

## TENDANCE ET VARIABILITÉ DES ÉVÉNEMENTS EXTRÊMES AU MAROC

FILAHY S. <sup>(1,2)</sup>, MOUHIR L. <sup>(1)</sup>, TANARHTE M. <sup>(3)</sup>, TRAMBLAY Y. <sup>(4)</sup>

(1) University of Hassan II, PO Box 146, Mohammedia, Maroc [Latmouh@gmail.com]

(2) Direction de la Météorologie Nationale, Casablanca, Maroc [Sa.filahi@gmail.com]

(3) Max Planck Institute for chemistry, Mainz, Allemagne [meryem.tanarhte@gmail.com]

(4) IRD - HydroSciences Montpellier, UMR5569, Montpellier, France [yves.tramblay@ird.fr]

**Résumé** – Le but de cet article est d'évaluer les tendances et les relations entre les indices climatiques décrivant les événements extrêmes au Maroc avec l'oscillation nord atlantique (NAO), l'oscillation méditerranéenne (MO) et l'oscillation méditerranéenne de l'ouest (WEMO). Les indices extrêmes ont été calculés sur la base des observations quotidiennes de température maximale et minimale, ainsi que les quantités quotidiennes des précipitations en utilisant une approche recommandée par l'équipe d'experts sur la détection des changements climatiques et les indices (ETCCDI). Ces tendances ont été calculées pour 20 stations sur une période de 1970 jusqu'à 2012. Une grande proportion des stations ont des tendances statistiquement significatives mettant en évidence une augmentation de la température dans la région d'étude. Les indices de précipitations sont, en général, statistiquement peu significatifs et révèlent des tendances mixtes. On a une tendance vers l'augmentation des précipitations dans l'extrême nord du Maroc et une tendance vers la sécheresse dans la partie sud.

**Mots-clés** : changement climatique, événements extrêmes, NAO, MO, Maroc.

**Abstract – Trends and variability in extreme events over Morocco.** The purpose of this article is to evaluate the relation between the indices of extreme weather events in Morocco and the North Atlantic Oscillation (NAO), the Mediterranean Oscillation (MO) and the West Mediterranean Oscillation (WEMO). The indices were calculated on the basis of daily observations of maximum and minimum temperature and the daily amounts of precipitation. Trends in these indices were calculated at 20 weather stations from 1970 to 2012. A large number of stations have significant trends and confirm an increase in temperature. In general, the trends for the precipitation indices are much less significant than for temperature indices and show more mixed spatial patterns of change. Significant increases in heavy precipitation events have been noticed at a few locations in the north and central parts of Morocco, with a general tendency towards drier conditions.

**Keywords** : climate change, extreme events, NAO, MO, Morocco.

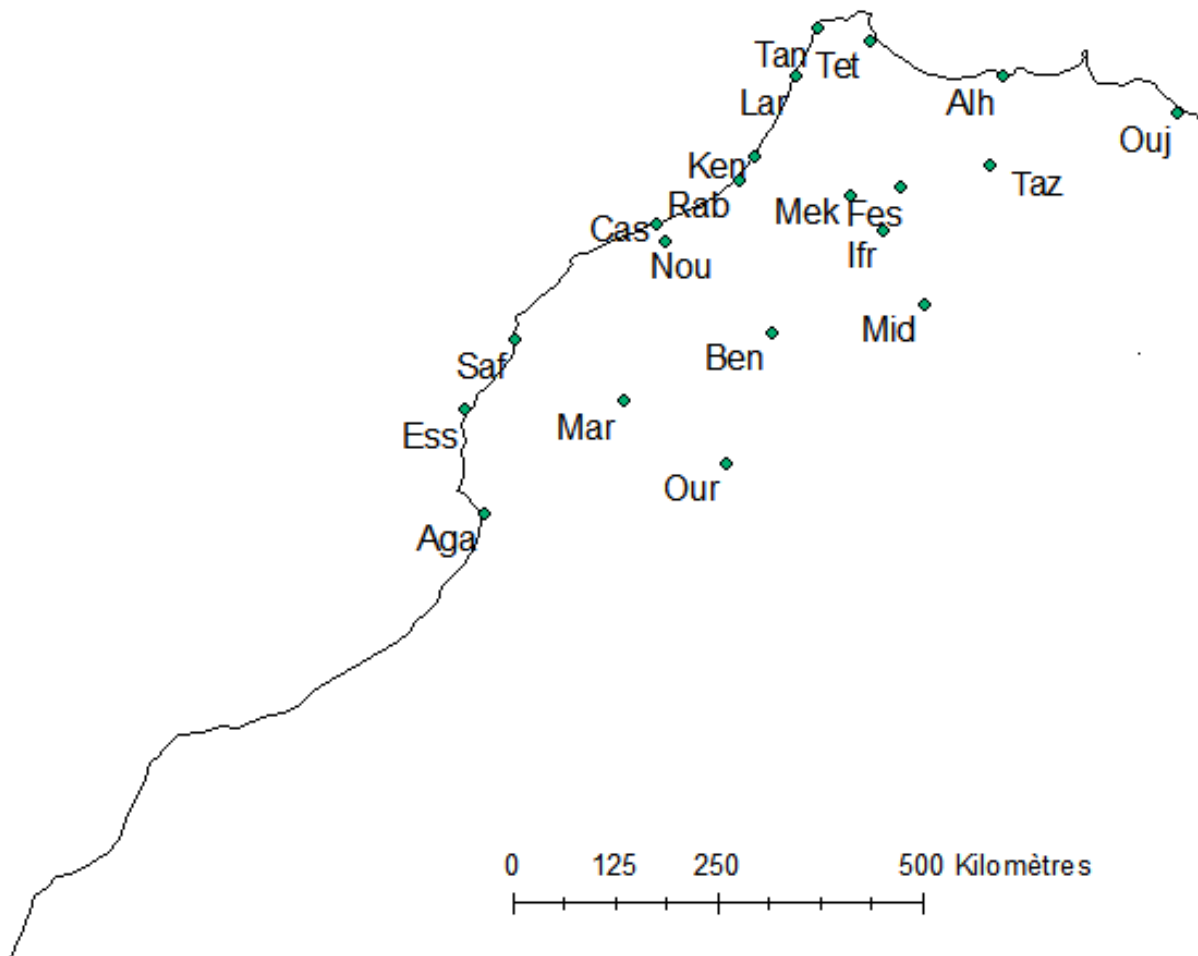
### Introduction

Le Maroc est situé entre les régions arides du Sahara et en bordure de la Méditerranée et de l'Atlantique (Born *et al.*, 2008). Son climat est principalement semi-aride avec des étés chauds et secs, des sécheresses occasionnelles, et des hivers doux, relativement humides (Critchfield, 1983). La production agricole et l'économie locale dépendent beaucoup de la disponibilité en eau. Tout changement dans la fréquence ou la gravité des événements météorologiques et climatiques extrêmes pourraient avoir des répercussions importantes sur la nature et la société. Il est donc important d'analyser ces événements extrêmes.

Plusieurs études ont montré la vulnérabilité du Maroc aux événements hydrologiques extrêmes (Douglas *et al.*, 2008). Ainsi, plusieurs événements ayant causé des pertes humaines et des dégâts économiques ont été signalés, comme en 1995 (vallée de l'Ourika), 2002 (Mohammadia, El Jadida, Taza, Tétouan, Settat, Berrechid) et 2009 (Rabat, Tanger, Nador, Casablanca, Khénifra, Tétouan, Agadir, Essaouira), (Tramblay *et al.*, 2012). Par ailleurs, le Maroc a souffert d'une série d'années sèches: 1944-1945, 1982-1983, 1994-1995, 1998-2000 et 2006-2007 (Bouaicha et Benabdelfadel, 2010). Le but de cette étude est d'évaluer la fréquence et la gravité des événements météorologiques extrêmes et leurs évolutions au cours des dernières décennies au Maroc, en utilisant des indices climatiques de température et de précipitations calculé à partir du réseau synoptique de stations météorologiques de Météo-Maroc. L'équipe d'experts sur la détection des changements climatiques et les indices (ETCCDI) a facilité l'analyse de ces extrêmes en définissant un ensemble d'indices climatiques et un logiciel (RClmDex) qui les calculent. Ce logiciel, basé sur R, est développé à la Direction de la recherche climatique du Service météorologique du Canada (Zhang *et al.*, 2005).

## 1. Données et méthodologie

L'étude du climat et de sa variabilité nécessitent absolument l'acquisition de données d'observations fiables dans la région d'intérêt. Notre source d'information est le réseau des stations synoptiques (Direction de la Météorologie Nationale). La période de référence s'étend de 1970 à 2012. Elle a été choisie de manière à maximiser le nombre de stations utilisables. Des 43 stations météorologiques existantes, nous avons choisi seulement 20 pour cette étude en raison de leur longueur d'enregistrement (au moins 30 ans d'observations). La figure 1 illustre la position géographique de ces stations et le tableau 1 donne leurs détails. Les données couvrent les variables suivantes: la température minimale et maximale et les précipitations. La plupart des stations sélectionnées sont situées dans la partie nord du Maroc où la densité de la population est la plus élevée.



**Figure 1.** Répartition géographique des 20 stations utilisées.

Un ensemble de 27 indices proposés par l'ETCCDI ont été calculés en utilisant le logiciel RClimDex. La description détaillée de ces indices et les équations nécessaires pour leurs calculs sont consultables sur le site web du groupe. ([http://etccdi.pacificclimate.org/indices\\_cal.shtml](http://etccdi.pacificclimate.org/indices_cal.shtml)). Le tableau 2 énumère les noms et les définitions des indices climatiques extrêmes calculés sur la période de référence de 1970 à 2012. Dans le but d'étudier la relation de ces indices extrêmes avec la variabilité interne à grande échelle du système climatique, nous avons calculé les corrélations entre ces indices et les indices de l'oscillation atlantique du nord (NAO), l'oscillation méditerranéenne (MO) et l'oscillation méditerranéenne de l'ouest (WEMO).

**Tableau 1.** Latitude, longitude et altitude des stations utilisées

Station	Nom	Lat (°)	Lon (°)	Altitude (m)
Aga	AGADIR	30,38	-9,56	23
Cas	CASABLANCA	33,56	-7,66	57
Tan	TANGER	35,71	-5,9	15
Rab	RABAT	34,05	-6,76	84
Alh	ALHOUCEIMA	35,18	-3,85	27
Ben	BENI MELLAL	32,36	-6,4	472
Ouj	OUJDA	34,78	-1,93	465
Mek	MEKNES	33,88	-5,53	548
Fes	FES	33,96	-4,98	571
Mid	MIDELT	32,68	-4,73	1508
Ess	ESSAOUIRA	31,51	-9,78	8
Ifr	IFRANE	33,5	-5,16	1664
Taz	TAZA	34,21	-4	510
Mar	MARRAKECH	31,61	-8,03	463
Ken	KENITRA	34,3	-6,6	12
Lar	LARACHE	35,18	-6,13	49
Saf	SAFI	32,28	-9,23	34
Tet	TETOUAN	35,58	-5,33	10
Nou	NOUACEUR	33,36	-7,56	200
Oua	OUARZAZATE	30,93	-6,9	1136

**Tableau 2.** Indices recommandés par l'ETCCDI

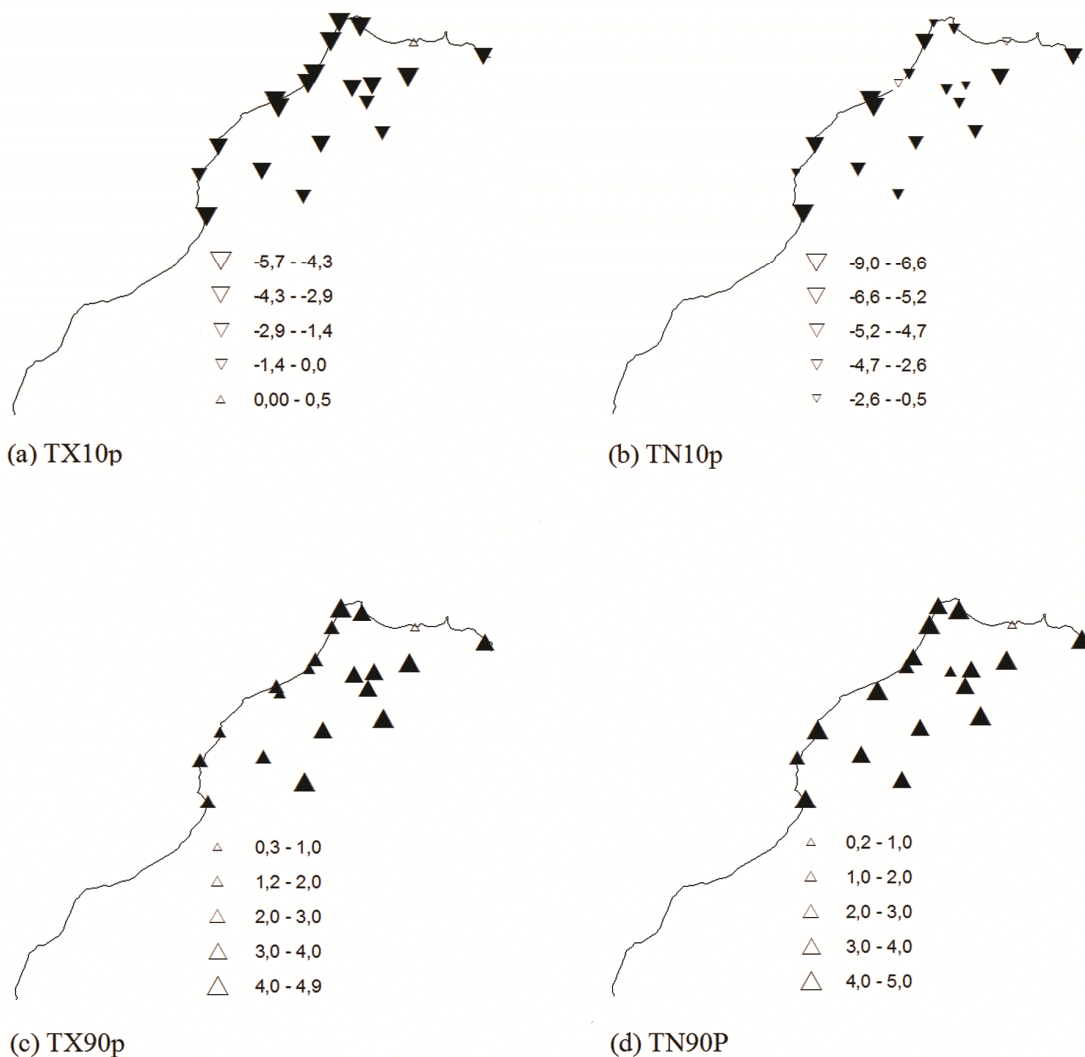
Label	Index Name	Index Definition	Units
TN10p	Cold nights	Percentage of days when TN < 10th percentile	%
TX10p	Cold days	Percentage of days when TX < 10th percentile	%
TN90p	Warm nights	Percentage of days when TN > 90th percentile	%
TX90p	Warm days	Percentage of days when TX > 90th percentile	%
RX1day	Max 1 day	Monthly maximum 1 day precipitation total	mm
	precipitation		
RX5day	Max 5 day	Monthly maximum 5 day precipitation total	mm
	precipitation		
SDII	Simple daily	The ratio of annual total precipitation to the number of wet	mm
	intensity	days	
R95p	Very wet days	Annual sum of daily precipitation > 95th percentile	mm

## 2. Résultats et discussion

### 2.1. Tendances des indices de température

La figure 2a montre la distribution spatiale des TX10p. Cet indice connaît une baisse significative et suggère donc une diminution du nombre de jours froids. La plus forte baisse se trouve à Casablanca, Agadir et Kénitra. Ces tendances semblent significatives dans toutes les stations à l'exception d'Alhoceima. En outre, une tendance à la baisse est observée avec TN10p (figure 2b). Cette tendance suggère une diminution du nombre de nuits froides. La

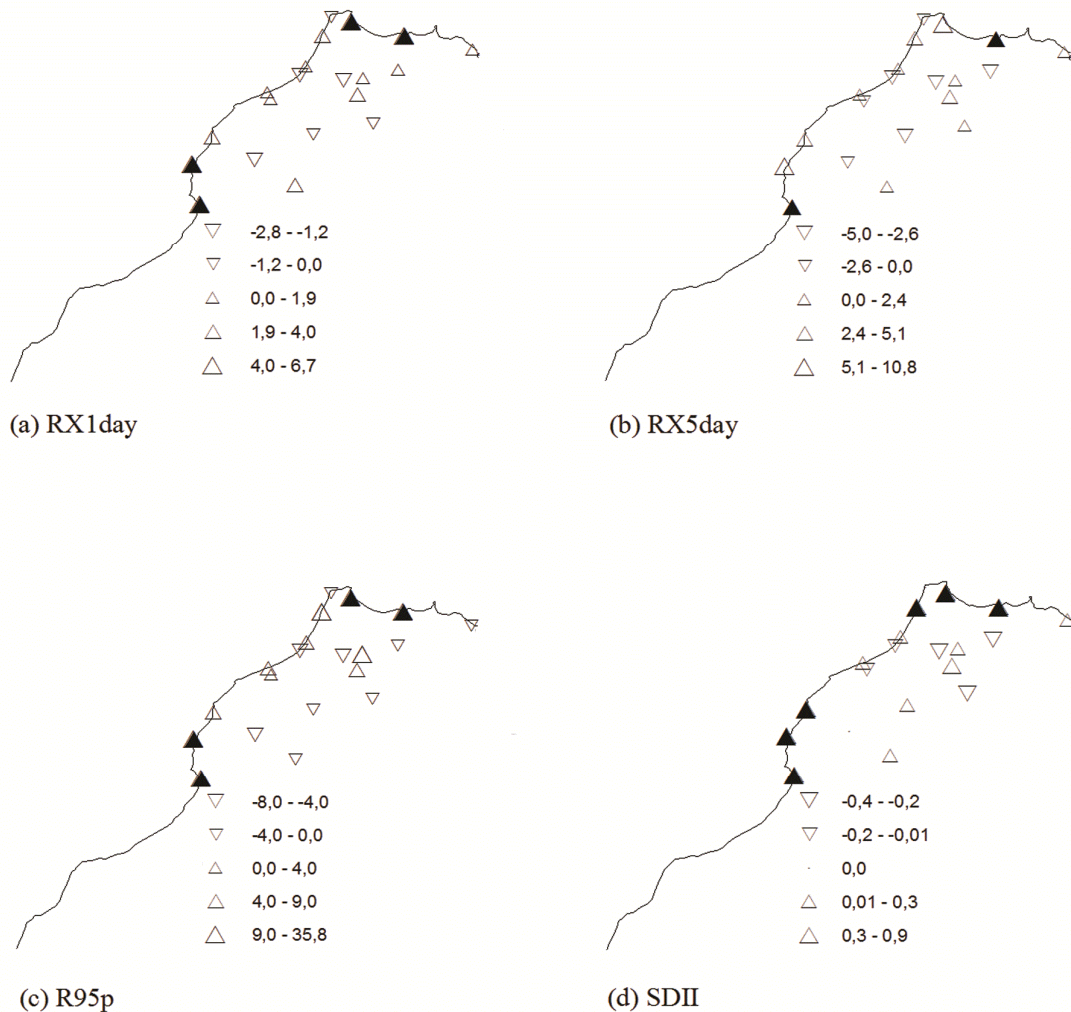
plus forte baisse a été observée à Agadir. Ces tendances sont significatives dans toutes les stations sauf à Alhoceima et à Rabat. La figure 2c illustre TX90p. Les tendances sont généralement de signes opposés à celles de TX10p. Elles sont significatives à toutes les stations à l'exception d'Alhoceima. La valeur maximale est observée à Ouarzazate. Ces valeurs indiquent une tendance vers des maxima quotidiens plus chauds. Pour TN90p (figure 2d) les tendances sont significatives à toutes les stations à l'exception encore d'Alhoceima et elles ont des signes opposés par rapport à ceux de TN10p. La valeur maximale est observée à Nouaceur. Ces valeurs indiquent donc une tendance vers des minima nocturnes plus chauds. Nous remarquons que la station d'Alhoceima présente des caractéristiques différentes que celles des autres stations, ceci est dû à sa situation géographique particulière, car elle est entourée par la Méditerranée et la chaîne montagneuse du Rif. Par conséquent, Alhoceima est soumise aux brises de mer qui peuvent rafraîchir les températures et en même temps causer des précipitations et le Rif empêche la brise de mer de se propager plus le loin dans le continent.



**Figure 2.** Distributions spatiales des indices de température (a) TX10p, (b) TN10p, (c) TX90p et (d) TN90p de 1970 à 2012. Un triangle vers le haut (bas) indique une tendance positive (négative). La taille des triangles indique la plage associée à la valeur en °C de la tendance sur 10 ans. NB : les triangles pleins correspondent aux tendances statistiquement significatives au niveau de 5%.

## 2.2. Tendance des indices de précipitation

Rares sont les tendances significatives positives qui sont détectées pour l'indice RX1day (figure 3a). Les événements de très fortes précipitations ne seraient donc pas en croissance significative. Toutefois, à Agadir, de tels évènements peuvent être plus intenses. Quatre stations connaissent des tendances statistiquement significatives de RX1day contre deux stations pour RX5day (Fig 3b). De même, cinq tendances statistiquement significatives sont observées pour R95p (Fig 3c), la tendance maximale est observée à Tétouan. La figure 3d montre SDII, défini comme l'intensité quotidienne moyenne pour les événements supérieurs ou égaux à 1 mm par jour. Six stations côtières ont été trouvées statistiquement significatives, elles sont toutes positives. La plus forte augmentation est détectée à Essaouira avec 0,9 mm par décennie.



**Figure 3.** Distributions spatiales des indices de précipitations. (a) RX1day, (b) RX5day, (c) R95p and (d) SDII de 1970 à 2012. Un triangle vers le haut (bas) indique une tendance positive (négative). La taille des triangles indique la plage associée à la valeur en °C de la tendance sur 10 ans. NB : les triangles pleins correspondent aux tendances statistiquement significatives au niveau de 5%.

## 2.3. Corrélation avec les indices de circulation atmosphériques

Nous avons utilisé le coefficient de corrélation de Spearman pour évaluer la relation entre les événements extrêmes et les indices qui représentent la circulation atmosphérique fondés sur la différence de pression entre deux points différents. Nous avons trouvé une relation plus forte de ces indices et la MO, la WEMO qu'avec la NAO. Malgré le fait que les corrélations

avec la NAO demeurent faibles mais, nous avons noté une corrélation meilleure avec les indices extrêmes des températures qu'avec les indices extrêmes des précipitations.

### Conclusion

Le but de ce document est de fournir un résumé de tendances climatiques extrêmes observées au Maroc au cours des quatre dernières décennies. Les indices ont été calculés en se basant sur les observations quotidiennes des températures maximale et minimale et des précipitations. Les tendances ont été calculées pour 20 stations météorologiques de 1970 à 2012. Pour les tendances de la température, un grand nombre de stations connaît des tendances significatives, ce qui confirmerait une augmentation de la température dans la zone d'étude. Les résultats montrent également une diminution du nombre de jours et de nuits froides et une augmentation du nombre de journées et de nuits chaudes. Les indices de précipitations sont beaucoup moins significatifs que les indices de température et des augmentations significatives des événements de fortes précipitations ont été remarquées à quelques endroits dans le nord et le centre du Maroc, malgré une tendance générale vers des conditions moins pluvieuses. La corrélation de ces extrêmes avec les indices climatiques a révélé une corrélation meilleure avec la WEMO et la MO qu'avec la NAO.

### Références bibliographiques

- Bouaicha R., Benabdelfadel A., 2010 : Variabilité et gestion des eaux de surface au Maroc. *Sécheresse*, **21**, 1-5.
- Born K, Fink A, Paeth H., 2008 : Dry and wet periods in the northwestern Maghreb for present day and future climate conditions. *Meteorologische Zeitschrift*, **17**, 533-551.
- Critchfield H.-J., 1983 : *General climatology*, 4th edn. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 453 pp.
- Douglas I., Kurshid A., Maghenda M., McDonnell Y., McLean L., Campbell J., 2008 : Unjust waters: climate change, flooding and the urban poor in Africa. *Environ. Urban.*, **20**, 187-205.
- Tramblay Y., Badi W., Driouech F., El Adlouni S., Neppel L., Servat E., 2012 : Climate change impacts on extreme precipitation in Morocco, *Global Planet. Change*, **82-83**, 104-114.
- Zhang X., Aguilar E., Sensoy S., Melkonyan H., Tagiyeva U., Ahmed N., Kutaladze N., himzadeh F., Taghipour A., Hantosh T.H., Albert P., Semawi M., Karam Ali M., Said Al-Shabibi M.-H., Al-Oulan Z., Zatari T., Khelet I.-A., Hamoud S., Sagir R., Demircan M., Eken M., Adiguzel M., lexander L., Peterson T.C., Wallis T., 2005 : Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. *Journal of Geophysical Research* 110:D22104, DOI: 10.1029/2005JD006181.