

EVOLUTION RECENTE DES EXTREMES PLUVIOMETRIQUES ET DES TEMPERATURES A DJIBOUTI

MAHAMOUD A.¹, LAMINOUS MANZO O.² et OZER P.³

¹ Département de Géomatique et des Sciences de l'Environnement, Université de Djibouti, Avenue Georges Clemenceau, BP 1904, République de Djibouti, mahamoud.ayan@gmail.com

² Département de Génie Rural & Eaux et Forêts, Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, Université de Maradi, BP 465 Maradi, Niger, lamine_ous@yahoo.fr

³ Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université de Liège, Avenue de Longwy 185, B-6700 Arlon, Belgique, pierre.ozier@gmail.com

Résumé : Un ensemble de 19 indices a été compilé pour vérifier si la fréquence et/ou la gravité des précipitations et des températures extrêmes a significativement évolué au cours des dernières décennies dans la ville de Djibouti en Afrique de l'Est. Cette étude s'appuie sur la seule série quotidienne homogène actuellement disponible qui peut être utilisée pour le calcul de toute modification significative des précipitations et de la température de ces dernières années. Elle couvre la période 1980-2011 pour les précipitations et la période 1966-2011 pour les températures maximale, minimale et moyenne. Les résultats montrent que les précipitations totales annuelles, le total annuel de jours de pluie et la fréquence des événements pluviométriques intenses ont fortement diminué au cours des 32 dernières années étudiées. Depuis 2007, les précipitations moyennes annuelles enregistrent un déficit de 73% par rapport à la moyenne sur 30 ans, une situation qui est bien pire que ce qui a été observé dans les années 1980. En ce qui concerne les températures, l'augmentation moyenne enregistrée au cours de la période 1966-2011 est de 0,28 °C par décennie, une valeur beaucoup plus élevée que l'augmentation globale des températures. Les vagues de chaleur caractérisées par des températures quotidiennes maximales ≥ 45 °C (99^e percentile) sont devenues 15 fois plus fréquentes que dans le passé (comparant les périodes 1966-1975 et 2002-2011) tandis que les nuits extrêmement froides ($< 18,7$ °C, 1^{er} percentile de la température minimale) ont presque disparu. Bien que la base de données devrait être étendue pour améliorer l'image globale des changements climatiques récents à Djibouti, il semble très probable que les déficits pluviométriques et les extrêmes de température croissants ont déjà affecté le peuple de la République de Djibouti, notamment la disponibilité en eau et la santé.

Mots-clés: Tendances climatiques, précipitations extrêmes, températures extrêmes, République de Djibouti.

Abstract: Recent trends in rainfall and temperature extremes in Djibouti.

A dataset of 19 derived indicators has been compiled to clarify whether the frequency and / or the severity of rainfall and temperature extremes changed over the last decades in the city of Djibouti in East Africa. This study uses the only current available coverage of homogenous daily series which can be used for calculating any significant change in rainfall and temperature in recent years. It covers the 1980–2011 period for precipitation and the 1966–2011 period for what regards maximum, minimum and mean temperature. Results show that the annual total precipitation, the annual total of wet days and the frequency of intense rainfall have strongly declined over the last 32 years. Yet, since 2007, mean yearly rainfall meets a 73% deficit when compared to the 30-year average, a situation that is much worse than what was observed in the early 1980s. For what regards temperatures, the average increase recorded during the 1966–2011 period is of +0.28°C per decade, a far higher value than the global rising temperature. Heatwaves characterized by daily maximum temperatures ≥ 45 °C (that is the 99th percentile) have become 15 times more frequent than in the past (comparing the 1966–75 and 2002–2011 periods) while extremely cool nights (< 18.7 °C, that is the 1st percentile in minimum temperature) have almost disappeared. Although the database should be extended to improve the global picture of recent climate changes in Djibouti, it seems very likely that rainfall shortages and increasing temperature extremes have already impacted the people of the Republic of Djibouti, especially the water availability and health sectors.

Keywords: Climate trends, extreme rainfall; extreme temperatures; Republic of Djibouti.

Introduction

Le réchauffement du système climatique est sans équivoque (IPCC, 2007). Les onze années les plus chaudes depuis 1850, date à laquelle ont débuté les relevés instrumentaux de la température à la surface du globe, ont été observées au cours des douze dernières années (1998-2012) (Jones, 2013). Il est très probable (probabilité de 90% à 95%) que les journées froides, les nuits froides et le gel ont été moins fréquents sur la plus grande partie des terres émergées depuis cinquante ans et que le nombre de journées chaudes et de nuits chaudes a, au contraire, augmenté. De plus, la fréquence des précipitations extrêmes dans la plupart des régions du monde s'est probablement accrue (probabilité de 66% à 90%) (IPCC, 2007). En plus des changements observés dans les aléas climatiques, la vulnérabilité ne cesse de croître au fur et à mesure que les populations et les infrastructures se concentrent dans des zones à risque et que le changement d'affectation des sols influe sur les effets catastrophiques d'aléas

extrêmes. Si la fréquence, l'intensité et les impacts des événements climatiques extrêmes sont bien documentés dans plusieurs régions du monde, l'Afrique reste peu étudiée. La disponibilité des données reste l'obstacle majeur pour réaliser l'étude sur les extrêmes climatiques (New *et al.*, 2006). La République de Djibouti ne fait pas exception et n'a encore jamais été étudiée. La présente étude vise à combler cette lacune.

1. Données

Pour l'analyse des tendances récentes des précipitations et des températures extrêmes, les données de la station synoptique de la ville de Djibouti (Latitude: 11,55 N, Longitude: 43,15 E; altitude: 13 m) située à l'aéroport international de Djibouti ont été mises à disposition par l'Agence Nationale de la Météorologie (ANM) de Djibouti. Ces données ont été saisies à partir des carnets d'observation originaux et vérifiées indépendamment. La base de données comprend les précipitations quotidiennes de janvier 1980 à décembre 2011 et les températures maximum, minimum et moyenne quotidiennes de janvier 1966 à décembre 2011. Il n'y a aucune donnée manquante, de sorte que la base de données peut être utilisée pour l'analyse des tendances (Klein Tank, 2002).

2. Méthodes

2.1. Indices de précipitations extrêmes

L'analyse des précipitations a exigé de calculer annuellement huit indices pluviométriques (Tab. 1) : le total pluviométrique (PTOT), le nombre total de jours humides (précipitations ≥ 1 mm, JP), la lame d'eau moyenne précipitée par jour humide (*Simple day intensity index*, SDII), le nombre total de jours caractérisés par des précipitations ≥ 10 mm et ≥ 20 mm (P10 et P20), la pluviométrie maximale enregistrée sur 1 jour (Px1J), la fréquence des événements pluviométriques intense (P95p) et extrême (P99p) basés sur les 95^e et 99^e percentiles calculés sur la période de trois décennies (1981-2010) (Donat *et al.*, 2013 ; Omondi *et al.*, 2013).

2.2. Indices de températures extrêmes

L'analyse des températures minimale (Tmin), maximale (Tmax) et moyenne (Tmoy) est basée sur 11 indices calculés sur la période de janvier à décembre (Tab. 1). Trois d'entre eux sont basés sur les valeurs moyennes annuelles des températures minimum, maximum et moyenne (TN, TX et TM) afin d'analyser les tendances globales des températures. Tous les autres indices sont basés sur les 1^{er}, 5^e, 95^e et 99^e percentiles qui définissent les nuits (à l'aide de Tmin) et les jours (à l'aide de Tmax) « très froids », « froids », « chauds », et « extrêmement chauds », respectivement. Ces valeurs de percentiles ont été calculées à partir de données de températures journalières sur la période 1971-2000 pour mettre en évidence les récents changements observés (New *et al.*, 2006 ; Donat *et al.*, 2013 ; Omondi *et al.*, 2013). Les valeurs seuils de températures calculées à partir des percentiles sont présentées dans le tableau 1. Notons que, à Djibouti, en une nuit extrêmement froide se caractérise par des températures minimales $\leq 18,6^{\circ}\text{C}$ et qu'une journée extrêmement chaude est définie lorsque les températures maximales sont $\geq 45,0^{\circ}\text{C}$.

2.3. Analyse des tendances

L'analyse des tendances linéaires (exprimées en % par décennie) a été réalisée par régression linéaire entre les différents indices pluviométriques et le temps (en années). Les pentes ainsi estimées ont été regroupées en quatre classes indiquant des tendances significatives à la hausse ou à la baisse. La limite des quatre classes considérées est définie à partir de la statistique t de Student utilisée pour tester l'hypothèse d'une pente égale à 0. La

tendance est dès lors qualifiée comme étant significative si la probabilité p du test t appliquée à la pente de régression est inférieure à 0,05 alors qu'elle n'est pas significative lorsqu'elle dépasse le seuil de 0,05.

Tableau 1. Liste des 19 indices utilisés dans l'analyse des événements climatiques extrêmes (les percentiles sont calculés sur la période 1981-2010 pour les précipitations et 1971-2000 pour les températures)

ACRONYME	NOM DE L'INDICE	DEFINITION	UNITE
PTOT	Précipitations annuelles	Précipitations totales annuelles	[mm]
JP	Jours de pluie	Nombre total de jours humides (≥ 1 mm)	[jours]
SDII	<i>Simple day intensity index</i>	Lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie	[mm/jour]
P10	Fréquence des pluies ≥ 10 mm	Nombre de jours avec des précipitations ≥ 10 mm	[jours]
P20	Fréquence des pluies ≥ 20 mm	Nombre de jours avec des précipitations ≥ 20 mm	[jours]
Px1J	Pluie maximale quotidienne	Précipitation maximale quotidienne	[mm]
P95p	Fréquence des pluies intenses	Nombre de jours avec des précipitations $\geq 95^{\text{e}}$ percentile	[jours]
P99p	Fréquence des pluies extrêmes	Nombre de jours avec des précipitations $\geq 99^{\text{e}}$ percentile	[jours]
TN	Tmin moyenne annuelle	Valeur moyenne annuelle des Tmin quotidiennes	[°C]
TX	Tmax moyenne annuelle	Valeur moyenne annuelle des Tmax quotidiennes	[°C]
TM	Tmoy moyenne annuelle	Valeur moyenne annuelle des Tmoy quotidiennes	[°C]
TN1p	Nuit extrêmement froide	Nombre de jours avec Tmin $\leq 1^{\text{er}}$ percentile (18,6°C)	[jours]
TN5p	Nuit froide	Nombre de jours avec Tmin $\leq 5^{\text{e}}$ percentile (20,2°C)	[jours]
TN95p	Nuit chaude	Nombre de jours avec Tmin $\geq 95^{\text{e}}$ percentile (32,2°C)	[jours]
TN99p	Nuit extrêmement chaude	Nombre de jours avec Tmin $\geq 99^{\text{e}}$ percentile (33,6°C)	[jours]
TX1p	Jour extrêmement froid	Nombre de jours avec Tmax $\leq 1^{\text{er}}$ percentile (27,5°C)	[jours]
TX5p	Jour froid	Nombre de jours avec Tmax $\leq 5^{\text{e}}$ percentile (28,5°C)	[jours]
TX95p	Jour chaud	Nombre de jours avec Tmax $\geq 95^{\text{e}}$ percentile (43,9°C)	[jours]
TX99p	Jour extrêmement chaud	Nombre de jours avec Tmax $\geq 99^{\text{e}}$ percentile (45,0°C)	[jours]

3. Résultats

3.1. Précipitations

Les séries chronologiques de certains indices de précipitations sont présentées à la figure 1. Tous les indices montrent une tendance à la baisse, généralement non statistiquement significative (Tab. 2). Seule la fréquence des pluies intenses (P95p) présente une baisse significative. La sécheresse la plus grave est observée au cours des cinq dernières années (voir Fig. 1). En effet, de 2007 à 2011, la moyenne annuelle des précipitations est de 44 mm, ce qui représente un déficit pluviométrique extrême de 73% par rapport à la moyenne 1981-2010 (164 mm). Notons qu'au cours de cette même période récente, la station synoptique de la ville de Djibouti n'a pas enregistré de précipitations extrêmes ou intenses. En effet, la pluie maximale enregistrée pendant 1 jour a été de 46 mm au cours des cinq dernières années.

Tableau 2. Analyse des tendances des précipitations de 1980 à 2011.

INDICE	UNITE	MOYENNE 1981-2010	TENDANCE UNITE / 10 ANS	SIGNIFICATIVITE (p)	TENDANCE % / 10 ANS
PTOT	[mm]	164	-38,0	0,10	-17,4
JP	[jours]	14,1	-2,3	0,07	-13,5
SDII	[mm/jour]	11,1	-0,5	0,70	-4,2
P10	[jours]	3,9	-0,5	0,38	-10,7
P20	[jours]	2,1	-0,5	0,27	-16,7
Px1J	[mm]	56,4	-15,6	0,09	-19,5
P95p	[jours]	0,70	-0,39	0,03	-30,2
P99p	[jours]	0,13	-0,07	0,26	-29,7

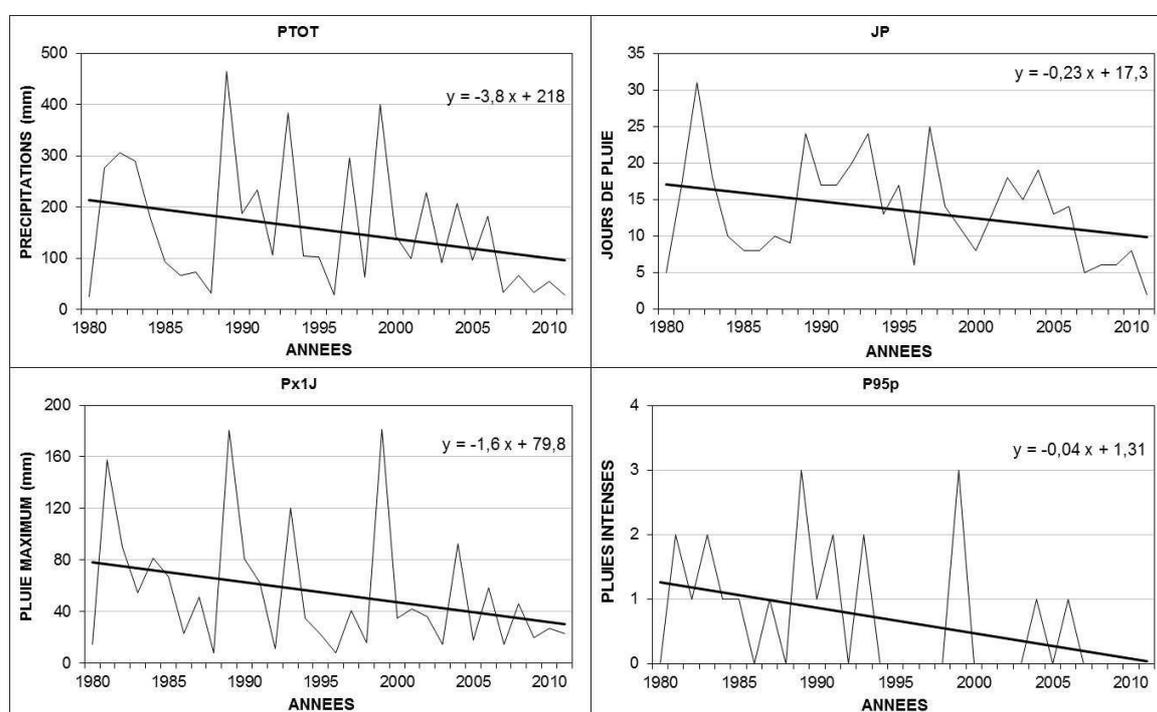


Figure 1: Evolution et tendances de PTOT, JP, Px1J et P95p à Djibouti-ville (1980-2011).

3.2. Températures

L'analyse des séries chronologiques des indices de températures montre des modifications très importantes au cours de la période 1966-2011 qui témoignent du réchauffement de la région de la ville de Djibouti. Les tendances calculées sur les températures minimale, maximale et moyenne annuelles (TN, TX et TM) présentées à la figure 2 et au tableau 3 montrent une augmentation très importante de ces trois indices. En effet, la température moyenne annuelle a augmenté de 1,24 °C au cours de la période 1966-2011. L'année la plus chaude de toute la série était 2010 avec une température moyenne de 31,3 °C, soit 1,18 °C au-dessus de la moyenne 1971-2000. Les dix années les plus chaudes de l'ensemble de la série sont enregistrés depuis 1998. La période 2001-2011 a été de 0,66 °C plus élevée que la moyenne 1971-2000. Le nombre annuel des nuits et des jours chauds et extrêmement chauds (TN95p, TN99p, TX95p, TX99p) a considérablement augmenté. A l'inverse, le nombre de nuits et de jours froids et très froids (TN5p, TN1p, TX5p et TX1p) a diminué de manière très significative. L'évolution de ces indices des températures extrêmes est présentée à la figure 3.

Tableau 3. Analyse des tendances des températures de 1966 à 2011.

INDICE	UNITE	MOYENNE 1971-2000	TENDANCE UNITE / 10 ANS	SIGNIFICATIVITE (p)	MOYENNE 2001-2011
TN	[°C]	26.0	+0.27	<u><0.01</u>	26.8
TX	[°C]	34.2	+0.28	<u><0.01</u>	34.8
TM	[°C]	30.1	+0.28	<u><0.01</u>	30.8
TN1p	[jours]	3.7	-1.2	<u>0.01</u>	1.4
TN5p	[jours]	19.1	-4.8	<u><0.01</u>	9.2
TN95p	[jours]	18.8	+6.3	<u><0.01</u>	38.3
TN99p	[jours]	3.8	+2.8	<u><0.01</u>	13.3
TX1p	[jours]	4.0	-1.2	<u><0.01</u>	2.1
TX5p	[jours]	21.9	-9.0	<u><0.01</u>	6.6
TX95p	[jours]	19.0	+3.8	<u><0.01</u>	28.5
TX99p	[jours]	4.7	+2.7	<u><0.01</u>	11.5

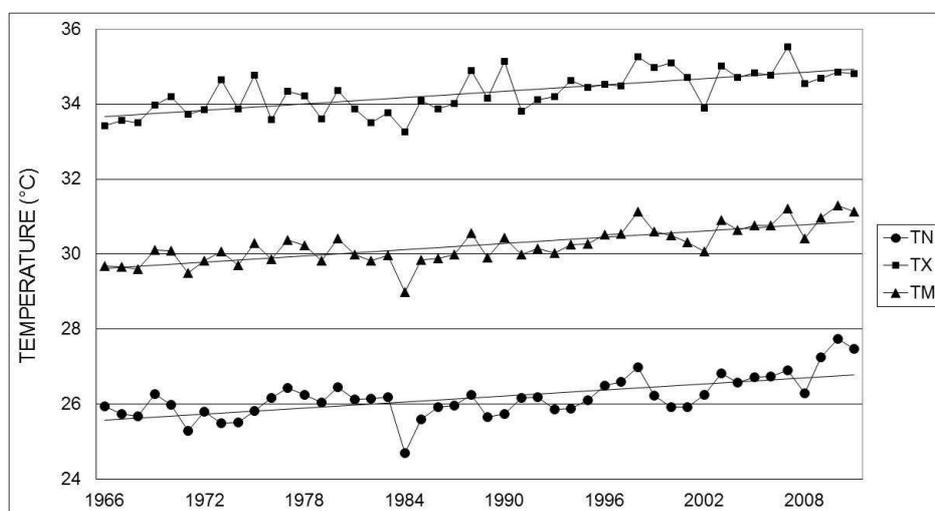


Figure 2. Evolution de TN, TX et TM à Djibouti-ville de 1966 à 2011.

4. Discussion et conclusion

L'indisponibilité de données climatiques pour l'analyse des extrêmes est le plus grand obstacle à la quantification des tendances des événements extrêmes au cours des dernières décennies en Afrique. Les résultats de cette étude montrent une baisse de tous les indices de précipitations et une augmentation significative de tous les indices liés aux températures. Si, dans la sous-région, l'évolution des précipitations n'est pas claire, nos résultats issus de l'analyse des températures sont en parfait accord avec les récentes études menées dans la région arabe (Donat *et al.*, 2013), dans la Corne de l'Afrique (Omondi *et al.*, 2013) et dans la péninsule Arabe (Almazroui *et al.*, 2012).

Ces larges modifications climatiques ont clairement des répercussions importantes sur les populations tant à Djibouti que dans la sous-région. En effet, fin 2011, plus de 200 000 personnes étaient déclarées en situation d'insécurité alimentaire en République de Djibouti (OCHA, 2011). La sécheresse est l'un des principaux facteurs de migration vers la ville de Djibouti (Chiré, 2012). Ces nouvelles implantations informelles continuent de croître en périphérie de la ville et l'accès limité à la connaissance des risques naturels locaux peut mener à de nouvelles catastrophes lors de pluies extrêmes à venir. Quant à l'augmentation des vagues de chaleur, elle a très certainement un impact sur la santé humaine qu'il est urgent de quantifier de manière à mettre en place des mesures de mitigation du risque sanitaire.

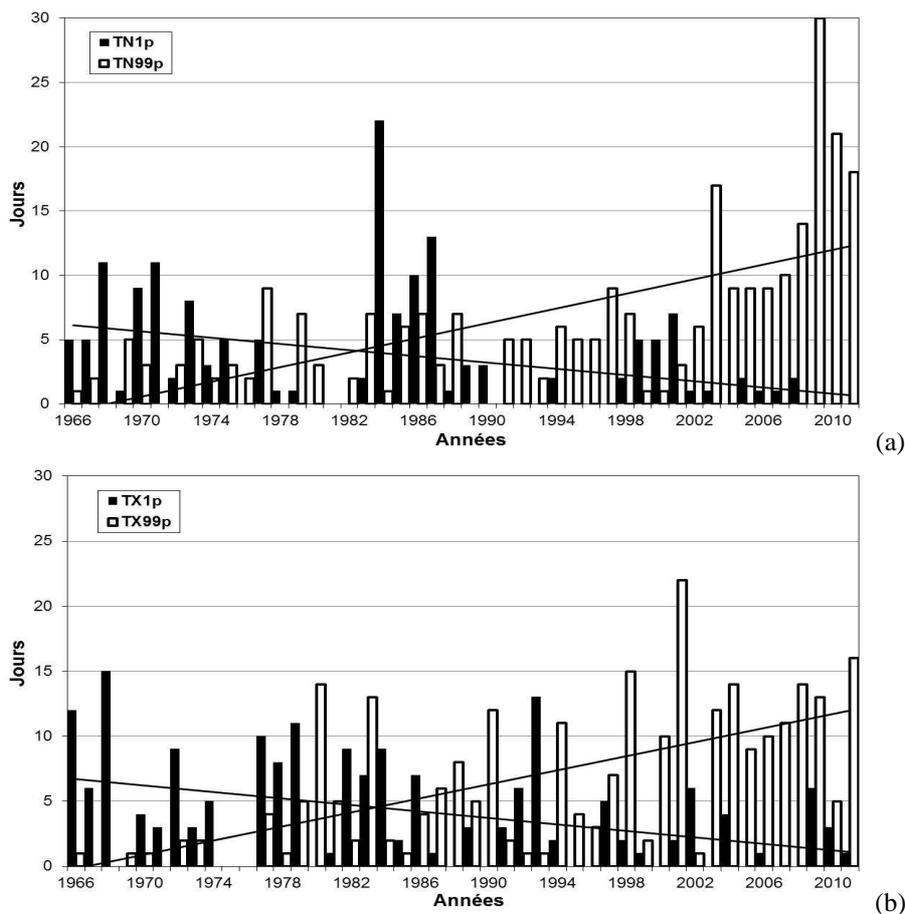


Figure 3. Evolution de la fréquence des nuits extrêmement froides (TN1p) et chaudes (TN99p) (a) et des jours extrêmement froids (TX1p) et chauds (TX99p) (b) à Djibouti City de 1966 à 2011.

Bibliographie

- Almazroui M., Islam M.N., Athar H., *et al.*, 2012. Recent climate change in the Arabian Peninsula: annual rainfall and temperature analysis of Saudi Arabia for 1978-2009. *International Journal of Climatology*, 32: 953-966.
- Chiré A.S., 2012. *Le nomade et la ville à Djibouti: Stratégies d'insertion urbaine et production de territoire*. Karthala, Paris.
- Donat M.G., Peterson T.C., Brunet M., *et al.*, 2013. Changes in extreme temperature and precipitation in the Arab region: long-term trends and variability related to ENSO and NAO. *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.3707, 12 pages.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. IPCC, Genève, Suisse.
- Jones P., 2013. *Global temperature record*. Climate Research Unit, University of East Anglia, UK, 2013. <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info/warming/>, dernier accès le 15 avril 2013.
- Klein Tank A.M.G., Wijngaard J.B. et van Engelen A., 2002. *Climate of Europe; Assessment of observed daily temperature and precipitation extremes*. KNMI, De Bilt, Netherlands.
- New M., Hewitson B., Stephenson D.B. *et al.*, 2006. Evidence of trends in daily climate extremes over southern and West Africa. *Journal of Geophysical Research*, 111, Article ID D14102, 11 pages.
- OCHA, 2011. *Consolidated appeal for Djibouti 2012*. Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA), United Nations, New York, USA.
- Omondi P.A., Awange J.L., Forootan E., *et al.*, 2013. Changes in temperature and precipitation extremes over the Great Horn of Africa region from 1961 to 2010. *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.3763, 16 pages.