



DIAGNOSTIC ET PROJECTION FUTURE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN ZONE ARIDE. CAS DE LA REGION MARRAKECH-SAFI (MAROC)

DIAGNOSIS AND FUTURE PROJECTION OF CLIMATE CHANGE IN ARID ZONE. CASE OF MARRAKECH-SAFI REGION (MOROCCO)

CHOUKRANI G.¹, HAMIMSA A.², SAIDI M.E.², BABQIQI A.³

¹Chonbuk National University, Jeonju, Corée du Sud.

²Laboratoire de Géosciences et Environnement, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc

³Direction Régionale de l'Environnement, Marrakech, Maroc.

m.saidi@uca.ma

RESUME

Avec un caractère aride à semi-aride, le climat de la région de Marrakech-Safi est assujéti à des influences océaniques et continentales. Les villes d'Essaouira et de Marrakech, qui illustrent ces deux influences, enregistrent une grande variabilité temporelle des précipitations et des températures. Par ailleurs, des tendances nettes à l'augmentation de ces températures y sont constatées pendant les cinq dernières décennies. Par contre, les évolutions des précipitations sont plus contrastées avec une tendance à la baisse à Marrakech, et plutôt à la hausse à Essaouira grâce aux récentes années exceptionnelles. Marrakech se distingue, quant à elle, par d'alarmants indices révélateurs du réchauffement climatique, notamment le nombre de jours chauds et les vagues de chaleur. Pour les projections climatiques futures, à l'aide d'un modèle de descente d'échelle statistique et selon les simulations des modèles de circulation générale, un constat aussi alarmant y est dégagé avec des prévisions à la baisse des précipitations annuelles et la hausse des températures à l'horizon 2050 et surtout à celui de 2099. Ceci à la fois selon un scénario futur ou le recours aux énergies fossiles est de plus en plus accentué que selon un scénario où ce recours est plus

contrôlé et où des efforts sont consentis pour limiter les émissions de gaz à effet de serre.

Mots clés : Marrakech, Essaouira, changement climatique, modèle de descente d'échelle statistique, modèle de circulation générale.

ABSTRACT

The arid and semi-arid climate of the Marrakech-Safi region is subject to oceanic and continental influences. The cities of Essaouira and Marrakech, which illustrate these two influences, experience an important temporal variability in rainfall and temperature. Moreover, there are clear increasing trends of temperature during the last five decades. However, the evolution of precipitation is more contrasted by a downward trend in Marrakech and a slight upward trend in Essaouira thanks to the recent exceptional years. On the other hand, Marrakech is distinguished by alarming clues of global warming, like the number of hot days and heat waves. For future climate projections, we used a statistical downscaling model and General Circulation Model simulations. An equally alarming finding is made by downward forecasts of annual rainfall and upward forecasts of temperature by 2050 and especially by 2099. This, both in a future scenario where the use of fossil fuels is more accentuated and in a scenario where this use is more controlled and where efforts are made to limit greenhouse gas emissions.

Keywords: Marrakech, Essaouira, climate change, Statistical DownScaling Model, General Circulation Model

INTRODUCTION

Le changement climatique naturel ne date pas d'hier, il est aussi vieux que notre planète Terre ; mais l'influence humaine sur le climat actuel est de plus en plus évidente. Les observations climatiques montrent que la température moyenne mondiale a augmenté de 0,8°C depuis 1900 (Hansen et al., 2006) et les 12 années les plus chaudes observées globalement depuis 1880 ont toutes eu lieu entre 1990 et 2005 (Lindner et al., 2010). D'autres études affirment que la décennie 2001-2010 est considérée comme la plus chaude à l'échelle mondiale depuis le début des relevés météorologiques (OMM 2013). Ainsi l'augmentation observée des températures confirme le réchauffement climatique global d'un très grand nombre de stations du monde (Christensen *et al.*, 2007). Par ailleurs,

depuis la fin des années 1970, la fréquence des années de sécheresse a augmenté en Afrique du Nord-Ouest constituant une contrainte majeure pour le développement futur de la région (Klose et al., 2008). Au Maroc, la sécheresse a toujours été présente dans l'histoire, mais au cours des dernières décennies, elle est devenue un élément structurel du climat. Le pays connaît actuellement la plus longue période de sécheresse de son histoire moderne caractérisée par une diminution des précipitations et une nette tendance à la hausse des températures (Stour et Agoumi, 2008). Les téléconnexions avec des phénomènes climatiques de grande échelle est souvent confirmées. Ainsi la phase négative de l'Oscillation Nord Atlantique (ONA), par exemple, semble assez bien corrélée avec les précipitations au Maroc et au nord-ouest de l'Afrique (Ward et al., 1999; Herrera et al., 2001; Knippertz et al., 2003) ; ou encore la phase positive du phénomène ENSO (El Nino-Southern Oscillation) qui semble induire une réduction des précipitations printanières au Maroc (Nicholson et Kim 1997; Ward et al., 1999). La région Marrakech-Safi, située au centre ouest du Maroc, a globalement un climat aride à semi-aride. Elle subit une gamme de changement climatique et de variations environnementales importantes. les tendances climatiques observées aux villes de Marrakech et Essaouira, à travers l'étude des données météorologiques depuis 1961, ont permis d'identifier une nette tendance vers des températures plus élevées et des précipitations plus faibles (Ait Brahim et al., 2016). Par ailleurs, des tests statistiques de Pettitt, d'Hubert, de Buishand et de Lee et Heghinian ont révélé des changements vers le milieu des années 70. Période après laquelle un déficit de précipitations (jusqu'à -30%) a été enregistré (Fniguire et al., 2017). A cet effet, notre étude a pour objectif de ressortir des éléments qui caractérisent la variabilité de ce climat de la région Marrakech-Safi, étudier son évolution récente à travers la température et les précipitations, étudier des indices révélateurs du changement climatique dans la région et établir des projections et des tendances futures du climat, à l'aide des modèles prévisionnels appropriés.

MATERIEL ET METHODES

La région d'étude

La région de Marrakech-Safi s'étend sur une superficie de 39 000 km², soit 5,5% du territoire national. Le chef-lieu de la région est la ville de Marrakech, mais elle compte aussi les deux grandes villes de Safi et d'Essaouira (fig. 1).

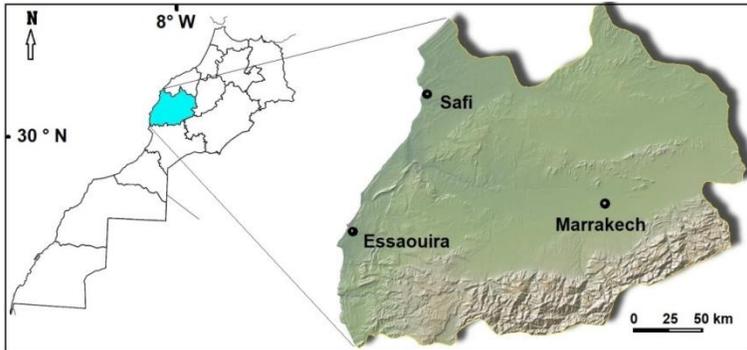


Figure 1 : Situation géographique de la région de Marrakech-Safi

La région dispose d'un cadre géographique très varié, composé au sud d'une grande chaîne de montagne culminant à plus de 4000 m (le Haut Atlas), de vastes plaines arides (les plaines du Haouz, d'Abda et de Rehamna) et d'un littoral océanique doux (littoral atlantique).

Le climat de la région est soumis aux influences de trois paramètres fondamentaux : des latitudes pré-sahariennes, des altitudes élevées en montagne et l'influence de l'océan Atlantique. Ce climat est caractérisé par une grande variabilité pluvio-thermique : les températures maxima sont autour de 38°C et les minima de l'ordre de 4,9°C et 80% du territoire de la région présente une température moyenne d'environ 18°C (HCR, 2005). Les précipitations sont également assez irrégulières sur les plans spatial et temporel. Elles varient d'une année à l'autre et oscillent entre 190 mm sur les plaines à 650 mm en zones montagneuses (Saidi et al., 2012).

Les données Météorologiques

Les données météorologiques utilisées dans ce travail représentent une série observées de températures moyennes, maximales et minimales ainsi que des cumuls de précipitations pour la période 1961-2015. Ces données sont fournies par la Direction Régionale de l'Environnement de Marrakech.

Les Ré-analyse NCEP à basse résolution

Ces données sont issues du projet NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction et National Center for Atmospheric Research). C'est un projet américain qui fournit de nouvelles Ré-analyses atmosphériques en utilisant les données historiques et les systèmes d'assimilations et produit l'analyse de l'état de l'atmosphère actuelle. L'un des principaux avantages des

réanalyses NCEP est l'exhaustivité de leur couverture spatiale et temporelle. Cela les rend idéales pour étudier les grands traits du changement climatique sur diverses régions du monde (Reid et al., 2001).

Les scénarios de changement climatique HadCM3 à basse résolution

Les scénarios HadCM3 (Hadley Centre Coupled Model) sont des perspectives du changement climatique. Ils simulent le climat possible dans le futur en fonction des niveaux futurs de la population mondiale, de l'activité économique et des émissions de gaz à effet de serre. Des modèles atmosphériques transforment des hypothèses d'émissions de gaz à effet de serre (notamment, le CO₂) en projections climatiques. Deux scénarios de changements climatiques sont habituellement utilisés : un scénario pessimiste A2 et un scénario moins pessimiste B2.

A2 est un scénario qui prévoit une augmentation rapide de la population et des activités économiques. L'industrialisation continue sa croissance en utilisant des technologies polluantes et en ayant de plus en plus recours aux énergies fossiles.

B2 est un scénario moins pessimiste qui prévoit un monde où des efforts sont consentis pour une viabilité économique basée sur des solutions locales. La croissance de la population mondiale et l'épuisement rapide des énergies fossiles sont moins alarmants que pour le scénario A2.

L'outil d'analyse des projections : Le modèle SDSM

Le modèle statistique de réduction d'échelle SDSM (Statistical DownScaling Model) est un modèle qui permet d'obtenir des données climatiques à plus haute résolution à partir d'une sortie d'un modèle de circulation générale à résolution plus grande (Wilby et al., 2002). Car les études locales et études de cas nécessitent une résolution spatiale fine, et comme un climat local résulterait de l'interaction d'une circulation globale et des éléments locaux (Von Storch, 1999), cette méthode de descente d'échelle est élaborée pour relier les variables climatiques simulées par les modèles globaux à grande échelle et les variables climatiques locales (Herrera et al., 2006). A partir donc de données météorologiques observées localement et celles de plus grande échelle (NCEP), un calibrage du modèle SDSM est effectué en suivant les deux scénarios de changement climatique HadCM3, A2 et B2. Des projections futures sont ainsi établies à l'horizon 2099.

RESULTATS ET DISCUSSION

Le climat récent de la région de Marrakech –Safi et son évolution. L'exemple des villes de Marrakech et d'Essaouira de 1961 à 2015

Les villes d'Essaouira (31,5°N) et de Marrakech (31,6°N) sont caractérisées par des températures irrégulières. Mais la position géographique d'Essaouira sur le littoral atlantique régularise un peu son climat en atténuant les différences entre les températures maximales et minimales. A l'opposé, le caractère continental de Marrakech est illustré par ses plus grandes amplitudes thermiques. Par ailleurs, sur une chronique de 55 ans, les courbes de tendance indiquent une augmentation des températures dans les deux stations. Les températures annuelles ont en effet enregistré une augmentation moyenne de 0,9°C à Essaouira et de 1,5°C à Marrakech entre 1961 et 2015 (fig. 2). L'augmentation est moins accentuée à Essaouira grâce notamment à un microclimat influencé par le courant océanique froid des Canaries.

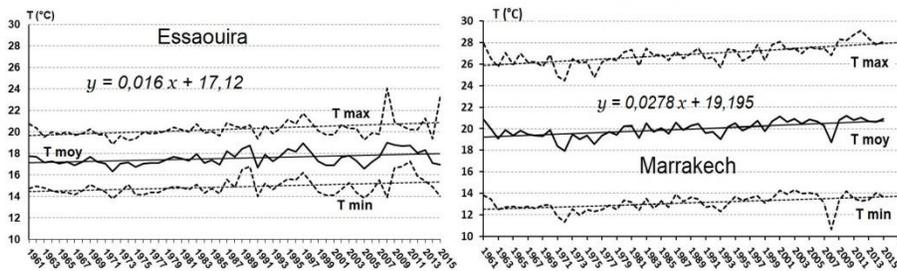


Figure 2 : Variations et tendances des températures minimales, maximales et moyennes annuelles à Marrakech et à Essaouira

Pour les précipitations (fig. 3), elles sont beaucoup plus variables d'une année à l'autre. A Marrakech, la moyenne annuelle est de l'ordre de 269 mm et le coefficient de variation est de 0,34. Mais la variabilité est davantage accentuée sur le littoral d'Essaouira avec un coefficient de 0,53 et une moyenne de 289 mm de 1961 à 2015. Les tendances sont aussi nuancées et même inversées. Une tendance à la baisse est constatée à la station de Marrakech avec une baisse moyenne des précipitations de l'ordre de 71 mm en 55 ans ; alors qu'à Essaouira, la tendance est plutôt légèrement à la hausse grâce notamment aux précipitations exceptionnelles des années récentes de 1996, 2009 et 2013 (respectivement 838, 967 et 528 mm). Ces pulsations brutales dans la pluviométrie annuelle d'Essaouira conduit à des constats inverses de ce qui est observé dans le reste du pays, à savoir une tendance à la sécheresse dans la

plupart des stations météorologique (Stour et Agoumi, 2008 ; Jouilil et al., 2013 ; MEEMEE, 2016).

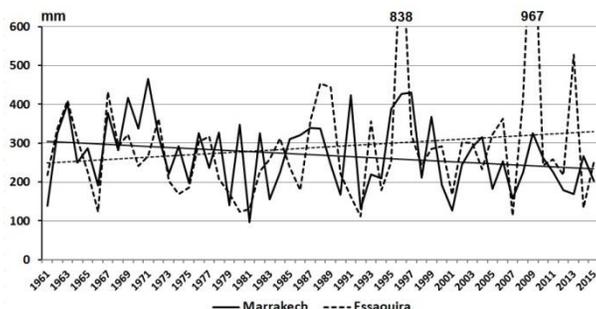


Figure 3 : variations et tendances des précipitations annuelles à Marrakech et à Essaouira de 1961 à 2015

Indices révélateurs du changement climatique

Un groupe de travail de climatologie de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) a recommandé une liste d'indices climatiques simples et accessibles (Frich et al., 2002). Ces indices permettent de cerner les changements climatiques d'une région en comparaison avec d'autres. Plusieurs études ont traité ces indices (Peterson et al., 2008 ; Alexander and Arblaster 2009 ; Perkins, 2011 ; Sillmann et al. 2013 ; Moron et al., 2016). Ces travaux ont permis d'avancer sur les caractéristiques du climat actuel et futur, des extrêmes et des tendances climatiques. Deux grandes classes d'indices sont distingués : celles qui sont définis par des quantiles et celles qui sont définis par des seuils fixes. Dans ce dernier groupe, on trouvera par exemple le nombre total annuel de jours chauds. C'est à dire le nombre total annuel de jours ayant une température maximale supérieure à 30°C (SU30 ou « summer days » 30) ou à 35°C (SU35) ; ou encore l'indice des vagues de chaleur WSDI (Warm Spell Duration Index), qui correspond au nombre total annuel de jours avec au moins six jours consécutifs de température maximale supérieure au percentile 90. Au même titre que le WSDI, l'indice des vagues de froid CSDI (Cold Spell Duration Index) correspond au nombre total annuel de jours avec au moins six jours consécutifs de température minimale inférieure au percentile 10.

Les indices de chaleur (SU)

Le calcul et l'analyse des indices de chaleur à la ville de Marrakech (fig. 4) révèlent une tendance claire à l'augmentation de ce nombre de jours chauds : en

55 ans, ce nombre a augmenté de 27, soit environs 5 jours chauds de plus par décennie. Le seuil plus élevé de 35°C renvoie au même constat avec une augmentation de 22 jours (soit 4 jours chauds de plus par décennie). L'augmentation de ces jours est beaucoup moins prononcée à Essaouira (fig. 5). A peine 1 jour et demi par décennie pour le SU 30 et moins d'un jour pour le SU 35. La tendance serait même constatée si ce n'est les trois dernières années qui ont connu plusieurs jours dépassant les seuils de 30 et 35 °C. Les dernières années sont donc autant pluvieuses que chaudes dans cette ville littorale. Le caractère irrégulier des pluies et des températures annuelles y est plus soutenu qu'à l'intérieur des terres.

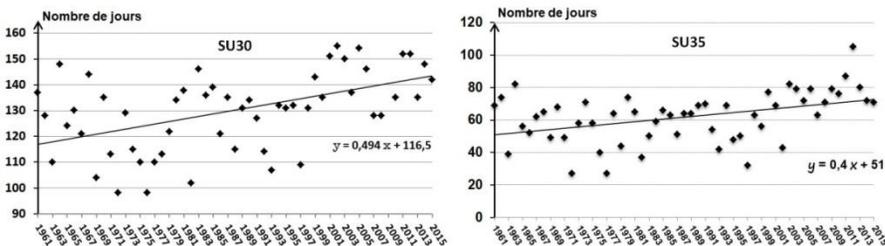


Figure 4 : Variations du nombre de jours par an à température maximale supérieure à 30 °C (SU30) et à 35 °C (SU35) à Marrakech

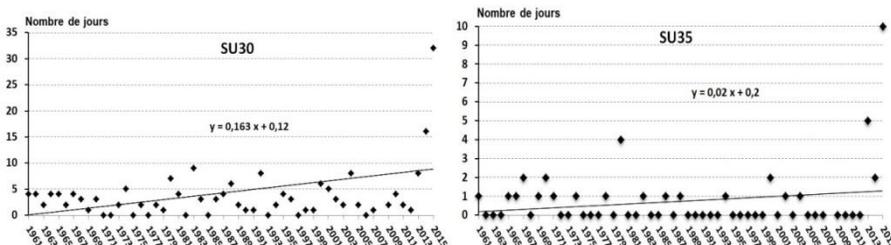


Figure 5 : Variations du nombre de jours par an à température maximale supérieure à 30 °C (SU30) et à 35 °C (SU35) à Essaouira

Les vagues de chaleur WSDI et les vagues de froids CSDI

Le nombre total annuel de jours avec au moins six jours consécutifs de température maximale supérieure au percentile 90 (ou vagues de chaleur) enregistrent à Marrakech et à Essaouira une tendance à l'augmentation (fig. 6). De 1961 à 2015, neuf jours de plus sont constatés à Marrakech et surtout 29 à Essaouira. Dans cette dernière ville, pas moins de 5 jours s'ajoutent chaque décennie aux vagues de chaleurs annuelles. Cette forte tendance s'est manifestée grâce aux vagues importantes des dernières années de 2008 à 2015.

Quant aux vagues de froid (fig. 7), elles ont tendance à baisser aux deux villes. Neuf jours en moyenne de moins à Marrakech et sept à Essaouira. La baisse des vagues de froid et la croissance du nombre des vagues de chaleur confirment donc les premiers constats des hausses globales des températures et annoncent un réchauffement certain du climat des deux villes.

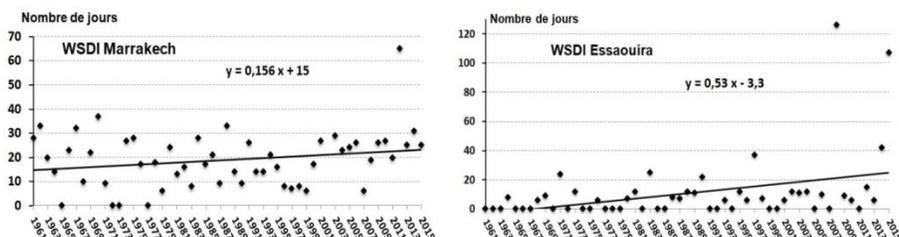


Figure 6 : Variations et tendances des vagues de chaleur à Marrakech et à Essaouira de 1961 à 2015

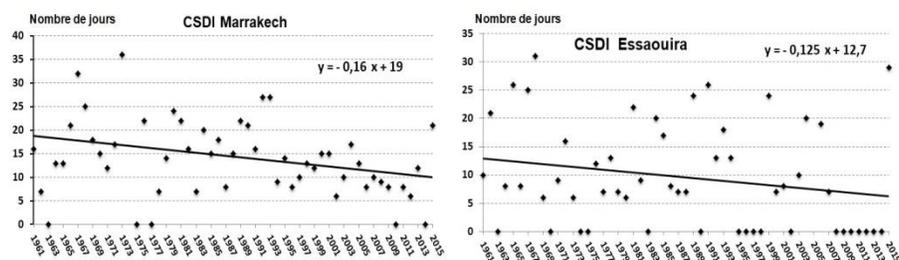


Figure 7 : Variations et tendances des vagues de froid à Marrakech et à Essaouira de 1961 à 2015

Projection du climat futur de Marrakech à l’horizon 2099

L’usage du modèle statistique de réduction d’échelle SDSM (Statistical DownScaling Model) en suivant les procédures de l’outil (Genèse des données météorologiques, calibration du modèle, analyse des données et élaboration de scénarios) a permis de produire des ensembles de séries de données météorologiques quotidiennes synthétiques à l’aide des variables prédicteurs atmosphériques fournies par un modèle climatique global (MCG). Ces variables sont bien entendu normalisées par rapport à la période de référence.

Les précipitations

Le résultat graphique des projections futures des précipitations annuelles de Marrakech à l’horizon 2099 (fig. 8) montre une accentuation de la variabilité

pluviométrique et une légère tendance à la baisse selon le scénario optimiste B2. Le scénario pessimiste A2, est bien évidemment beaucoup plus alarmant avec une baisse plus importante pouvant atteindre plusieurs dizaines de millimètres. Ce constat est toutefois à prendre avec précaution car si la communauté scientifique est dans une grande majorité convaincue de la tendance vers un réchauffement du climat, cette communauté est beaucoup plus divisée quant à la baisse des précipitations dans certaines régions. Des experts estiment que les données actuelles sont trop rares et incomplètes pour qu'une tendance à la hausse ou à la baisse des précipitations puisse se dégager sur telle ou telle zones.

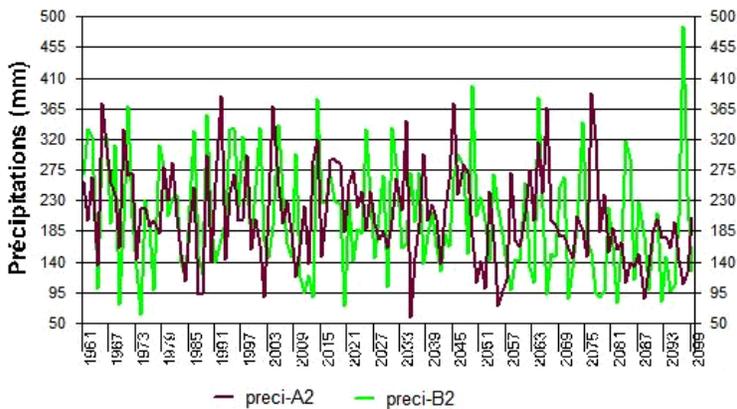


Figure 8 : Résultat des projections des précipitations annuelles futures de la ville de Marrakech à l'horizon 2099 selon les scénarios A2 et B2

Les températures minima, maxima et moyennes

Les projections futures des températures minima, maxima et moyennes annuelles à Marrakech (fig. 9) montrent toutes des tendances à la hausse, que ce soit pour le scénario des émissions A2 ou celui de B2. La tendance à la hausse suivrait d'abord une pente douce jusqu'en 2050 où le taux d'augmentation devient plus élevé. Les températures minimales augmenteraient par exemple selon le second scénario optimiste, d'un degré à l'horizon 2050 et d'un autre à l'horizon 2099. Mais selon le scénario pessimiste des émissions A2, ces deux augmentations seraient respectivement de 1 puis de trois degrés.

Les températures moyennes annuelles suivent à peu près les mêmes tendances de hausse, avec une accentuation du phénomène après 2050, échéance à laquelle les deux scénarios sont plus nuancés. A2 se démarque en effet plus nettement

par des taux d'augmentation plus importants. Alors qu'elle oscillait entre 19 et 20°C, la température moyenne annuelle atteindrait environ 22,5 selon les prévisions du scénario B2 et environ 24,5 selon les prévisions du scénario A2 (fig. 9).

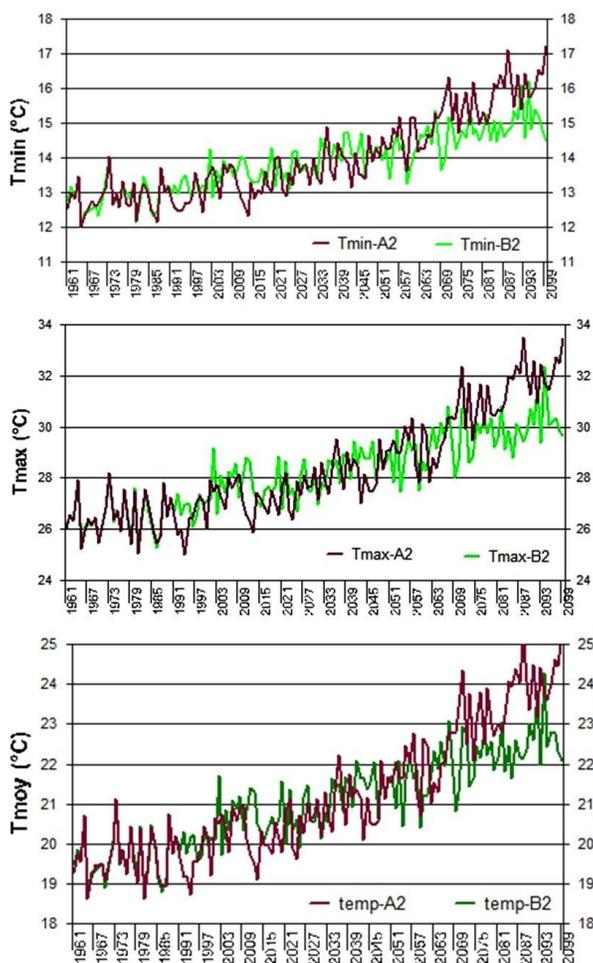


Figure 9 : Projections des températures minimales, maximales et moyennes annuelles de la ville de Marrakech à l'horizon 2099 selon les scénarios A2 et B2

CONCLUSION

L'étude d'une chronique hydro-pluviométrique de 55 ans, des villes de Marrakech et d'Essaouira indiquent des tendances nettes de l'augmentation des températures dans les deux stations. L'augmentation est toutefois beaucoup plus accusée à la ville continentale de Marrakech qu'à Essaouira, sur le littoral atlantique, qui jouit d'un microclimat doux influencé par le courant océanique froid des Canaries. Pour les tendances des précipitations, un constat particulier se dégage pour la ville d'Essaouira où les fortes précipitations des dernières années plaident pour une légère tendance à la hausse des pluies annuelles. Le même constat est établi par d'autres études pour la ville voisine de Safi (Sebbar et al., 2014) ou dans d'autres contrées du milieu aride (Eskandari et al., 2016). La tendance vers la hausse ou vers la baisse des précipitations alimente en effet les débats des experts, dont certains affirment que la rareté et le caractère incomplet des données actuelles ne permettent pas de dégager des tendances à la hausse ou à la baisse des précipitations sur une région donnée. Le résultat pour la ville de Marrakech est plus conforme aux conclusions des rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) qui stipule une baisse pluviométrique d'environ 20 % en Afrique du Nord-Ouest et dans le bassin méditerranéen (IPCC, 2013). Pour cette ville, tous les indices révélateurs du réchauffement climatique sont alarmants, notamment le nombre de jours chauds et les vagues de chaleur. Même constat pour les projections futures selon les simulations des modèles de circulation générale, où les tendances à la hausse sont enregistrées pour les températures, à la fois pour le scénario des émissions contrôlées ou non contrôlées, des gaz à effet de serre. Ici ou ailleurs sur terre, des solutions individuelles ou collectives pour stopper cette ascension thermique sont inévitables pour le bien être des générations futures. La solution est aussi simple que compliquée : réduire les émissions de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. C'est-à-dire réduire l'usage du pétrole, du charbon et d'autres combustibles fossiles pour l'énergie que nous utilisons. En utilisant moins, parallèlement avec des sources renouvelables, chaque pays huilerait la mécanique de lutte contre le réchauffement globale. Ces pays auraient aussi besoin d'une communauté d'acteurs (politique, scientifique, société civile ... etc) qui continuent d'analyser le changement du climat. Cette communauté contribuerait à la compréhension fondamentale de la problématique et élargirait les champs des solutions raisonnables et appropriées par zone géographique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AIT BRAHIM Y., SAIDI M.E., KOURAISS K., SIFEDDINE A., BOUCHAOU L. (2016). Analysis of observed climate trends and high resolution scenarios for the 21st century in Morocco. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, Volume 8, Issue 4, pp. 1375-1384.
- ALEXANDER, L. V. and ARBLASTER, J. M. (2009). Assessing trends in observed and modeled climate extremes over Australia in relation to future projections. *International Journal of Climatology*, volume 29, n° 3, pp. 417–435.
- CHRISTENSEN, J.H., HEWITSON B., BUSUIOC A., CHEN A., GAO X., HELD I., JONES R., KOLLI R.K., KWON W.-T., LAPRISE R., MAGAÑA RUEDA V., MEARNES L., MENÉNDEZ C.G., RÄISÄNEN J., RINKE A., SARR A. and WHETTON P. (2007): Regional Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, United Kingdom and New York.
- ESKANDARI H., BORJI M, KHOSRAVI H., and MESBAHZADEH T. (2016). Desertification of forest, range and desert in Tehran province, affected by climate change. *Solid Earth*, n° 7, pp. 1–11. doi:10.5194/se-7-1-2016
- FNIGUIRE F., LAFTOUHI N., SAIDI M. E., ZAMRANE Z., EL HIMER H., KHALIL N. (2017). Spatial and temporal analysis of the drought vulnerability and risks over eight decades in a semi-arid region (Tensift basin: Morocco). *Theoretical and Applied Climatology*, n°130, pp. 321–330. doi:10.1007/s00704-016-1873-z
- FRICH P., ALEXANDER L. V., DELLA-MARTA P., GLEASON B., HAYLOCK M., KLEIN TANK A. M. G., PETERSON T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, n°19, pp. 193-212.
- HANSEN J., RUEDY R., SATO M., LO K. (2006). GISS Surface Temperature Analysis. *Global Temperature Trends: 2005 Summation*. NASA Goddard Institute for Space Studies and Columbia University Earth Institute, New York, NY 10025, USA.
- HCR (Haut-Commissariat au Plan) (2005). *Le Plan de développement économique et social 2000-2004. Région de Marrakech-Tensift-Alhaouz. Rapport Interne*. pp. 325-350.
- HERRERA R.G., PUYOL D.G., MARTIN E.H., PRESA L.G. et RODRIGUEZ P.R. (2001). Influence of the North Atlantic Oscillation on the Canary Islands precipitation, *Journal of Climate* volume 14, n°19, pp. 3889-3903.

- HERRERA E., OUARDA T. et BOBEE B. (2006). Méthodes de désagrégation appliquées aux Modèles du Climat Global Atmosphère-Océan (MCGAO). *Revue des sciences de l'eau*, volume 19, n°4, pp. 297–312. doi:10.7202/014417ar
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2013). *Climate Change 2013. The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New-York, NY, USA, 1535 p.
- JOUILIL I., BITAR K., SALAMA H., AMRAOUI , MOKSSIT A. et TAHIRI M. (2013). Sécheresse météorologique au bassin hydraulique Oum Er Rbia durant les dernières décennies. *Larhyss Journal*, n° 12, pp. 109-127.
- KLOSE S., REICHERT B., LAHMOURI A. (2008). Management options for a sustainable groundwater use in the Middle Drâa Oases under the pressure of climatic changes. In: Zereini F., Hötzl H. (eds) *Climatic Changes and Water Resources in the Middle East and North Africa*. Environmental Science and Engineering. Springer. pp. 179–195. doi : 10.1007/978-3-540-85047-2_14
- KNIPPERTZ P., CHRISTOPH M. et SPETH P., (2003). Long-term precipitation variability in Morocco and the link to the large-scale circulation in recent and future climates, *Meteorology and Atmospheric Physics* 83, pp. 67-88. DOI : 10.1007/s00703-002-0561-y
- LINDNER M., MAROSCHEK M., NETHERER S. (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, volume 259, n° 4-5, pp. 698-709.
- MEEMEE (Ministre de l’Energie, des Mines, de l’Eau et de l’Environnement) (2016). 3è Communication Nationale du Maroc à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques. Rapport d’étude. 296 p.
- MORON V., OUESLATI, B., POHL, B., ROME, S., and JANICOT, S. (2016). Trends of mean temperatures and warm extremes in northern tropical Africa (1961-2014) from observed and PPCA-reconstructed time series. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, volume 121, n° 10, pp. 5298–5319.
- NICHOLSON S.E. et KIM J. (1997). The relationship of the El Niño-Southern Oscillation to African rainfall, *International Journal of Climatology* n° 17, pp. 117–135.
- OMM (2013). *Le climat dans le monde 2001–2010. Une décennie d’extrêmes climatiques*. Rapport de synthèse de l’Organisation Météorologique Mondiale, OMM-N° 1119, 20 p.
- PERKINS S. E. (2011). Biases and model agreement in projections of climate extremes over the Tropical Pacific. *Earth Interactions*, volume 15, n° 24, pp. 1–36.
- PETERSON T. C., ZHANG, X., BRUNET-INDIA, M., and V´AZQUEZ-AGUIRRE, J. L. (2008). Changes in North American extremes derived from daily weather data.

Journal of Geophysical Research, volume 113, n° D07113.
doi:10.1029/2007JD009453

- REID P. A., JONES P. D., BROWN O., GOODESS C. M., DAVIES T. D. (2001). Assessments of the reliability of NCEP circulation data and relationships with surface climate by direct comparisons with station based data. *Climate Research*, Vol. 17, pp. 247–261.
- SAIDI M.E.M, BOUKRIM S., FNIGUIRE F., RAMROMI A., (2012). Les écoulements superficiels sur le Haut Atlas de Marrakech. Cas des débits extrêmes. *Larhyss Journal*, n° 10, pp.75-90.
- SEBBAR A., HSAINE M., FOUGRACH H., SALOUI A., BADRI W. (2014). Retour des pluies au Maroc méridional. *Proceeding du XXVIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*. 2-5 juillet 2014 – Dijon (France). pp. 596-600.
- SILLMANN J., KHARIN V., ZHANG X., ZWIERS F. W., BRONAUGH D. (2013). Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble : Part 1. Model evaluation in the present climate. *Journal of Geophysical Research : Atmospheres*, volume 118, n° 4, pp. 1716–1733.
- STOUR L., AGOUMI A. (2008). Sécheresse climatique au Maroc durant les dernières décennies. *Hydroécologie Appliquée*, Tome 16, pp. 215-232.
- VON STORCH, H. (1999). On the use of 'inflation' in statistical downscaling, *Journal of Climate*, volume 12, n° 12, pp. 3505-3506.
- WARD, M.N., LAMB P.J., PORTIS D.H., EL HAMLY M., SEBBARI R. (1999). Climate Variability in Northern Africa: Understanding Droughts in the Sahel and the Maghreb, dans : Navarra A, ed. *Beyond El Niño : Decadal and Interdecadal Climate Variability*. Berlin : Springer Verlag.
- WILBY R.L., DAWSON C.W., BARROW. E.M. (2002). "SDSM – A Decision Support Tool for the Assessment of Regional Climate Change Impacts." *Environmental Modelling & Software*, n° 17, pp. 147-159.