 : Evolution du nombre et de la durée de l'apparition des canicules en Algérie. 31^{ème} colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Nice, France, 80-85.

Faci M., Oubadi M., Matari A. et Farhi Y., 2016 : Analyse des journées caniculaires au Sahara algérien. *Revue des régions arides*, numéro spécial, 44, Tunisie, 37-42.

Rome S., Bigot S., Foissard X., Fouvet A.-C., Madelin M. et Duche S., 2020 : L'été 2019 à Grenoble (France) : Analyse d'un extrême de chaleur et mesures d'adaptations mises en place par la collectivité. 33^{ème} Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Rennes, France, 601-606.