



Numéro spécial

Evolution récente des extrêmes pluviométriques au Niger (1950-2014)

Recent trends in extreme rainfall events in Niger (1950-2014)

OZER Pierre (1)*, LAMINOUS MANZO Ousmane (2), TIDJANI Adamou Didier (3),
DJABY Bakary (4) & DE LONGUEVILLE Florence (5)

Abstract: West Africa is the region of the world with the highest recent rainfall deficit. Niger, one of the poorest countries in the world, is highly dependent on rainfall variations in the context of global warming, the consequences of which seem to be unfavorable in the coming decades. Based on the daily rainfall data of 37 Nigerien stations, this article analyzes the evolution of precipitation through eleven indices between 1950 and 2014. After a severe drought of three decades which is individualized from 1968 to 1997, it appears that if a return at subnormal annual average rainfall is observed since 1998, this is not the case for other vital indices for the rural world, depending on the good distribution of rainfall during the rainy season. Indeed, the consecutive dry days have increased and the consecutive wet days have been reduced. The same goes for rainy days. At the same time, the proportion of daily maximum precipitation in the total annual rainfall has increased over time and the proportion of intense rainfall in the annual rainfall totals has increased significantly in the last two decades.

Keywords: Rainfall ; extremes ; climate variations ; Niger

Résumé : L'Afrique de l'Ouest est la région du monde qui connaît le déficit pluviométrique le plus important. Le Niger, l'un des pays les plus pauvres du monde, est hautement dépendant des variations pluviométriques dans un contexte de réchauffement climatique dont les conséquences semblent être défavorables dans les décennies à venir. Sur base des données pluviométriques quotidiennes de 37 stations nigériennes, cet article analyse l'évolution des précipitations au travers de onze indices entre 1950 et 2014. Après une sévère sécheresse de trois décennies qui est individualisée de 1968 à 1997, il apparaît que si un retour à une pluviométrie moyenne annuelle subnormale est observé depuis 1998, il n'en est rien pour d'autres indices vitaux pour le monde rural dépendant de la bonne distribution des précipitations durant la saison des pluies. En effet, les jours secs consécutifs ont considérablement augmenté et les jours humides consécutifs se sont réduits. Il en va de même pour les jours pluvieux. Dans le même temps, la proportion de la précipitation maximale quotidienne dans le total pluviométrique annuel s'est renforcée au fil du temps et la proportion des précipitations intenses dans le total pluviométrique annuel s'est significativement accentuée au cours des deux dernières décennies.

Mots clés : Précipitations ; extrêmes ; variations climatiques ; Niger

INTRODUCTION

Depuis 1950, l'Afrique de l'Ouest est la région du monde qui connaît le déficit pluviométrique le plus important (SPINONI *et al.*, 2013). Cette tendance à l'aridification pourrait se prolonger durant le 21^e siècle (DEFrance *et al.*, 2017). Cependant, selon TAYLOR *et al.* (2017), cette dégradation des précipitations annuelles se serait néanmoins accompagnée d'une augmentation considérable des phénomènes météorologiques violents au cours des 35 dernières années dans le Sahel.

(1) UR SPHERES / Observatoire Hugo, Université de Liège, Belgique, * pozer@uliege.be

(2) Département de Génie rural et Eaux et Forêts, Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, Niger

(3) Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

(4) Agrhymet, Niamey, Niger

(5) Département de Géographie, Université de Namur, Belgique

En effet, de 1982 à 2016, ces auteurs ont constaté une augmentation de trois à quatre fois du nombre de systèmes convectifs méso-échelles intenses au Sahel. Cet accroissement de l'aléa pluviométrique excédentaire extrême étant lié au changement climatique, cela pourrait donc se renforcer dans les décennies à venir et finalement engendrer de sérieuses répercussions sur l'agriculture et les infrastructures de la région dans les prochaines décennies. Le tout dans un contexte d'accroissement excessivement important des températures extrêmes, notamment des vagues de chaleur dont la fréquence devrait être de l'ordre de dix fois plus importante en Afrique tropicale dans un climat global qui serait de 2°C supérieur aux températures préindustrielles (DEQUE *et al.*, 2017). Ces modifications climatiques futures auront probablement des répercussions importantes sur la production de lithométéores en Afrique de l'Ouest (OZER, 2002) qui dégradent fortement la qualité de l'air (OZER, 2005) et impactent grandement la santé des populations exposées, notamment les plus jeunes (DE LONGUEVILLE *et al.*, 2009, 2013).

Le Sahel, zone aride à semi-aride située directement au sud du Sahara, est d'autant plus affecté qu'il enregistre une augmentation importante de la population humaine, souvent encore rurale et précaire. Cet accroissement démographique intensifie les pressions anthropiques sur des ressources fragiles dont la dégradation est de plus en plus préoccupante (OZER *et al.*, 2010). Le Niger – à l'instar du reste de l'Afrique de l'Ouest – fait face, ces dernières décennies, à de profondes mutations environnementales, démographiques, sociales et économiques. Ces dernières sont souvent liées aux stress pluviométriques grandissants (OZER & PERRIN, 2014). Ces stress sont observés au travers de la multiplication des stratégies d'adaptation mises en place par les communautés locales, nationales et internationales, mais également via la perception des évolutions climatiques par les individus (DE LONGUEVILLE *et al.*, soumis). La migration ou le déplacement des populations affectées par cette succession de sécheresses ainsi que d'autres perturbations climatiques devient extrêmement importante comme stratégie d'adaptation. Elle s'observe notamment à Niamey, la capitale, qui reçoit chaque jour son lot de réfugiés (OZER *et al.*, 2010) mais également dans les pays limitrophes, notamment du Golfe de Guinée (GEMENNE *et al.*, 2017) ou des pays méditerranéens (KARIMOUNE *et al.*, 2017) où le nombre de migrants ne cesse de croître.

Ce travail a pour objectif de combler une lacune (ZWIERS *et al.*, 2013) dans un pays dramatiquement tributaire des aléas climatiques : l'analyse des précipitations extrêmes au Niger sur le long terme.

DONNÉES ET MÉTHODES

Pour réaliser cette étude, les données pluviométriques quotidiennes complètes enregistrées de 1950 à 2014 en 37 stations pluviométriques et synoptiques au Niger ont été exploitées (Fig. 1). Onze indices ont été utilisés dans l'analyse des événements pluviométriques extrêmes (Tab. 1) : les précipitations totales annuelles (PTOT), le nombre de jours de pluie (JP), la lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie (SDII), la fréquence des pluies ≥ 10 mm (P10) et ≥ 20 mm (P20), le nombre de jours consécutifs secs (CDD) et humides (CWD), la précipitation maximale quotidienne (Px1J), et la proportion de la précipitation maximale quotidienne (Px1Jp), des pluies intenses (\geq au 95e percentile) (P95p) et des pluies extrêmes (\geq au 99e percentile) (P99p) dans le total pluviométrique annuel.

Les résultats obtenus pour chaque station et pour chaque indice ont été globalisés au niveau national sur base de l'indice standardisé d'anomalie pluviométrique de LAMB (1982) puis convertis dans l'unité spécifique de chaque indice selon la méthode de JONES et HULME (1996). L'analyse des tendances a été réalisée par régression linéaire entre les différents indices pluviométriques et le temps (en années) sur l'ensemble de la série. Les pentes estimées ont été regroupées en cinq classes (non significatif [$p > 0,05$], significatif [$0,01 < p < 0,05$] et très significatif [$p < 0,01$]) indiquant des tendances à la hausse ou à la baisse.

En outre, une analyse des ruptures potentielles dans les onze séries considérées a été réalisée en appliquant le test non paramétrique de PETTITT (1979) ; une rupture étant considérée significative lorsque la probabilité associée est $< 5\%$.

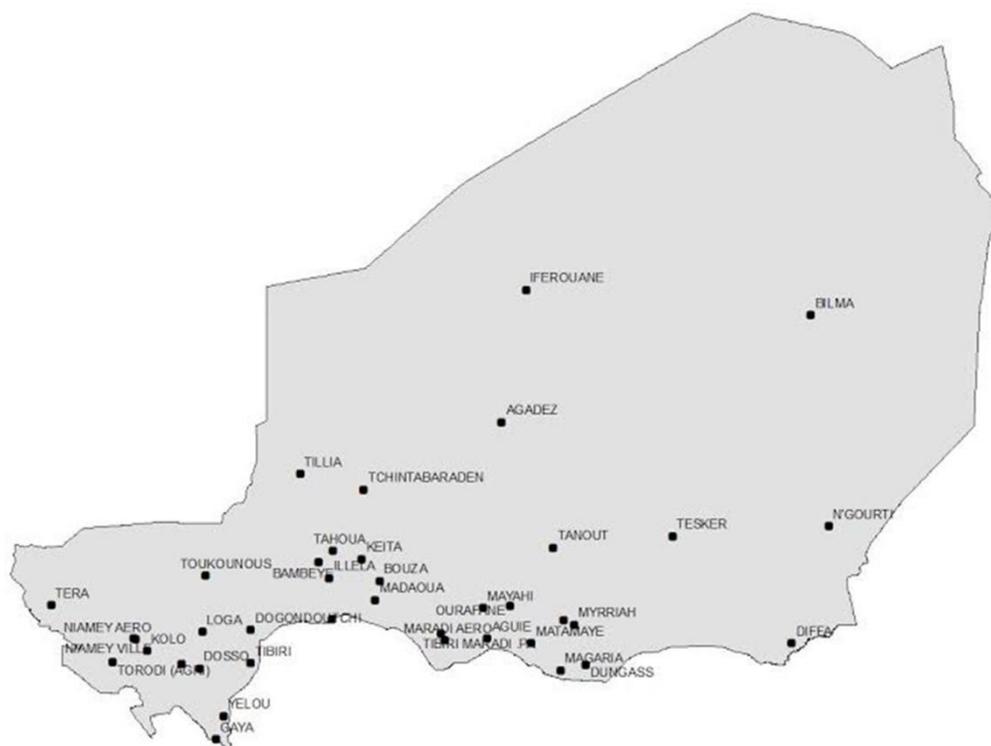


Figure 1 : Localisation des différentes stations utilisées dans cette étude.

Tableau 1 : Liste des onze indices utilisés dans l'analyse des événements pluviométriques extrêmes

ACRON.	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	Simple day intensity index	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]
CDD	Jours secs consécutifs	Nombre de jours consécutifs avec des précipitations < 1 mm	[jours]
CWD	Jours humides consécutifs	Nombre de jours consécutifs avec des précipitations ≥ 1 mm	[jours]
Px1J	Pluie maximale quotidienne	Précipitation maximale quotidienne	[mm]
Px1Jp	Part des pluies maximales quotidiennes	Proportion de la précipitation maximale quotidienne dans le total pluviométrique annuel	[%]
P95p	Part des pluies intenses	Proportion des précipitations intenses dans le total pluviométrique annuel	[%]
P99p	Part des pluies extrêmes	Proportion des précipitations extrêmes dans le total pluviométrique annuel	[%]

RESULTATS ET DISCUSSION

Sur la période 1950-2014, quatre indices (PTOT, JP, P10 et CWD) présentent une tendance très significative à la baisse tandis que trois indices sont à la hausse : P95p de manière significative ; JCS et Px1Jp de manière très significative (Fig. 2 à 4). Les quatre autres indices ne manifestent pas de tendance claire sur la période considérée. A l'exception de P99p, tous les indices présentent au moins une rupture de stationnarité, le plus souvent à la fin des années 1960 lors du début de la grande sécheresse des décennies 1970 et 1980. La rupture unique la plus significative au Niger concerne le

nombre annuel de jours de pluie (JP) qui, d'une moyenne de 36,5 jours de 1950 à 1969, et passé à 29,6 jours en moyenne depuis 1970 sans présenter d'amélioration ces dernières années (Fig. 2). Les indices PTOT, SDII, P10, P20 et Px1J ont ensuite connu une seconde rupture pour tendre vers la situation pluviométrique des années 1950-1960. Ainsi, si les indices SDII et Px1J ont retrouvé dès 1988 des niveaux similaires à la période précédant la sécheresse, il n'en est rien pour les autres. Par exemple, les précipitations totales annuelles (PTOT) sont passées de 511 mm (1950-1967) à 378 mm durant trois décennies (1968-1997) pour ensuite présenter une amélioration sans pour autant atteindre les niveaux antérieurs (441 mm de 1998 à 2014), soit 70 mm (14%) de pluie en moins actuellement qu'au début de la série analysée (Fig. 2). Px1Jp est le seul indice présentant deux ruptures dans le même sens (Fig. 4), la proportion de la précipitation maximale quotidienne dans le total pluviométrique annuel étant toujours plus importante. Tous ces résultats sont synthétisés au tableau 2.

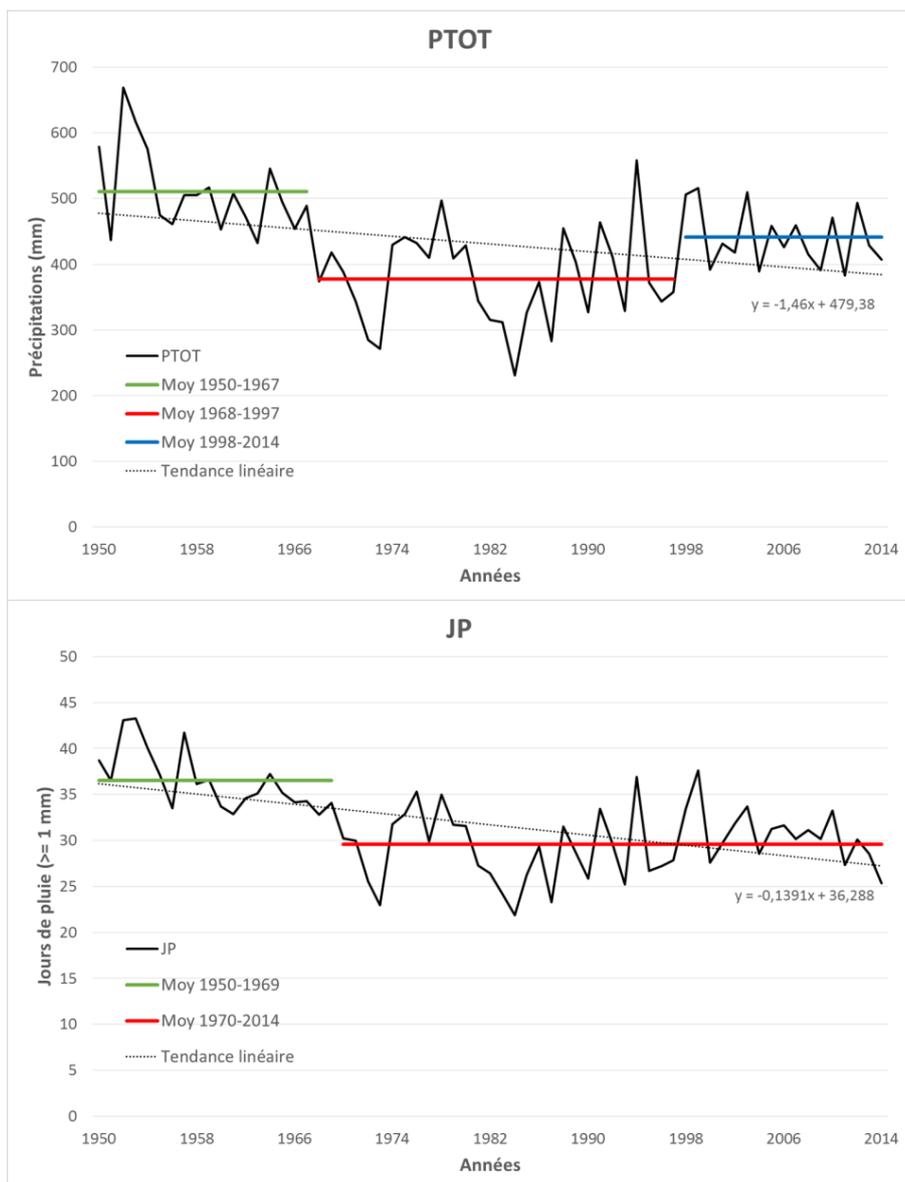


Figure 2 : Evolution des précipitations annuelles (PTOT) et des jours de pluie (JP) au Niger de 1950 à 2014.

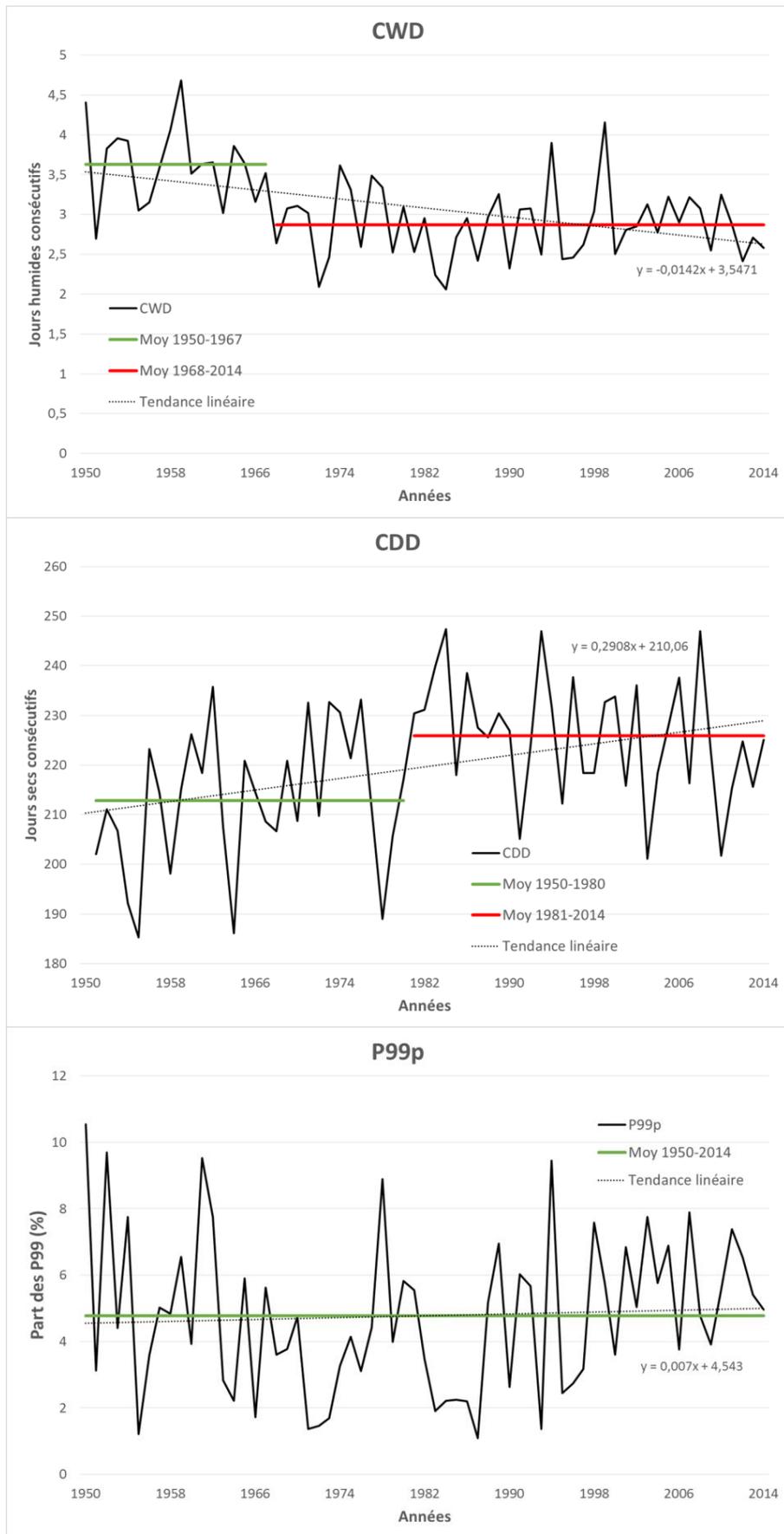


Figure 3 : Evolution des jours humides (CWD) et secs (CDD) consécutifs et de la part des pluies extrêmes (P99p) au Niger de 1950 à 2014.

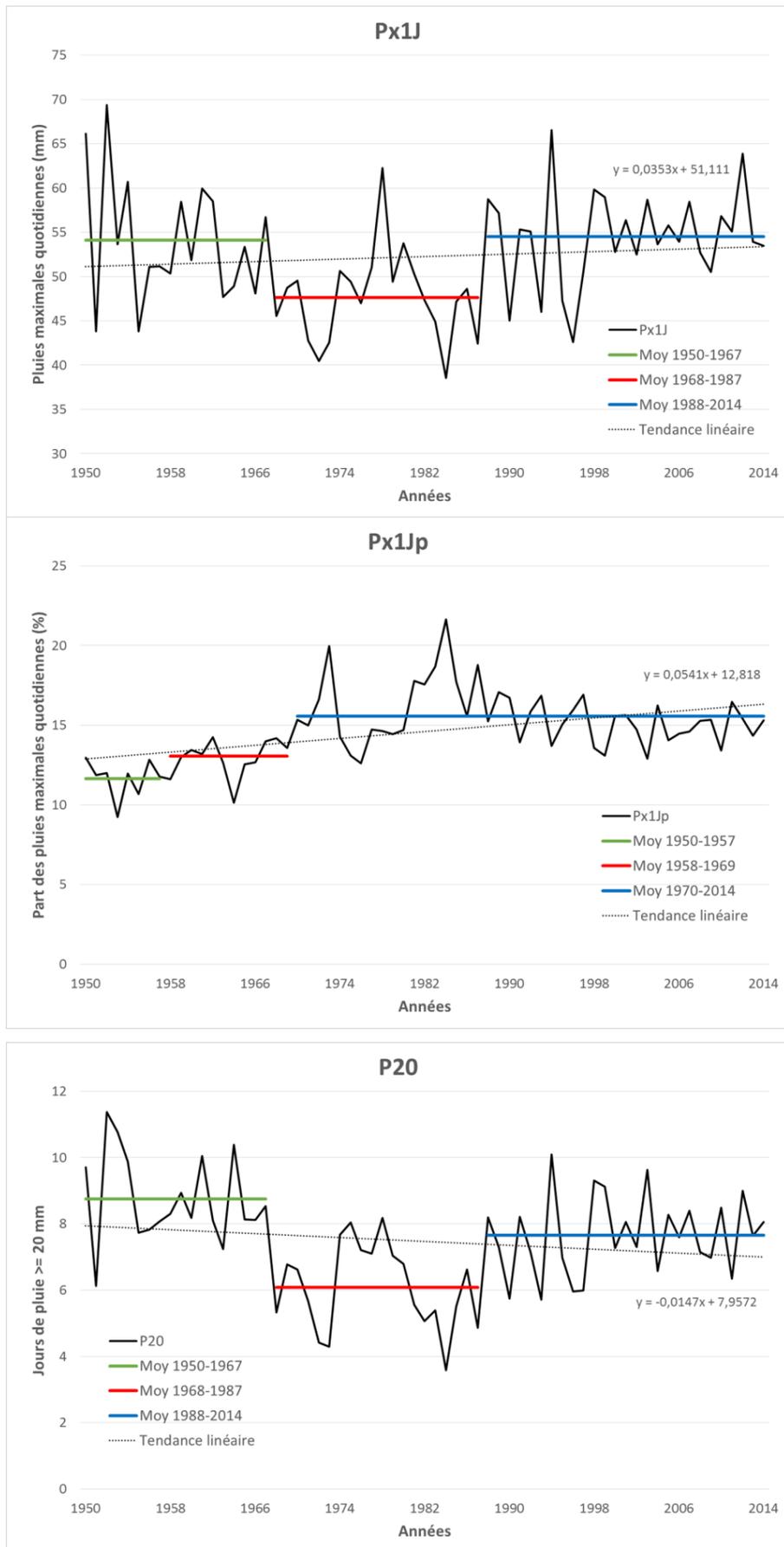


Figure 4 : Evolution des pluies maximales quotidiennes (Px1J), de la part des pluies maximales quotidiennes (Px1Jp), et de la fréquence des pluies ≥ 20 mm (P20) au Niger de 1950 à 2014.

Tableau 2 : Evolution des onze indices utilisés dans l'analyse des événements pluviométriques extrêmes avec la moyenne (1950-2014) de chaque indice, la tendance linéaire [* significative, ** très significative], ainsi que la stationnarité (test de PETTITT, 1979) des séries analysées.

Indice	Moyenne (1950-2014)	Tendance (% par 10 ans)	Stationnarité		
			Période 1	Période 2	Période 3
PTOT	431,1 mm	-3,1% **	1950-1967 (511 mm)	1968-1997 (378 mm)	1998-2014 (441 mm)
JP	31,7 j	-3,9% **	1950-1969 (36,5 j)	1970-2014 (29,6 j)	
SDII	13,2 mm/j	+1,2%	1950-1967 (13,6 mm/j)	1968-1987 (12,1 mm/j)	1988-2014 (13,8 mm/j)
P10	14,8 j	-3,3% **	1950-1967 (17,6 j)	1968-1997 (13,1 j)	1998-2014 (14,9 j)
P20	7,5 j	-1,9%	1950-1967 (8,7 j)	1968-1987 (6,1 j)	1988-2014 (7,6 j)
CDD	219,8 j	+1,4% **	1950-1980 (213 j)	1981-2014 (226 j)	
CWD	3,1 j	-4,1% **	1950-1967 (3,6 j)	1968-2014 (2,9 j)	
Px1J	52,3 mm	+0,7%	1950-1967 (54,1 mm)	1968-1987 (47,6 mm)	1988-2014 (54,5 mm)
Px1Jp	14,6%	+4,3% **	1950-1957 (11,7%)	1958-1969 (13,1%)	1970-2014 (15,6%)
P95p	17,9%	+4,0% *	1950-1997 (16,8%)	1998-2014 (21,2%)	
P99p	4,8%	+ 1,6%	-		

Conformément aux suppositions d'OZER *et al.* (2003), nos résultats montrent donc une amélioration significative des conditions pluviométriques totales annuelles au Niger dès 1998. Ceci confirme, après la grande sécheresse des années 1970 et 1980, des ruptures de tendances significatives à la hausse observées ailleurs dans le Sahel comme en Mauritanie (OZER *et al.*, 2014), au Sénégal (SARR *et al.*, 2013), au Burkina Faso (DE LONGUEVILLE *et al.*, 2016), au Mali (HALIMATOU *et al.*, 2017), dans le nord du Nigéria (OGUNGBENRO & MORAKINYO, 2014) et du Bénin (HOUNTONDI *et al.*, 2011) ou encore dans l'est du Niger (OZER *et al.*, 2009).

Cette amélioration globale des précipitations s'est accompagnée d'une augmentation sensible du nombre d'inondations avec des pertes économiques sans cesse croissantes. Cependant, les résultats obtenus pour l'évolution des précipitations maximales quotidiennes (Px1J) au Niger montrent que celles-ci sont au même niveau que durant les années 1950 et 1960. Il est donc probable que l'augmentation des inondations soit liée à l'aggravation de la vulnérabilité, notamment en l'absence de planification urbaine, plutôt que de l'aléa comme l'ont déjà suggéré diverses études (SENE & OZER, 2002 ; OULD SIDI CHEIKH *et al.*, 2007 ; DESCROIX *et al.*, 2013 ; OZER, 2014 ; HANGNON *et al.*, 2015) même si de récents événements pluviométriques extrêmes en Afrique sahélienne, comme à Ouagadougou en 2009 ou à Dakar en 2012, peuvent réellement être qualifiés de très exceptionnels surpassant très largement une pluie dite centennale (ENGEL *et al.*, 2017). TAYLOR *et al.* (2017) ont observé une augmentation considérable des phénomènes météorologiques violents au cours des 35 dernières années dans le Sahel. Nos résultats ne montrent pas une telle évolution au Niger, probablement car ils couvrent une plus longue période (1950-2014) mais aussi – et surtout – car cette forte augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes débute au cœur de la sécheresse, en 1982, où plusieurs indices (P20, P99p, Px1J) sont au plus bas.

Cependant, le Niger reste, sur le long terme, sur une trajectoire d'aridification continue (-3,1% de précipitations par décennie entre 1950 et 2014) qui, combinée à l'augmentation des températures (DE LONGUEVILLE *et al.*, 2016 ; DEQUE *et al.*, 2017 ; HALIMATOU *et al.*, 2017) et aux pressions anthropiques (OZER & PERRIN, 2014), ne favorise pas la reconstitution de certains écosystèmes

(GONZALEZ *et al.*, 2012 ; ARIORI & OZER, 2005), notamment les cuvettes (TYCHON *et al.*, 2009). Cela pourrait avoir des conséquences insoupçonnées sur les déplacements – parfois massifs – de populations ainsi précarisées par leurs conditions climatiques et environnementales directes auxquelles les autorités du Niger ne semblent pas actuellement préparées (GEMENNE *et al.*, 2017).

CONCLUSION

L'analyse de l'évolution de différents indices pluviométriques issus de 37 stations du Niger montre que le retour à ces conditions pluviométriques annuelles sub-normales depuis les années 1990 ne s'accompagne pas d'un retour à la normale dans tous les paramètres étudiés. Ainsi, les jours de pluie qui se sont contractés significativement dès 1970, les jours secs consécutifs qui ont augmenté dès 1981 et les jours humides consécutifs qui se sont réduits dès 1968 n'ont pas connu de rupture au cours des dernières années. Cela impacte très probablement la disponibilité en eau pour l'agriculture durant la saison des pluies. Dans le même temps, la proportion de la précipitation maximale quotidienne dans le total pluviométrique annuel s'est renforcée au fil du temps et la proportion des précipitations intenses dans le total pluviométrique annuel s'est significativement accentuée dès 1998. Par rapport à un système tendu qui semble connaître de nombreuses difficultés environnementales et socio-économiques majeures à se rétablir des impacts de la grande sécheresse de 1968 à 1997, nous plaçons pour une analyse très fine et régulière de la situation climatique au Niger et pour la mise en place dès maintenant des scénarios de réponses en cas de « pire scénario pluviométrique envisageable » (worst case scenario). En effet, il nous semble évident que des situations pluviométriques déficitaires passées impacteront à nouveau le Niger et le Sahel dans un avenir plus ou moins proche. Il faut s'y préparer dès à présent.

BIBLIOGRAPHIE

- ARIORI S.L. & OZER, P., 2005. Evolution des ressources forestières en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne au cours des 50 dernières années. *Geo-Eco-Trop*, 29: 61-68.
- DE LONGUEVILLE F., HOUNTONDI Y.C., KINDO I., GEMENNE F. & OZER P., 2016. Long-term analysis of rainfall and temperature data in Burkina Faso (1950–2013). *International Journal of Climatology*, 36: 4393-4405.
- DE LONGUEVILLE F., HENRY S. & OZER P., 2009. Saharan dust pollution: Implications for the Sahel? *Epidemiology*, 20: 780.
- DE LONGUEVILLE F., HOUNTONDI Y.C., OZER P., MARTICORENA B., CHATENET B. & HENRY S., 2013. Saharan dust impacts on air quality: What are the potential health risks in West Africa? *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 19: 1595-1617.
- DE LONGUEVILLE F., OZER P., GEMENNE F., HENRY S., MERTZ O. & NIELSEN J.Ø., soumis. A matter of importance. Comparing climate change perceptions and meteorological data in West Africa to improve the understanding of household decisions to migrate. *Population and Environment*, soumis.
- DEFRANCE D., RAMSTEIN G., CHARBIT S., VRAC M., FAMIEN A.M., SULTAN B., SWINGUEDOUW D., DUMAS C., GEMENNE F., ALVAREZ-SOLAS J. & VANDERLINDEN, J.P., 2017. Consequences of rapid ice sheet melting on the Sahelian population vulnerability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114: 6533-6538.
- DÉQUÉ M., CALMANTI S., CHRISTENSEN O.B., DELL AQUILA A., MAULE C.F., HAENSLER A., NIKULIN G. & TEICHMANN C., 2017. A multi-model climate response over tropical Africa at + 2°C. *Climate Services*, 7: 87-95.
- DESCROIX L., MOUSSA I.B.N., GENTHON P., SIGHOMNOU D., MAHÉ G., MAMADOU I., VANDERVAERE J.P., GAUTIER E., MAIGA O.F., RAJOT J.L., ABDU M.M., DESSAY N., INGATAN A., NOMA I., YÉRO K.S., KARAMBIRI H., FENSHOLT R., ALBERGEL J. & OLIVRY J.C., 2013. Impact of drought and land-use changes on surface-water quality and quantity: the Sahelian paradox. In: BRADLEY P. (Ed.), *Current perspectives in contaminant hydrology and water resources sustainability*. InTech, DOI: 10.5772/54536, 243-271.
- ENGEL T., FINK A.H., KNIPPERTZ P., PANTE G. & BLIEFERNICHT J., 2017. Extreme precipitation in the West African cities of Dakar and Ouagadougou-atmospheric dynamics and implications for flood risk assessments. *Journal of Hydrometeorology*, 18: 2937-2957.

- GEMENNE F., BLOCHER J., DE LONGUEVILLE F., VIGIL DIAZ TELENTI S., ZICKGRAF C., GHARBAOUI D. & OZER, P., 2016. Changement climatique, catastrophes naturelles et mobilité humaine en Afrique de l'Ouest. *Geo-Eco-Trop*, 41: XXX-XXX.
- GONZALEZ P., TUCKER C.J. & SY H., 2012. Tree density and species decline in the African Sahel attributable to climate. *Journal of Arid Environments*, 78: 55-64.
- HALIMATOU A.T., KALIFA T. & KYEI-BAFFOUR N., 2017. Assessment of changing trends of daily precipitation and temperature extremes in Bamako and Ségou in Mali from 1961-2014. *Weather and Climate Extremes*, 18: 8-16.
- HANGNON H., DE LONGUEVILLE F., OZER P., 2015. Précipitations 'extrêmes' et inondations à Ouagadougou ; quand le développement urbain est mal maîtrisé. In: ERPICUM M. (Ed.), *Actes du 28e Colloque International de l'Association Internationale de Climatologie*. Liège, Belgique: Université de Liège, 497-502
- HOUNTONDJI Y., DE LONGUEVILLE F. & OZER P., 2011. Trends in extreme rainfall events in Benin (West Africa), 1960-2000. In Proceedings of the 1st International Conference on Energy, Environment and Climate Change. <http://hdl.handle.net/2268/96112>
- JONES P.D. & HULME M., 1996. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: Methods and illustrations. *International Journal of Climatology*, 16: 361-377.
- KARIMOUNE S., SIDI TANKO O.K. & ISSIAKA H., 2017. Variabilités climatiques et évolution de l'occupation des sols dans l'oasis de Timia, Région d'Agadez, Niger. *Geo-Eco-Trop*, 41: XXX-XXX.
- LAMB P.J., 1982. Persistence of subsaharan drought. *Nature*, 299: 46-48.
- OGUNGBENRO S.B. & MORAKINYO T.E., 2014. Rainfall distribution and change detection across climatic zones in Nigeria. *Weather and Climate Extremes*, 5, 1-6.
- OULD SIDI CHEIKH M.A, OZER P. & OZER A., 2007. Risques d'inondation dans la ville de Nouakchott (Mauritanie). *Geo-Eco-Trop*, 31: 19-42.
- OZER P., 2002. Dust variability and land degradation in the Sahel. *Belgeo*, 2: 195-210.
- OZER P., 2005. Estimation de la pollution particulaire naturelle de l'air en 2003 à Niamey (Niger) à partir de données de visibilité horizontale. *Environnement, Risques & Santé*, 4: 43-49.
- OZER P., ERPICUM M., DEMAREE G. & VANDIEPENBEECK, M., 2003. The Sahelian drought may have ended during the 1990s. *Hydrological Sciences Journal*, 48, 489-492.
- OZER P., HOUNTONDJI Y.C., GASSANI J., DJABY B. & DE LONGUEVILLE F., 2014. Evolution récente des extrêmes pluviométriques en Mauritanie (1933-2010). In: CAMBERLIN P. & RICHARD Y. (Eds.), *Actes du 27e Colloque International de l'Association Internationale de Climatologie*. Dijon, France: Université de Bourgogne, 394-400.
- OZER P., HOUNTONDJI Y.C. & LAMINO MANZO O., 2009. Évolution des caractéristiques pluviométriques dans l'est du Niger de 1940 à 2007. *Geo-Eco-Trop*, 33: 11-30.
- OZER P., HOUNTONDJI Y.C., NIANG A.J., KARIMOUNE S., LAMINO MANZO O. & SALMON M., 2010. Désertification au Sahel : historique et perspectives. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 54: 69-84.
- OZER P. & PERRIN D., 2014. Eau et changement climatique. Tendances et perceptions en Afrique de l'Ouest. In: BALLOUCHE A. & TAÏBI N.A. (Eds.), *Eau, milieux et aménagement. Une recherche au service des territoires*. Angers, France: Presses de l'Université d'Angers, 227-245.
- OZER P., 2014. Catastrophes naturelles et aménagement du territoire: de l'intérêt des images Google Earth dans les pays en développement. *Geo-Eco-Trop*, 38: 209-220.
- PETTITT A.N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, 28 : 126-135.
- SARR M.A., ZOROMÉ M., SEIDOU O., BRYANT C.R. & GACHON P., 2013. Recent trends in selected extreme precipitation indices in Senegal: a change point approach. *Journal of Hydrology*, 55: 326-334.
- SENE S. & OZER P., 2002. Evolution pluviométrique et relation inondations – événements pluvieux au Sénégal. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 42: 27-33.
- SPINONI J., NAUMANN G., CARRAO H., BARBOSA P. & VOGT J., 2013. World drought frequency, duration, and severity for 1951-2010. *International Journal of Climatology*, 34: 2792-2804.
- TAYLOR C.M., BELUŠIĆ D., GUICHARD F., PARKER D.J., VISCHER T., BOCK O., HARRIS P.P., JANICOT S., KLEIN C. & PANTHOU G., 2017. Frequency of extreme Sahelian storms tripled since 1982 in satellite observations. *Nature*, 544: 475-478.
- TYCHON B., AMBOUTA K. J.M., OZER A., BIELDERS C., PAUL R. & OZER P., 2009. Perspectives - Quel avenir pour les cuvettes oasiennes dans le Niger oriental ? *Geo-Eco-Trop*, 33: 3-6.

ZWIERS F.W., ALEXANDER L.V., HEGERL G.C., KNUTSON T.R., KOSSIN J.P., NAVEAU P., NICHOLLS N., SCHÄR C. & SENEVIRATNE S.I., 2013. Climate extremes: challenges in estimating and understanding recent changes in the frequency and intensity of extreme climate and weather events. *In: ASRAR G.R. & HURRELL J.W. (Eds.), Climate science for serving society: research, modeling and prediction priorities.* Springer Science + Business Media, Dordrecht, 339-389.