

SITUATIONS MÉTÉOROLOGIQUES EXTRÊMES AU MAROC SEPTENTRIONAL : CAS DES VAGUES DE CHALEUR SUR LA VILLE DE CASABLANCA

Aissam BOUAICHE¹, Nidal LOTFI¹, Mohamed Saïd KARROUK¹, Majda CHAIR¹, Mohamed YAZAMI¹

¹Laboratoire des Changements Environnementaux et Aménagement Territorial (LCEAT), FLSHBM, UHII-Casablanca, Maroc. E-mail : BOUAICHE.Aissam.UH2.LCEAT@gmail.com, Nidal.lotfi86@gmail.com, Chairmajda@gmail.com, M.Karrouk@FLBenMSik.ma, mohamed.yazamiztait@usmba.ac.ma

Résumé : La ville de Casablanca, caractérisée par une grande variabilité climatique, est souvent exposée à des extrêmes climato-thermiques, parfois aigus, qui méritent le qualificatif de paroxysme. Ces événements extrêmes se manifestent par des anomalies thermiques positifs très amples, traduisant une forte chaleur. Le présent travail propose d'étudier l'intensité et la fréquence des vagues de chaleurs à la station de Casablanca. Il cherche également à déceler les tendances des fortes chaleurs afin de percevoir la réalité des changements climatiques dans cette ville. Pour cette étude, nous utilisons les données des températures maximales et minimales quotidiennes, pour la période allant de 1976 à 2016. Les résultats obtenus révèlent que la température a tendance à augmenter dans cette station, ce qui correspond avec la problématique du réchauffement climatique.

Mots-Clés : extrêmes, vagues de chaleur, Casablanca, Maroc

Introduction

Les températures en région Méditerranéenne restent une préoccupation majeure, car leur variabilité ainsi que leurs extrêmes ont des implications sociales et économiques fortes. Par exemple, des vagues de chaleur étendues qui semblent devenir plus fréquentes dans la région Méditerranéenne peuvent provoquer la hausse du taux de mortalité, en particulier dans les zones urbaines. Une plus grande fréquence des vagues de chaleur a aussi des conséquences désastreuses sur la santé humaine et sur la végétation, en particulier les forêts (Khomsî, 2014).

Le Maroc septentrional, vu sa position géographique, entre les régions arides du Sahara et en bordure de la Méditerranée et l'Atlantique reste l'une des zones marocaines les plus vulnérables aux effets néfastes des changements climatiques (Born et al., 2008). Les premiers signes de changements climatiques se manifestent déjà au Maroc à travers à la fois les évolutions des températures et des précipitations. Le quatrième rapport du GIEC prévoit une diminution au niveau des précipitations qui peut atteindre 20% pour la fin du siècle courant sur le Maroc. L'augmentation au niveau des températures est prévue d'atteindre 2,5 °C à 5,5°C suivant les mêmes scénarios du GIEC vers la fin du siècle courant (GIEC, 2014).

Selon des études plus récentes (Sebbar et Hanchane, 2022), la ville de Casablanca possède un climat méditerranéen à forte tendance océanique qui lui confère des hivers doux et relativement humides et des étés modérément chauds et sans précipitations. La ville connaît des conditions environnementales complexes, une mauvaise qualité de l'air due au transport et aux activités industrielles et peu d'espaces verts. Elle est devenue la ville la plus polluée au Maroc. Cette pollution atteindrait, selon la plupart des sources de mesure de qualité de l'air, un seuil critique et la santé des habitants s'en retrouve parfois très sérieusement menacée (Nejjari et al., 2016).

Pour cette raison, nous proposons dans ce travail d'étudier l'intensité et la fréquence des vagues de chaleur à la station de Casablanca pour la période allant de 1976 à 2016. On cherche également à

décèler les tendances de ces fortes chaleurs afin de percevoir la réalité des changements climatiques dans la ville de Casablanca.

1. Données et méthodes

1.1. Présentation de la zone d'étude

La ville de Casablanca est la capitale économique du Maroc, faisant partie de la région Casablanca-Settat, avec une population proche des 4,5 millions d'habitants (HCP, 2014). Il s'agit d'un site presque totalement urbanisé du fait de la croissance démographique et économique. Son littoral s'étend sur plus de 50 km. Le secteur d'étude est limité, au Nord, par les eaux de l'Atlantique, à l'est, par les plateaux de Ben Slimane et au sud à l'ouest, par les riches et fertiles plaines de Chaouia (Fig. 1). Elle est située sur la plaine de Chaouia qui est considérée comme une région agricole par excellence. Sa position sur la côte atlantique, au nord-ouest de l'Afrique lui conféré un rôle stratégique pour les échanges commerciaux d'import et d'export à l'échelle mondiale, et fait d'elle une des villes les plus attractives du Maroc.

Casablanca a un climat méditerranéen semi-aride, caractérisé par un été chaud très sec et un hiver doux. Les précipitations sont irrégulières dans l'espace et dans le temps, elles varient entre 55mm et 500mm/an. La température annuelle moyenne de 21,8 °C. La température moyenne la plus basse est enregistrée en janvier (17,1 °C) et la plus élevée est en juillet (25,9°C) (Tableau 1).

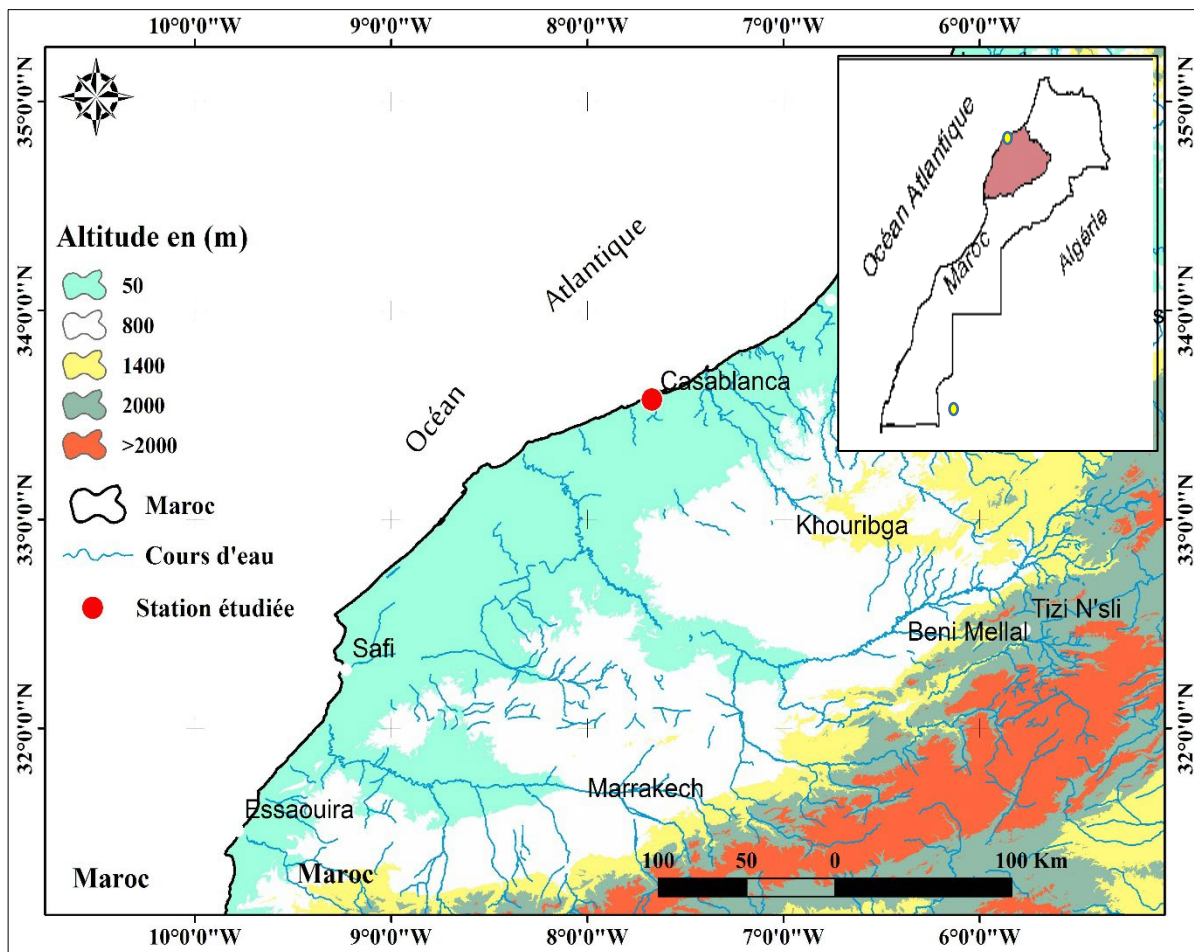


figure 1. La situation géographique de la zone d'étude (la ville de Casablanca)

1.2. Données

Pour cette étude, nous utilisons les mesures des températures maximales diurnes (TX) et minimales nocturnes (TN) de la station de Casablanca. La période de référence s'étend de 1976 à 2016 (40 ans x 365 jours). La Figure 1 illustre la position géographique de cette station et le Tableau 1 fournit des informations sur cette station.

Tableau 1. Les données géographiques et climatiques (température de l'air) de la station météo de Casablanca (1976-2016). Données : Direction Générale de la Météorologie (DGM, 2016).

Région	Station	Long.	Lat.	Altitude	Moyenne annuelle	Moyenne en Janvier	Moyenne en juillet
Atlantique	Casablanca	7°33'28'' Ouest	33°35'18'' Nord	60 m	21,8°C	17,1°C	25,9°C

1.3. Méthodologie

Cette étude est fondée sur une approche méthodologique simple pour caractériser un épisode de forte chaleur ou de très forte chaleur et torride. En général les méthodes proposées dans le présent travail sont subdivisées en trois approches statistiques :

- L'analyse de la fréquence des jours de forte chaleur (toutes types de chaleurs confondues).
- L'analyse de l'intensité de la chaleur, soit le poids par rapport à la durée. Il s'agit des vagues de chaleur qui peuvent être longues et modérées, d'autres courtes mais intenses. La méthode consiste d'abord à calculer les degrés-jours (DJ) quotidiens. Ensuite, la somme des degrés-jours de chaque épisode incluant au moins un jour de chaleur torride permet de déduire son poids. Ce poids, divisé par le nombre de jours de l'épisode donne l'intensité de la chaleur du jour.
- L'analyse des vagues de chaleur par l'indice climatique SU35, qui correspond au nombre total annuel de jours ayant une température maximale supérieur à 35°C (Babqiqi, 2013).

2. Résultats et discussions

2.1. Fréquence des jours de fortes chaleurs

Ben Boubaker (2010), dans un premier temps, utilisait une approche statistique pour identifier les vagues de chaleur, en se basant sur des seuils relatifs de chaleur. La méthode consiste à analyser les quantiles de la distribution des TX et des TN quotidiennes sur l'ensemble de la série d'observation pour calculer le 3^{ème} quartile (Q3), le 9^{ème} décile (D9) et 95^{ème} centile (C95) correspondant respectivement aux jours de forte chaleur, de très forte chaleur et aux jours torrides.

L'analyse de la Fig. 2 a montré que la station de Casablanca présente une fréquence élevée des jours chauds, très chauds et torrides : leur total au sein de la série statistique (1976-2016) est d'environ 1180 jours. Les jours chauds arrivent en tête avec un taux de 42,37% (500 jours), suivis par les jours très chauds, avec environ 386 jours, soit 31,16%. L'année 2016 a enregistré le taux le plus élevé de jours très chauds (20 jours) (Fig. 2). Le nombre des jours torrides a été de 312, soit 26,44% du nombre total de jours. L'année 2013 a enregistré le taux le plus élevé de jours torrides (19 jours), alors que l'année 1999 reste celle qui a enregistré le plus grand nombre des jours chauds (24) (Fig.2).

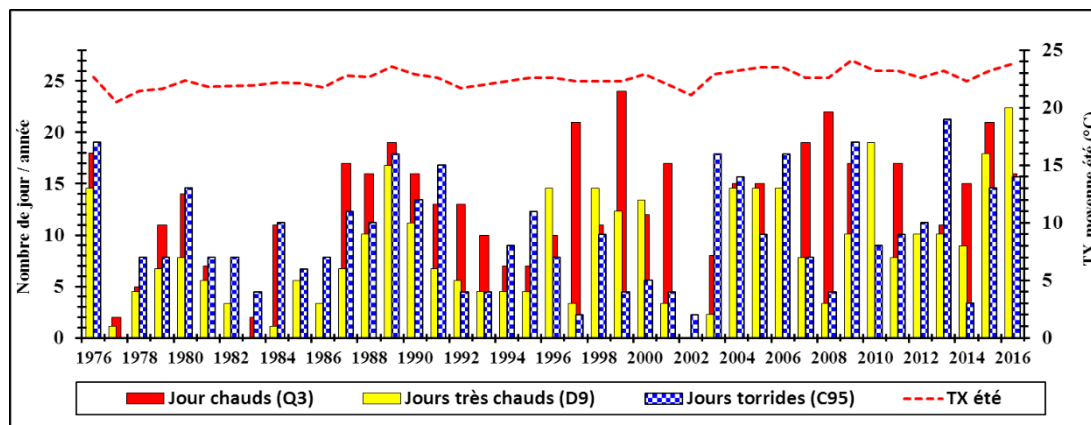


figure 2. Variabilité interannuelle du nombre des jours chauds, très chauds et torrides, ainsi que de la moyenne des températures maximales diurnes en été (TX) à Casablanca entre 1976-2016

2.2. Intensité des fortes chaleurs

L'intensité des fortes chaleurs dépend de l'ampleur magnitude de la chaleur diurne (TX), nocturne (TN), mais également de sa persistance inter-journalière. En effet, une forte chaleur peut être longue et modérée (une semaine) où courte mais de forte intensité (passagère de 1 à 2 jours) (Ben Boubaker, 2010 ; Azzi et Medjerda, 2015).

Plusieurs méthodes sont utilisées pour déterminer l'intensité des fortes chaleurs dans certains pays méditerranéens, comme c'est le cas pour le Maroc, Algérie et la Tunisie. Selon Boubaker (2010) et Azzi Medjerba (2015) pour évaluer l'intensité de la chaleur, nous avons commencé par répertorier tous les jours de chaleur forte, très forte et extrêmes, c'est-à-dire tous ceux appartenant au 3^{ème} quartile ($TX > 25.9^{\circ}\text{C}$ et $TN > 20^{\circ}\text{C}$).

Dans la deuxième étape nous avons calculé les degrés-jours (DJ) quotidiens, c'est-à-dire $(TX - 25.9^{\circ}\text{C}) + (TN - 20^{\circ}\text{C})$. Ensuite la somme de degrés-jours (DJ) de chaque épisode incluant au moins un jour de chaleur torride permet de déduire son poids (Tableau 2). Ce poids, divisé par le nombre de jours de l'épisode donne l'intensité de la chaleur du jour (Ben Boubeker, 2010. Azzi et Medjerda, 2015). Dans ce contexte, nous avons choisi trois jours à température maximale diurne entre 32°C et $37,6^{\circ}\text{C}$. Le degré-jours, le poids et l'intensité se calcule comme indiqué dans le tableau ci-dessous (Tableau 2).

Tableau 2. Exemple de trois jours consécutifs (entre 1 et 3/08/2003) pour déterminer le poids, les degrés-jours et l'intensité des fortes chaleurs à la station de Casablanca

Jours	TX (°C)	TN (°C)	Calculé	Degrés -jours (DJ) (°C)	Poids (°C)	Intensité (°C)
01/08/2003	37.6	27.2	$(37.6 - 25.9) + (27.2 - 20)$	18.9	41.0	41/3=
02/08/2003	34.1	23.4	$(34.1 - 25.9) + (23.4 - 20)$	14.1		13.66
03/08/2003	32.0	22.2	$(31.8 - 25.9) + (22.2 - 20)$	08.1		

Les résultats présentés dans le Tableau 3 nous permettent de classer les vagues de chaleur selon leur intensité, leur poids ou leur persistance. Au niveau de la station de Casablanca sept épisodes les plus chauds ont été détectés au cours du période étudié 1976-2016 (Tableau3). Ces vagues de chaleur se sont stabilisées au cours des mois de juillet et d'aout qui constituent la saison estivale. Les vagues de chaleur les plus intenses ont été enregistrés au cours de dernière décennie. Les étés 1982, 1989, 2000, 2003, 2004, 2005 et 2010 ont été marqués par des jours torrides sans précédent.

En ce qui concerne le poids total (P , en $^{\circ}\text{C}$), l'intensité de chaleur (I/Jour , en $^{\circ}\text{C}$) et persistance, c'est la vague du 01 au 03 août 2003 qui a été le plus important avec $P = 41.0^{\circ}\text{C}$ et 13.6°C pour l'intensité, suivi de l'année 2004 ($P=37.4^{\circ}\text{C}$), 1989 ($P= 29.3^{\circ}\text{C}$), 1982 ($P=25.9^{\circ}\text{C}$) (Tableau3).

Tableau 3. Caractéristiques des principales vagues de chaleur à Casablanca entre 1976-2016 (les 7 épisodes les plus chauds, avec un poids total $P > 12.0^{\circ}\text{C}$)

Rang	Épisode	Durée (jours)	Poids total (P en $^{\circ}\text{C}$)	Intensité de chaleur /jour ($^{\circ}\text{C}$)
1	27/08/2010	1	16.6 $^{\circ}\text{C}$	16.6 $^{\circ}\text{C}$
2	21/07/2005	1	14.8 $^{\circ}\text{C}$	14.8 $^{\circ}\text{C}$
3	23-24/07/2004	2	37.4 $^{\circ}\text{C}$	18.7 $^{\circ}\text{C}$
4	1-2-03/08/2003	3	41.0 $^{\circ}\text{C}$	13.6 $^{\circ}\text{C}$
5	15/07/2000	1	12.0 $^{\circ}\text{C}$	12.0 $^{\circ}\text{C}$
6	20-21/07/1989	2	29.3 $^{\circ}\text{C}$	14.6 $^{\circ}\text{C}$
7	18-19/08/1982	2	25.9 $^{\circ}\text{C}$	12.9 $^{\circ}\text{C}$

2.3. Tendence de l'indices SU35

La Figure 3 présente la variation du nombre total annuel de jours ayant une température maximale supérieur à 35°C (l'indice de chaleur SU35) sur la période allant de 1976 à 2016 au niveau de la ville de Casablanca. On constate que cet indice est très variable avec une tendance à la hausse.

Par ailleurs, dans la Fig. 3 on constate que le nombre de fois où l'indice SU35 a été supérieur à 3 par an est nettement en hausse et même que toutes les années 1989-2000-2003-2004-2005-2006 et 2015 ont enregistré plus de 2 jours avec des températures supérieures à 35°C . De manière générale, on constate que la station de Casablanca a connu une tendance à la hausse de cet indice (Fig.3).

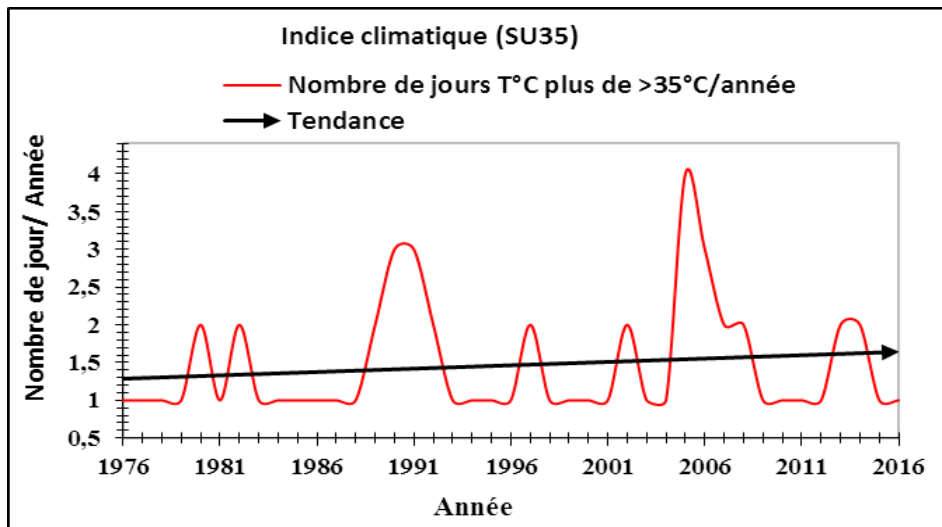


figure 3. Variation de l'indice de chaleur SU35 à Casablanca entre 1976-2016

Conclusion

Le but principal de cet article est de fournir un aperçu sur les particularités des jours chauds et des vagues de chaleur (fréquence, intensité, tendance) au niveau de la ville de Casablanca pour la période 1976-2016. Les résultats montrent une grande variabilité interannuelle pour les trois catégories de jours de chaleur (jours chauds, très chauds et torrides). Les vagues de chaleur les plus importants en termes d'intensité ont été enregistrés au cours des étés 1982, 1989, 2000, 2003, 2004, 2005 et 2010.

L'analyse du nombre de jours ayant une température maximale supérieur à 35°C (l'indice SU35) a montré qu'au niveau de la station de Casablanca, cet indice a une tendance à la hausse, avec un taux entre 0.017 et 0.018 jours/an, soit une augmentation de 2 jours sur 40 ans (1976-2016). Les résultats obtenus ont montré que la température de l'air, en particulier les hautes valeurs, ont tendance à augmenter dans cette station, ce qui correspond avec la problématique du réchauffement climatique.

En effet, les vagues de chaleur ont des impacts négatifs importants sur les activités socio-économiques, telle que l'agriculture et la ressource en eau, ainsi que sur les êtres vivants (Porter et Gawith, 1999). Par exemple, les cultures et le système hydrologique dans les oueds (les lacs, les nappes phréatiques) pourraient être gravement endommagés si la température quotidienne dépasse un certain seuil à un certain stade de développement des plantes.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement le comité scientifique du 35^{ème} colloque annuel de l'Association Internationale de Climatologie (AIC'2022 Toulouse France) en particulier le professeur Liliana ZAHARIA pour son aide précieuse et sa patience pour l'évaluation de cet article avec ses remarques et réflexions pertinentes.

Bibliographie

Azzi A., Medjerba A., 2015 : Les situations météorologiques extrêmes, signe d'un éventuel changement climatique : cas des vagues de froid sur le Nord de l'Algérie. *Actes du XXVIIIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Liège, 463-368.

Babqiqi Abdelaziz., 2013 : Changements Climatiques au Maroc : *Etude du cas de la Région de Marrakech Tensift Al Haouz et implications sur l'agriculture à l'horizon 2030*. Thèse de doctorat, Université Caddi Ayad-Marrakech, 252 pages.

Ben Boubaker H., 2010 : Les paroxysmes climato-thermiques en Tunisie : approche méthodologique et étude de cas. *Climatologie*, 56-87.

Born K., Christoph M., Fink A.H., Knippertz P., Paeth H., Steph P., 2008: Moroccan climate in present and future: combined view from observational data and regional climate scenarios. *In. Meteorol. Zeit*, **17**,533-551.

Escourrou G., 1991 : Le climat et la ville. *Norois*, **162**, 358-359.

GIEC., 2014 : *Changements climatiques, rapport de synthèse* : Contribution des groupes de travail I, II et III au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, GIEC, Genève, Suisse, 161 pages.

Haut-Commissariat au Plan (HCP), 2014 : *Projection de la population rurale et urbaine du Maroc entre 1960 et 2050*, Rabat, Maroc, 255 pages.

Khomsy K., 2014 : *Variabilité hydro-climatique dans les bassins versants du Bouregreg et du Tensift au Maroc : moyennes, extrêmes et projections climatiques*. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences, Université Mohamed V Rabat, 218 pages.

Nejjari C., Machakra-Tahiri T., Tessier J. F., 2016 : La pollution atmosphérique : qu'en est-il au Maroc?, *Pollution Atmosphérique*, **165**, 91- 96.

Porter, J.R., Gawith, M., 1999: Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *Eur. J. Agron.* **10** (1), 23–36.

Sebbar A., Hanchane M., 2022 : L'îlot de chaleur urbain (ICU) sur la ville de Casablanca. Actes du colloque international "Climat urbain entre urbanisation et changement/aléas climatiques", FLSH-Université Ibn Zohr Agadir, 210 pages.