

Tendances pluviométriques et aléa inondation à l'Extrême-Nord Cameroun

Lucas Bouba, Sophie Sauvagnargues, Bernard Gonne, Pierre-Alain Ayral, Auguste Ombolo

▶ **To cite this version:**

Lucas Bouba, Sophie Sauvagnargues, Bernard Gonne, Pierre-Alain Ayral, Auguste Ombolo. Tendances pluviométriques et aléa inondation à l'Extrême-Nord Cameroun. Geo-Eco-Trop, 2017, 41 (3), pp.339-358. hal-02894603

HAL Id: hal-02894603
https://imt-mines-ales.hal.science/hal-02894603

Submitted on 9 Apr 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Tendances pluviométriques et aléa inondation à l'Extrême-Nord Cameroun.

Trends in rainfall and flood hazard in the Far North region of Cameroon.

Lucas BOUBA [1, 2], Sophie SAUVAGNARGUES [1], Bernard GONNE [3],
Pierre-Alain AYRAL [1] & Auguste OMBOLO [4]

Abstract: This paper aims to investigate the existence of a temporal connection between the flooding in the Far North region (21 events) and the observed trends in rainfall. The work is based on interannual and monthly rainfall recorded over a maximum period of 77 years (1935-2011) on nine stations. The selected stations and time periods obey the data quality criteria (no gaps) and the requirements of the World Meteorological Organization (30 observations). The months of July, August and September are high potential floods, and analyzes are performed especially there. So Mann-Kendall trend tests, Pettitt tests and Hubert segmentation procedure was applied in order to detect possible changes in rainfall recorded. Any more to examine the severity of meteorological drought, the standardized precipitation index method was used. The comparison of these results with flood events history collected and formatted for this study occurred in the region of the Far North Cameroon shows that there is no absolute link between trends rainfall and the flood events.

Keywords: rainfall patterns, trends, flood hazard, Far North Cameroon.

Résumé : Le présent papier a pour objectif de rechercher l'existence d'un lien temporel entre les inondations survenues dans la région de l'Extrême-Nord (21 événements) et les tendances de la pluviométrie observées. Les travaux s'appuient sur l'analyse des précipitations interannuelles et mensuelles enregistrées sur une durée maximum de 77 ans (1935-2011) de neuf stations. Les stations retenues et les périodes étudiées obéissent aux critères de qualité de données (absence de lacunes) et aux exigences de l'Organisation Mondiale de la Météorologie (30 ans d'observations). Les mois de juillet, août et septembre sont à fort potentiel d'inondations et des analyses complémentaires y sont particulièrement réalisées. Ainsi, à côté des tests de tendance de Mann-Kendall appliqués sur des séries pluviométriques interannuelles, des tests de Pettitt et la procédure de segmentation d'Hubert ont également été appliqués dans le but de déceler d'éventuels changements de pluviométrie. De plus, afin d'examiner la sévérité de la sécheresse météorologique, la méthode des indices pluviométriques standardisés a été utilisée.
La confrontation de ces résultats avec l'historique des événements d'inondations, collectés et mis en forme pour cette étude, survenus dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun montre qu'il n'existe pas de lien absolu entre les tendances de la pluviométrie et ces événements d'inondation.

Mots-Clés : régime pluviométrique, tendances, aléa inondation, Extrême-Nord Cameroun.

[1] Ecole des Mines d'Alès / Laboratoire de Génie de l'Environnement Industriel et Naturel / Institut des Sciences de Risque. 6, avenue de Clavières, 30319 Alès, cedex.
Email : lucas.bouba@mines-ales.fr ; sophie.sauvagnargues@mines-ales.fr ; pierre-alain.ayral@mines-ales.fr
[2] Université de Maroua Cameroun, Faculté des Sciences, BP 46, Maroua, Cameroun.
Email : iss.bouba.lucas@gmail.com
[3] Université de Maroua Cameroun, Ecole Normale Supérieure, BP 46, Maroua, Cameroun.
Email : gonnebernard@yahoo.fr
[4] Université de Maroua Cameroun, Institut Supérieur du Sahel, BP 46, Maroua, Cameroun.
Email : ombodeleb@yahoo.fr

INTRODUCTION

Les aléas d'origine hydro-climatique (inondations, tempêtes ou sécheresses) constituent une menace globale à laquelle chaque pays du monde est en partie exposé. Selon l'Office des Nations Unies pour la réduction des Risques de Catastrophes (UNISDR, 2015), les aléas d'origine hydro-climatique sont les phénomènes naturels les plus fréquents et les plus dévastateurs dont l'amplitude spatiale a permis d'affecter, au moins à une reprise, n'importe quel pays du monde au cours de la période 1995-2015. L'analyse de l'évolution du nombre d'occurrences des phénomènes hydro-climatiques en Afrique montre que ce sont les aléas inondations qui sont les phénomènes les plus récurrents, et dont les impacts humains et matériels s'avèrent très désastreux (CRED, 2012 ; GEMENNE *et al*., 2017). A côté de cela, de nombreux travaux scientifiques effectués en Afrique de l'Ouest et centrale sahélienne ont permis de mettre en exergue le rôle de la pluviométrie dans l'occurrence de ces catastrophes d'inondation. Les résultats qui en découlent ont permis de nous renseigner entre autres sur les évolutions historiques des conditions pluviométriques à savoir : une normalité du régime pluviométrique, assortie d'une croissance de la vulnérabilité de la société (OZER & PERRIN, 2014 ; OZER, 2014) ; une augmentation de la pluviométrie au lendemain de la sécheresse des années 1970 (DE LONGUEVILLE *et al*., 2016 ; OZER *et al*., 2017) ; une persistance de la sécheresse des années 1970, suivie d'une augmentation des écoulements (MAHE *et al.*, 2010) ; ou encore une augmentation de l'importance des extrêmes pluviométriques ces deux dernières décennies (PANTHOU *et al*., 2014). Dès lors, il est évident que les arguments ci-dessus évoqués sont variés, mais parfois avec nombre de contradictions. Ceci ne nous permet donc pas de statuer sur le cas précis des inondations de la région de l'Extrême-Nord Cameroun où la situation est restée tendue depuis ces dernières années (2005, 2010 ou 2012) avec l'occurrence d'événements pluviométriques générateurs de catastrophes aux conséquences néfastes sur le quotidien des populations dont : 14 morts à Maroua en 2005 (BOUBA, 2009) ; 13 morts à Pouss en 2010 et 12 morts dans les localités du Mayo-Danay et du Logone-Chari en 2012 (OFFICIEL, 2012). On pourrait, dans le pire des cas, s'attendre à des situations plus critiques durant les périodes à venir, étant donné que l'IPCC (2001) et ARDOIN-BARDIN (2004), notamment, y ont prévu des augmentations de la pluviométrie et des écoulements d'ici à la fin du 21ème siècle.

La question que nous nous posons ici est donc de savoir si la récurrence des inondations catastrophiques dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun constitue une conséquence d'un changement dans le régime pluviométrique.

Afin de répondre à cette question, notre contribution consistera à examiner le lien temporel entre l'évolution du régime pluviométrique et les inondations catastrophiques enregistrées. Au plan spécifique, il s'agira entre autres de : reconstituer une base de données sur les inondations à l'Extrême-Nord Cameroun et compléter les données existantes de la pluviométrie ; déceler des changements éventuels dans les séries pluviométriques et relever des repères historiques de l'humidité et de la sécheresse qui auraient marqué cette région ; et enfin établir un lien temporel entre les éventuels changements qui seraient survenus dans les séries pluviométriques et les inondations catastrophiques enregistrées.

ZONE D'ETUDE

La région de l'Extrême-Nord Cameroun est située entre le 10ème et le 13ème degré de latitude Nord, et entre le 14ème et le 16ème degré de longitude Est (Fig. 1). Sa population, estimée à environ 3 500 000 d'habitants en 2010, représente 18% de la population camerounaise (INS, 2012). Le climat est de type tropical à tendance sahélienne, avec une seule saison de pluies d'une durée d'environ 3 mois, et une seule saison sèche longue d'environ 9 mois. La pluviométrie annuelle décroît avec la latitude de 900 mm à la frontière avec les pays soudaniens, à environ 300 mm aux abords du lac Tchad (SEIGNOBOS & IYEBI-MANDJECK, 2000). L'hydrographie est, dans sa majeure partie, tributaire du bassin du lac Tchad. Elle est constituée, pour l'essentiel, du Logone et des cours d'eau qui descendent des monts Mandara à l'ouest, dont les plus importants sont le Mayo Tsanaga et le Mayo Boula. A l'exception du Logone, l'ensemble des cours d'eau de la région de l'Extrême-Nord

Cameroun possède un écoulement temporaire qui ne dure parfois que le temps d'un orage (OLIVRY, 1986).

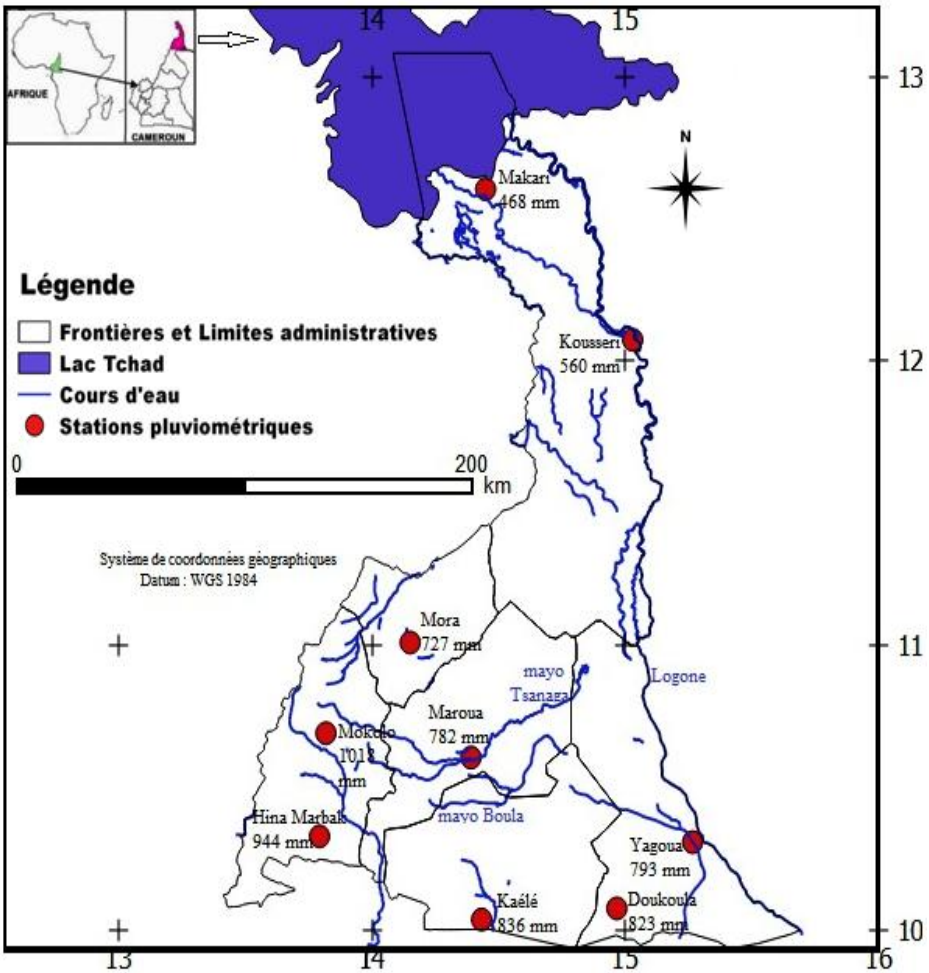


Figure 1. Localisation de la région de l'Extrême-Nord Cameroun.

DONNEES ET METHODES

L'atteinte des résultats du présent papier repose sur un certain nombre de données, mais aussi et surtout des méthodes dont le choix se justifie par leur adéquation avec les objectifs poursuivis.

Données

Les données sont constituées, d'une part, des séries pluviométriques interannuelles et inter-mensuelles que nous avons relevées et complétées pour neuf stations pluviométriques de la région de l'Extrême-Nord Cameroun. D'autre part, nous avons collecté et mis en forme les données relatives à l'historique des inondations catastrophiques enregistrées au cours de la période 1977-2011.

Les séries pluviométriques

Les données pluviométriques sont constituées des séries interannuelles et inter-mensuelles relevées dans neuf stations pluviométriques, durant la période 1935 à 2011 (Tab. 1). La répartition spatiale des stations ainsi retenues tient compte du contraste pluviométrique spatial qui lui aussi obéit à la latitude et à la topographie. Nous avons ainsi retenu les stations de Mokolo, Hina-Marbak et Mora dans les Monts Mandara où le cumul pluviométrique annuel est de l'ordre de 1000 mm ; la station de

Maroua dans les zones de piedmont (environ 800 mm par an) ; et les stations de Yagoua, Kaélé, Doukoula, Makari et Kousseri dans les zones de plaines où le cumul pluviométrique moyen annuel varie entre 400 mm et 800 mm (Fig. 1). L'origine de ces données pluviométriques remonte aux travaux de BEAUVILAIN (1995) pour les séries allant jusqu'à 1994. Puis celles-ci ont été complétées grâce aux relevés réalisés par la Société de Développement du Coton (SODECOTON).

Tableau 1. Liste des stations pluviométriques étudiées.

Station	Coordonnées	Période analysée	Années	Pluviométrie moyenne (mm/an)
Makari	12°35'N,14°27'E	1972-2011	40	468,4
Kousseri	12°04'N,15°02'E	1979-2011	33	559,5
Mokolo	10°44'N,13°49'E	1956-2011	56	1017,6
Mora	10°44'N,14°36'E	1934-2011	78	726,9
Maroua	10°27'N,14°18'E	1935-2011	77	782,4
Hina-Marbak	10°22'N,13°51'E	1957-2011	55	943,6
Yagoua	10°21'N,14°16'E	1948-2011	64	793,2
Doukoula	10°07'N,14°58'E	1964-2011	48	823,1
Kaélé	10°05'N,14°26'E	1944-2011	68	836,0

Historique des événements d'inondations

Nous avons collecté et mis en forme une synthèse de 21 événements historiques d'inondations catastrophiques survenues dans les communes de la région de l'Extrême-Nord Cameroun entre 1977 et 2011. Les données ainsi collectées proviennent pour l'essentiel de nos enquêtes menées auprès des services étatiques en charge de l'administration territoriale (Préfectures de Maroua, Mokolo et Yagoua). En plus, les recherches bibliographiques et la base de données EM-DAT (*Emergency Events Database*) du Centre épidémiologique de l'Université Catholique de Louvain nous ont également servi de sources pour l'acquisition desdites données. Les informations essentielles à retenir ici sont la date et le lieu d'occurrence de la catastrophe.

Méthodes

Etat des lieux des catastrophes d'inondation dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun.

Une cartographie du risque inondation à l'échelle communale a été effectuée sur base de l'historique des événements. Cette procédure a pour objectif de regrouper, sur un même document, toutes les informations (fréquence, lieu d'occurrence) relatives à la compréhension du risque d'inondation dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun et à faciliter la lecture graphique de la répartition du risque. Le principe repose sur la discrétisation des probabilités d'occurrence d'une catastrophe dans une commune donnée, ce qui permet d'associer – à chaque commune affectée – un niveau de risque en définissant une échelle de gravité graphiquement matérialisée par une couleur précise (Tab. 2). Le niveau 0 est affecté aux communes n'ayant pas enregistré de catastrophe ; le niveau I représente un risque faible ; le niveau II, un risque moyen ; le niveau III, un risque élevé ; et le niveau IV représente un risque très élevé.

Tableau 2. Discrétisation des pourcentages d'occurrence des événements de crise d'inondation.

Evénements (%)	Indicateur de risque	Niveau de risque	Légende
0	Risque non déclaré	0	
]0 – 2]	Risque faible	I	
]2 – 5]	Risque moyen	II	
]5 – 10]	Risque élevé	III	
>10	Risque très élevé	IV	

Analyses de la variabilité du régime pluviométrique

Dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun, l'essentiel de la pluviométrie annuelle est enregistré durant les mois de juillet, août et septembre. Ces trois mois constituent les périodes privilégiées pour l'occurrence des catastrophes d'inondation. Pour ce faire, seules les données pluviométriques de ces trois mois seront prises en compte dans les analyses chronologiques des séries pluviométriques inter-mensuelles. Dans l'ensemble des cas, les stratégies et les méthodes complémentaires d'analyses utilisées sont résumées dans le tableau 3. Notons que pour les tests de stationnarité, le logiciel KhronoStat (IRD, 1998) nous a servi de support alors que XLSTAT 2016 nous a permis de tester les tendances au sein des séries pluviométriques interannuelles.

Tableau 3. Types de données et choix des méthodes d'analyses utilisées.

P (mm)	Test de tendance de MANN-KENDALL avec saisonnalité.		Tests de stationnarité				Indices de NICHOLSON (1994)
			Test de PETTITT (1979)		Segmentation d'HUBERT (1989)		
	Intérêts	Limites	Intérêts	Limites	Intérêts	Limites	Intérêts
Echelles inter-annuelle et mensuelle: juillet, août, septembre.	Simple, robuste, accepte les valeurs manquantes et valeurs extrêmes	Faible détection des tendances au niveau annuel	Perfor-mant et robuste	Invalide pour des ruptures continues, et des cas de persistance et de tendance dans les séries.	Détecte les ruptures multiples dans une même série.	Aucun niveau de significa-tion associé.	Adéquats pour les longues séries, et apprécie le degré de sécheresse.

Test d'identification des tendances aux sein des séries hydrométéorologiques

La notion de tendance d'une série hydrométéorologique correspond à l'évolution de ses paramètres au cours du temps, indépendamment des fluctuations saisonnières. A l'effet de détecter des tendances dans les séries pluviométriques, le test de MANN-KENDALL (simple et avec saisonnalité) couplé à la méthode de SEN (1968) a été appliqué aux chroniques pluviométriques interannuelles de la période 1979-2011. Cette période qui est commune aux observations pluviométriques effectuées simultanément dans les neuf stations, a été choisie afin de comparer au mieux l'évolution de la pluviométrie d'une station à l'autre. Le test de MANN-KENDALL constitue alors un test non paramétrique ayant pour objectif de déterminer si une tendance existe ou non, au sein d'une série temporelle. Celui-ci représente le résultat des travaux de MANN (1945) puis de KENDALL (1975). En dehors de ces deux auteurs, HIRSCH *et al*. (1982) ont également contribué à optimiser cette méthode, ceci en prenant en compte la composante saisonnière. Dès lors, au cours de la détection ou de l'estimation des tendances, il n'y a plus de prise en compte des moyennes annuelles dans la série, mais plutôt celle des moyennes saisonnières ou mensuelles. A ce titre, les observations ainsi considérées sont constituées soit des 12 valeurs mensuelles par an ; soit des 4 saisons ou des 52 semaines par an. Le test de MANN-KENDALL s'appuie alors sur le calcul d'un certain nombre de paramètres au rang desquels :

- Le calcul du tau de Kendall, mesurant l'association entre deux échantillons, et lui-même basé sur les rangs à l'intérieur des échantillons ;
- le calcul de la p-value, qui peut être exact dans le cas où il n'y a pas d'ex-æquo dans les rangs des séries et si les tailles d'échantillon sont inférieures à 50. Dans le cas contraire, un calcul exact n'est pas possible et une approximation normale est alors utilisée ;
- la pente de SEN qui est calculée afin de supprimer l'influence éventuelle d'autocorrélations dans la série.

Le test est ainsi basé sur une séquence d'observations X_1, X_2, … X_n pour laquelle l'on oppose l'hypothèse nulle H_0 : « il n'y a pas de tendance dans la série» (les observations Xi sont ordonnées aléatoirement), contre l'hypothèse alternative H_a : « il existe une tendance monotone croissante ou

décroissante dans la série » ; c'est à dire, $FX_i(x) \geq$ (ou $\leq$) $FX_j(x)$ pour tout i<j où $FX_i(x)$ représente la fonction de distribution cumulative des valeurs aléatoires x_i.

Rappelons qu'une corrélation a pour effet d'accroître la variance du test de MANN-KENDALL et augmente par conséquent la probabilité de détecter une tendance significative lorsqu'il n'en existe pas. De plus, notons que le problème d'auto-corrélation au sein des données peut être contourné en une prise en compte du test S dans le cas où les séries temporelles ont moins de 10 valeurs ; pour le cas des séries temporelles ayant 10 valeurs ou plus, l'approximation normale Z est utilisée.
La statistique S de MANN-KENDALL est alors calculée suivant la relation :

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} Sgn(Xj - Xk)$$

Avec :
X_j et X_k : pluviométries annuelles des années j et k (où j>k) ;

$$\mathrm{Sgn(Xj - Xk)} = \begin{cases} 1 \text{ si } Xj - Xk > 0 \\ 0 \text{ si } Xj - Xk = 0 \\ -1 \text{ si } Xj - Xk < 0 \end{cases}$$

L'on note que S > 0 indique une tendance monotone croissante ; alors que S < 0 indique une tendance monotone décroissante. L'espérance E(S) = 0 ; et P (la probabilité de S) peut être calculée par :

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Z} e^{-t^2/2} dt$$

Avec :
P = 0,5 : absence de tendance
P ≈ 1 : tendance positive significative
P ≈ 0 : tendance négative.
A côté de la procédure de calcul de S, l'approximation normale Z appliquée dans le cas des séries chronologiques à 10 ou plus de 10 valeurs est calculée selon la formule :

$$Z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{si } S < 0 \end{cases}$$

Où :

$$\mathrm{Var\ (S)} = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^{q} tp\,(tp-1)(2tp+5)}{18}$$

Ainsi : Z > 0 indique une tendance monotone croissante ; et Z < 0 indique une tendance monotone décroissante.

Procédures de détection des ruptures au sein des séries chronologiques

L'objectif de ces analyses est de déterminer une éventuelle rupture liée à la non-stationnarité. A cet effet, le test de PETTITT (1979) a été choisi pour sa performance et sa robustesse avérées dans la détection des changements au sein des séries hydrométéorologiques (LUBES-NIEL *et al*., 1998). Mais cette performance reste atténuée pour des cas de persistance et de tendance susceptibles d'affecter les séries hydrométéorologiques (ONDO, 2002). En outre, le test de PETTITT (1979) n'est valide que pour les ruptures brusques et invalides pour les ruptures continues. C'est pour cette raison qu'à cette méthode, nous avons associé la procédure de segmentation d'HUBERT (HUBERT *et al*., 1989). L'avantage de cette dernière réside dans la détection des changements multiples de moyennes dans les séries hydrométéorologiques. Toutefois, aucun niveau de signification ne lui est attribué.

Test de PETTITT (1979)

Le test de PETTITT (1979) qui est un test non paramétrique constitue une version modifiée du test de MANN-WHITNEY ayant pour effet de vérifier la stationnarité d'une série pluviométrique. Selon LUBES-NIEL *et al.* (1998), ce test considère une séquence de variables aléatoires indépendantes X_1, X_2, … X_N. La séquence est censée contenir un point de rupture à Γ si les X_t pour t = 1, … Γ ont une distribution commune $F_1(X)$; et les X_t pour t = Γ+1, …, N ont une distribution commune $F_2(X)$ différente de $F_1(X)$.

L'hypothèse nulle de « non-rupture », H_0 : Γ = N contre l'hypothèse alternative de « rupture » 1 ≤ Γ < N, est testée au moyen d'un test non paramétrique. Aucune condition particulière n'est requise pour les formes fonctionnelles de F_1 et F_2, à l'exception de la continuité. Le test propose alors le calcul de la variable $U_{t,N}$ qui permet de tester l'appartenance des deux échantillons X_1, …, X_t et X_{t+1}, …, X_N à la même population.

PETTITT (1979) définit la variable $U_{t,N}$ par la relation :

$$Ut, N = \sum_{i=1}^{t} \sum_{j=t+1}^{N} (\mathrm{Dij})$$

où Di,j = sgn (X_i - X_j) avec sgn X_i = 1 si X > 0 et -1 si X < 0.

La statistique $U_{t,N}$ est considérée pour les valeurs de t comprise entre 1 et N.

Pour tester H_0 contre H_1, la variable K_N = max $\left| U_{t,N} \right|$ est utilisée. Ainsi H_0 est rejetée si la probabilité de dépassement approximative d'une variable K [Prob (K_N>K) ≈ 2exp (-6K^2/(N^3+N^2)] est inférieure à α (risque de première espèce). Dans ce cas la série présente une rupture au temps t = Γ définissant K_N.

Selon les probabilités associées, les classes et les niveaux de signification peuvent être attribués à ce test (Tab. 4).

Tableau 4. Classes et niveaux de signification associés au test de PETTITT (1979).

Probabilité	Classes de signification	Niveaux de signification
α < 1%	Très significatif (Très sgn)	3
1% < α < 5%	Significatif (sgn)	2
5% < α < 20%	Peu significatif (peu sgn)	1
α > 20%	Série homogène	0

Par exemple, lorsque l'hypothèse H_0 est acceptée avec un intervalle de confiance de 99%, l'on a une probabilité α = 0,01 (1%) correspondant au risque de se tromper. Le test est dit très significatif ; et α désigne alors un risque de première espèce.

Procédure de segmentation

Considérée comme un test de stationnarité, la procédure de segmentation a pour but de rechercher des changements multiples de moyennes au sein d'une série hydrométéorologique. Le principe consiste, selon HUBERT *et al.* (1989), à « découper » la série en m segment(s) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit significativement différente de celle du (des) segment(s) voisin(s). On considère de ce fait que l'hypothèse nulle H_0 signifie : « la série est stationnaire ». Si la procédure ne produit pas de segmentations d'ordre supérieur ou égal à 2, l'hypothèse nulle est acceptée.

Indices de NICHOLSON (1994)

Cette méthode a été choisie pour sa capacité à déceler les variations pluviométriques sur une longue série d'observations et surtout pour son intérêt à définir le degré de sécheresse ou d'excédent pluviométrique (Tab. 5). Les valeurs négatives par rapport à la période de référence choisie, indiquent une sècheresse et les valeurs positives, une situation humide.

L'indice pluviométrique standardisé (SPI) permet en effet de mesurer l'écart par rapport à une moyenne établie sur une longue période en référence aux données des stations. Il exprime alors un excédent ou un déficit pluviométrique pour l'année ou le mois considéré, par rapport à la période de référence.

Pour une série pluviométrique annuelle, le SPI est défini selon NICHOLSON (1994) par l'expression :

$SPI = (Xi - Xm)/\sigma i$;

où X_i est la pluviométrie de l'année i; X_m : la moyenne de la série; et δ_i : l'écart-type des pluies annuelles observées.

Par ailleurs, les séries pluviométriques des neuf stations étudiées n'ont pas la même longueur. A titre d'exemple, nous notons que la série de Maroua commence en 1935, alors que celle de Kousseri commence à partir de 1979. Ainsi, afin de rendre comparables les résultats des SPI pour chacune des neuf stations, il est nécessaire d'uniformiser le calcul des SPI sous la base d'une chronique identique des données pluviométriques pour l'ensemble des neuf stations. A ce titre et par souci d'obéir à une longueur maximale des séries, la période 1979-2011 qui est commune à l'ensemble des stations, a été choisie pour le calcul des SPI tant à l'échelle interannuelle qu'à l'échelle mensuelle. A côté de cela, le calcul des SPI à la station de Maroua a été expressément effectué en considérant les périodes 1979-2011 et 1977-2011 ; ceci dans le but de trouver une concordance entre l'historique des catastrophes d'inondations (qui va de 1977 à 2011 pour cette station) et les informations relatives à la pluviométrie.

Tableau 5. Définition des différentes classes de déficits et d'excès pluviométriques selon les valeurs du SPI.

Classes du SPI	Degrés de déficits et d'excès pluviométriques
SPI ≥ 2	Humidité extrême
1 ≤ SPI < 2	Humidité forte
0 < SPI < 1	Humidité modérée
-1 < SPI ≤ 0	Sécheresse modérée
-2 < SPI ≤ -1	Sécheresse forte
SPI ≤ -2	Sécheresse extrême

Relation entre variabilité pluviométrique et aléa inondation dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun.

Dans le but de faire transparaître le lien temporel entre l'occurrence de l'aléa inondation dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun et la variabilité temporelle de la pluviométrie, nous avons effectué une confrontation de l'évolution chronologique des deux phénomènes. De manière simple, le principe consiste à examiner les dates d'occurrence des catastrophes au prisme des caractéristiques de la variabilité pluviométrique.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Situation du risque inondation dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun.

L'analyse de l'historique des inondations catastrophiques dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun (Fig. 2) montre que 30 communes sur 48 ont été au moins une fois sinistrées. Cependant, il

est important de relever quelques disparités spatiales, à savoir un risque très élevé pour les trois communes urbaines de Maroua qui ont enregistré 11 événements catastrophiques depuis 1977 (risque de niveau IV). Celles-ci sont suivies de communes telles que Kaï-Kaï, Maga et Mokolo où le risque s'avère élevé (risque de niveau III), puis des sept autres communes (Bogo, Gobo, Gazawa, Kar-Hay, Kolofata, Méri et Yagoua) avec un niveau moyen de risque (risque de niveau II). En dernier ressort, 17 autres communes présentent un risque faible (risque de niveau I).

La fréquence élevée des inondations catastrophiques observées dans les communes de Maroua, Mokolo, Maga, Kaï-Kaï, dotées des fortes concentrations humaines et situées au cœur des lits majeurs du mayo Tsanaga (cas de Mokolo, Maroua et Maga) et du Logone (cas de Kaï-Kaï), pourrait mettre en évidence en dehors de la variabilité pluviométrique, la problématique de l'exposition et de la vulnérabilité des enjeux qui pourra être abordée ultérieurement.

Variabilité récente de la pluviométrie dans l'Extrême-Nord Cameroun.

L'évolution de la pluviométrie sur une période de temps donnée constitue un phénomène aléatoire ; ce qui peut lui conférer une certaine variabilité. Une telle variabilité peut s'exprimer à différentes échelles, dont les échelles interannuelles et inter-mensuelles sur lesquelles se basera notre approche dans cet article.

Analyse de la variabilité pluviométrique à l'échelle interannuelle

Tendances pluviométriques selon le test de MANN-KENDAL

L'application dans un premier temps, du test de Mann-Kendall (sans saisonnalité) aux séries pluviométriques issues des neuf stations, montre que l'évolution de la pluviométrie interannuelle aux stations de Makari, Kousseri, Mokolo, Yagoua et Kaélé présente une absence de tendance ; étant donné que la p-value (bilatérale) obtenue pour chacune de ces stations est supérieure au niveau de signification alpha = 0,05 (Tab. 6). En même temps, la situation apparaît tout à fait contraire pour les stations de Mora, Hina et Doukoula où les tendances ont été observées dans chacune d'elle (p-value < alpha). Ainsi, pour ces dernières stations, la valeur de la statistique S étant supérieure à zéro, l'on notera que la tendance s'avère monotone croissante dans chacune des stations suscitées.

Dans un second temps, la prise en compte de la saisonnalité dans l'application du test de Mann-Kendall a permis de relever qu'une absence de tendance (P-value > alpha) est totale dans chacune des neuf stations pluviométriques étudiées. Dès lors, l'on comprend que l'existence des tendances, précédemment révélées dans le premier cas, dans les stations de Mora, Hina et Doukoula, serait une conséquence des fluctuations saisonnières qui auraient caractérisé l'évolution de la pluviométrie dans ces trois stations.

Par ailleurs, il est utile de remarquer que dans le cas de la station de Mokolo, le calcul de certains paramètres du test de Mann-Kendall avec saisonnalité (Tau de Kendall, statistique S', p-value, alpha) a été heurté par la constance de certaines séquences de moyennes pluviométriques ; ce qui n'influence en rien le résultat global du test selon lequel, il y a absence de tendance dans l'ensemble des séries pluviométriques ainsi testées. Ceci nous emmène donc à affiner les analyses en recourant à d'autres tests tels les tests d'homogénéité.

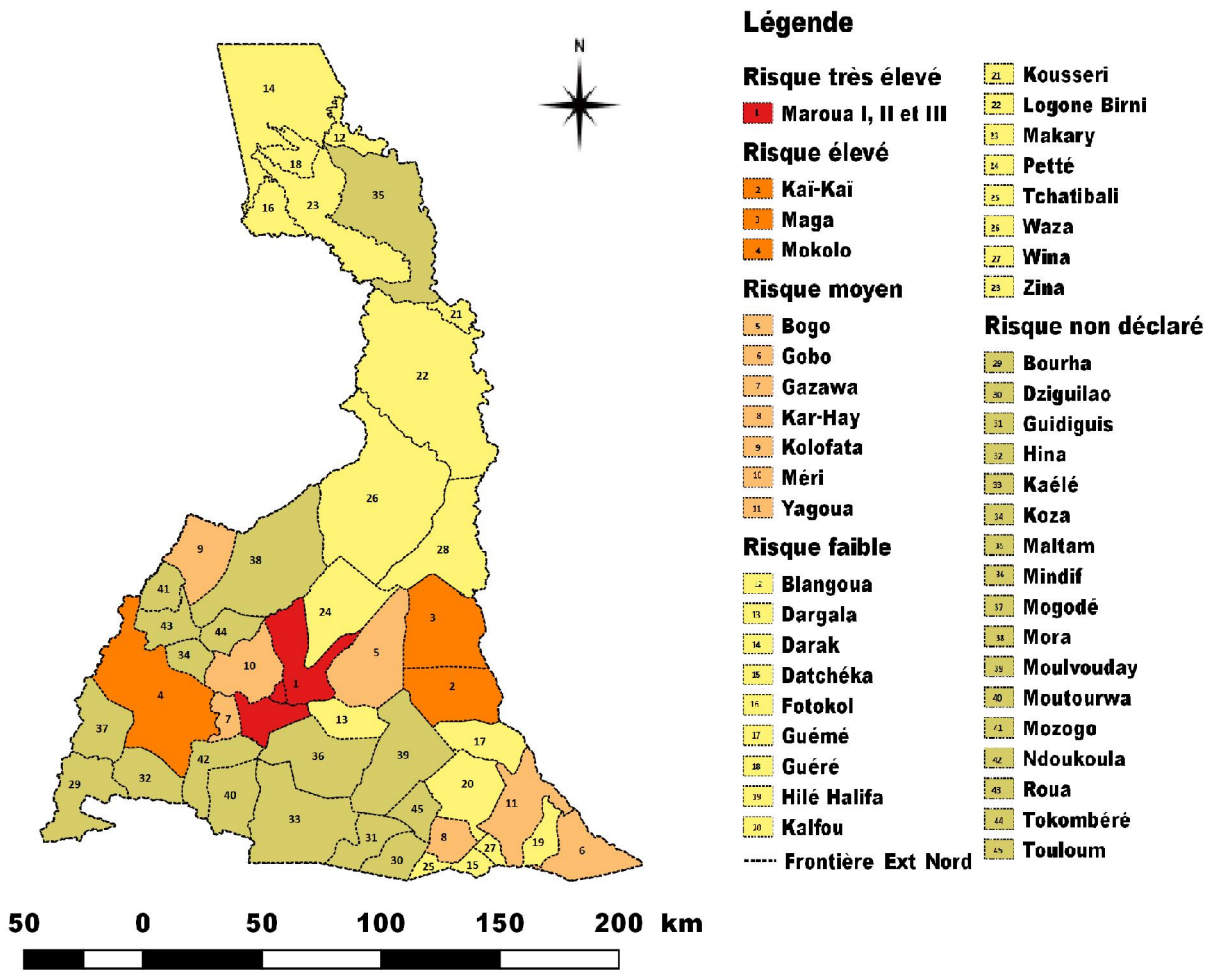


Figure 2. Carte de la répartition du risque inondation dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun.

Variabilités pluviométriques selon le test de PETTITT

Les résultats du test de PETTITT (Tab. 7) montrent que quatre stations (Mora, Kaélé, Maroua, Mokolo) sur 9 disposent de séries pluviométriques homogènes. A l'inverse, les cinq stations de Makari, Kousseri, Hina-Marbak, Yagoua et Doukoula présentent une rupture. Par ailleurs, en dehors de la station de Yagoua dont la rupture (précoce) est survenue en 1969, toutes les autres stations présentent des ruptures qui sont intervenues autour des années 1990 ; soit entre 1987 et 1997. Dans l'ensemble des cas de ruptures ainsi considérées, seule la station de Doukoula dont la rupture est intervenue en 1993 présente une valeur significative car la probabilité $\alpha = 4{,}92$ % est comprise entre 1% et 5%. En plus, il est utile de préciser qu'un déficit pluviométrique (-14%) a été observé au lendemain de la date de rupture (précoce) survenue en 1969 à la station de Yagoua. A l'inverse, les ruptures intervenues dans les stations de Makari (1987), Kousseri (1997), Hina-Marbak (1992) et Doukoula (199) ont été à la faveur d'une augmentation de la pluviométrie dont les coefficients de variation pluviométrique sont entre autres : + 38 % à Makari, + 26 % à Kousseri, + 14 % à Hina-Marbak et + 13 % à Doukoula.

Tableau 6. Tendances des séries pluviométriques interannuelles selon le test de MANN-KENDALL.

Test de tendance de Mann Kendall simple (test bilatéral)									
Paramètres	Makari	Kousseri	Mokolo	Mora	Maroua	Hina	Yagoua	Doukoula	Kaélé
Tau de Kendall	0,087	0,230	0,211	0,258	0,087	0,288	0,008	0,247	0,205
S	46	121	111	136	46	152	4	130	108
p-value	0,486	0,063	0,088	0,036	0,485	0,019	0,963	0,046	0,097
alpha	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Tendance	**Non**	**Non**	**Non**	**Oui**	**Non**	**Oui**	**Non**	**Oui**	**Non**
Pente de Sen	1,171	5,341	3,645	7,38	1,929	7,697	0,189	4,261	4,091
Risque de rejeter H_0 alors qu'elle est vraie (%)	48,55	6,29	8,81	3,59	48,54	1,85	96,29	4,56	9,72
Test de tendance de Mann Kendall (test bilatéral) avec saisonnalité de période = 12 mois									
Tau de Kendall	0,500	0,500	-	0,667	0,167	0,667	0,167	0,500	0,333
S'	6	6	-	8	2	8	2	6	4
p-value	0,307	0,307	-	0,256	0,724	0,256	0,724	0,307	0,423
alpha	0,05	0,05	-	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Tendance	**Non**	**Non**	-	**Non**	**Non**	**Non**	**Non**	**Non**	**Non**
Pente de Sen	135	101	3,645	340	61,5	240,5	132	153	127
Risque de rejeter H_0 alors qu'elle est vraie (%)	30,74	30,74	-	25,61	72,3	25,61	72,37	30,74	42,27

Tableau 7. Ruptures des séries pluviométriques interannuelles selon le test de PETTITT.

Stations	Périodes étudiées	Dates de rupture	Probabilité de dépassement	Seuil de confiance (%)	Valeur du test	Moyenne avant rupture	Moyenne après rupture	Variation (%)
Makari	1972-2011	1987	$5{,}96.10^{-2}$	90	Peu sgn	381,2	526,4	+ 38
Kousseri	1979-2011	1997	$5{,}22.10^{-2}$	90	Peu sgn	503,5	635,5	+ 26
Mokolo	1956-2011	Non.	-	99	Très sgn	-	-	-
Mora	1934-2011	Non.	-	99	Très sgn	-	-	-
Maroua	1935-2011	Non.	-	99	Très sgn	-	-	-
Hina-M.	1957-2011	1992	$8{,}43.10^{-2}$	90	Peu sgn	899,2	1029,6	+ 14
Yagoua	1948-2011	1969	$8{,}65.10^{-2}$	90	Peu sgn	878,8	748,3	-14
Doukoula	1964-2011	1993	$4{,}92.10^{-2}$	95	sgn	783,4	889,2	+ 13
Kaélé	1944-2011	Non.	-	99	Très sgn	-	-	-

Variabilités pluviométriques interannuelles selon la procédure de segmentation de HUBERT

La procédure de segmentation de HUBERT dont les résultats sont présentés dans le tableau 8, montre que six stations (Makari, Kousseri, Hina-Marbak, Yagoua, Kaélé, Maroua) sur neuf sont concernées par une rupture dans leurs séries pluviométriques. Cependant, certaines stations présentent plusieurs ruptures à savoir Makari (2 ruptures), Yagoua (2 ruptures) et Kaélé (3 ruptures). En outre, la rupture majeure pour chacune des trois stations ci-dessus a eu lieu en 1946 pour la station de Kaélé, 1950 pour la station de Yagoua et en 1987 pour la station de Makari (Fig. 3).

La comparaison entre les moyennes pluviométriques avant et après rupture selon la procédure de segmentation d'Hubert montre que l'augmentation de la pluviométrie a eu lieu dans les stations concernées, au lendemain des périodes desdites ruptures. Les excédents pluviométriques ainsi enregistrés vont de l'ordre de + 13 % à la station de Doukoula à + 78 % à la station de Kaélé (Tab. 9).

Tableau 8. Résultats de la procédure de segmentation de HUBERT.

Stations	Périodes étudiées	Années de rupture	Nombre de ruptures
Makari	1972-2011	1987 ; 1991	2
Kousseri	1979-2011	1997	1
Mokolo	1956-2011	Série homogène	0
Mora	1934-2011	Série homogène	0
Maroua	1935-2011	Série homogène	0
Hina-M.	1957-2011	1992	1
Yagoua	1948-2011	1950 ; 1953	2
Doukoula	1964-2011	1993	1
Kaélé	1944-2011	1946 ; 1965 ; 1986	3

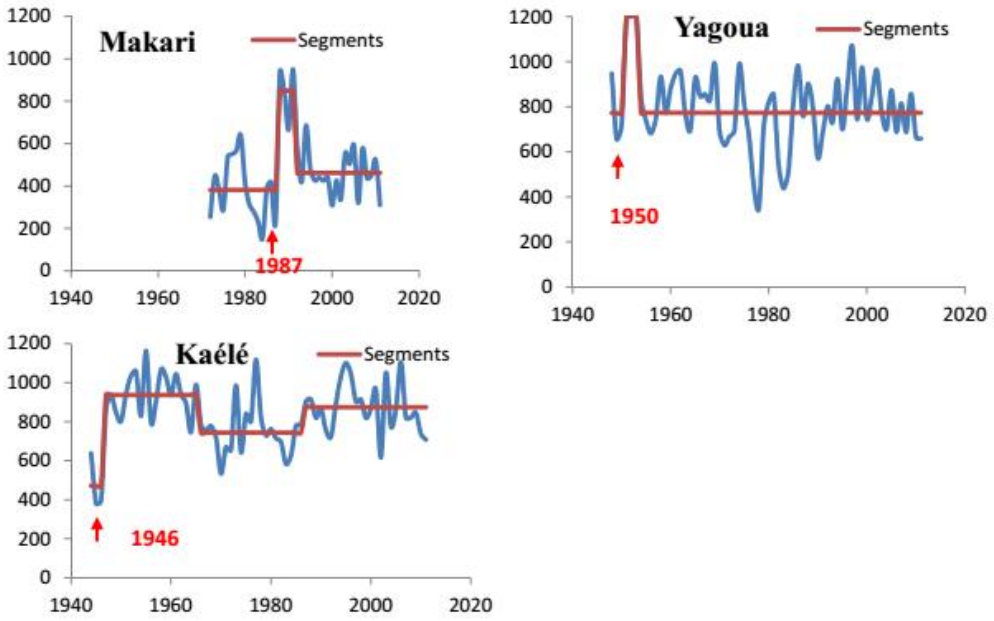


Figure 3. Rupture majeure dans les séries pluviométriques ayant connu des ruptures multiples, selon la procédure de segmentation de HUBERT

Tableau 9. Variations pluviométriques interannuelles entre les périodes avant et après rupture.

Stations	Année de rupture	Moyenne avant rupture (mm)	Moyenne après rupture (mm)	Ecart (mm)	Coefficient de variation (%)
Makari	1987	381	655	+ 274	+ 72
Kousseri	1997	504	636	+ 132	+ 26
Hina-M.	1992	899	1028	+ 129	+ 14
Yagoua	1950	773	987	+ 214	+ 27
Doukoula	1993	783	889	+ 106	+ 13
Kaélé	1946	471	841	+ 370	+ 78

En résumé des tests d'homogénéité des séries pluviométriques, le test de PETTITT montre que les stations de Mokolo, Mora, Maroua et Kaélé présentent des séries homogènes de pluviométrie (Tab. 10). La procédure de segmentation d'Hubert quant à elle confirme les mêmes résultats sauf pour la station de Kaélé pour laquelle des ruptures ont été observées en 1946, 1965 et 1986. De même, la rupture de 1969 pour laquelle un déficit pluviométrique a été observé à la station de Yagoua, selon le test de Pettitt n'a pas été confirmée par la procédure de segmentation de Hubert. De ce point de vue,

cette situation nous emmène à penser à une simple fluctuation de la pluviométrie, plutôt qu'à une rupture véritable.

De façon globale, l'on retient que six des neuf stations étudiées présentent des ruptures en faveur d'une augmentation de la pluviométrie. D'autre part, à l'exception des stations de Kaélé et de Yagoua où les ruptures ont été précoces (1946 et 1950), la majorité des stations étudiées présentent des ruptures qui sont survenues autour des années 1990 et plus particulièrement entre 1987 et 1997. Ceci s'explique par une reprise de la pluviométrie au lendemain de la « grande sécheresse » qui a été extrêmement dure entre 1982 et 1987 dans le Sahel (OZER *et al*., 2003). En outre, une reprise générale des précipitations est maintenant constatée aux alentours du lac Tchad comme dans le bassin du Logone (NKIAKA *et al*., 2016) ou dans l'est du Niger (OZER *et al*., 2009). Par ailleurs, on peut aussi remarquer que cette variation de la pluviométrie s'est fait particulièrement ressentir sur les stations situées aux latitudes supérieures, c'est-à-dire les stations situées aux abords du lac Tchad, au nord. Il en est de même pour les stations situées aux latitudes inférieures, c'est à dire celles qui sont limitrophes de la zone soudanienne au sud. Par contre, entre les deux positions, la pluviométrie présente un caractère stationnaire ; d'où le cas des stations de Mokolo, Mora et Maroua. Ce caractère homogène de la pluviométrie interannuelle ainsi observé dans certaines stations du bassin versant du lac Tchad a également été relevé par NIEL *et al.* (2005). A cet effet, afin de mieux apprécier les caractéristiques de l'évolution de la pluviométrie dans cette région, nous relevons en accord avec ces auteurs, la nécessité d'approfondir les études à une échelle temporelle plus fine (mensuelle ou journalière). Toutefois, la difficulté de recouvrir les données pluviométriques journalières récentes, inhérentes à cette région rend caduque la faisabilité d'une analyse à l'échelle journalière.

Tableau 10. Synthèse des tests d'homogénéité appliqués dans les séries pluviométriques interannuelles.

Stations	Périodes étudiées	Test de PETTITT	Procédure de segmentation
		Années de rupture	
Makari	1972-2011	1987	1987 ; 1991
Kousseri	1979-2011	1997	1997
Mokolo	1956-2011	Série homogène	Série homogène
Mora	1934-2011	Série homogène	Série homogène
Maroua	1935-2011	Série homogène	Série homogène
Hina-M.	1957-2011	1992	1992
Yagoua	1948-2011	1969	1950 ; 1953
Doukoula	1964-2011	1993	1993
Kaélé	1944-2011	Série homogène	1946 ; 1965 ; 1986

Variabilité pluviométrique interannuelle selon les indices de NICHOLSON

L'analyse des indices de NICHOLSON (Fig. 4) permet de constater que les séries pluviométriques des neuf stations disposent plus ou moins de variabilité dont l'ampleur dépend d'une station à l'autre. Partant des travaux de NICHOLSON (1994) relatifs à la caractérisation du degré de sécheresse en fonction des valeurs d'indices pluviométriques standardisés (Tab. 3), nous avons mis sur pied une répartition de toutes les années concernées par l'étude, selon le degré de sécheresse qui caractérise chacune d'elles. Le tableau 11, qui récapitule les résultats, montre qu'un déficit pluviométrique sévère a été généralisé dans presque toutes les stations, durant la période 1980-1985. En effet, toutes les neuf stations pluviométriques étudiées sont concernées par ce phénomène. Par contre, c'est l'année 1994 qui se présente ici comme celle où la pluviométrie a été au contraire, excédentaire dans la majorité des stations étudiées. Cela confirme les résultats antérieurs de NICHOLSON *et al*. (1996).

Les résultats obtenus par cette méthode s'avèrent en adéquation avec ceux issus des méthodes de détection des ruptures qui semblent signaler des changements positifs de pluviométrie dans de nombreuses stations durant la période 1987 à 1997. De même, le caractère stationnaire de la pluviométrie de Maroua, précédemment mis en évidence par les méthodes de détection de ruptures, est

mis en cause par la méthode des indices de NICHOLSON (1994) dont l'avantage a permis d'examiner année par année, la situation de la variabilité pluviométrique. En effet, le calcul des SPI effectué pour cette station durant la période 1979-2011 décèle des conditions d'humidité (1997, 1999) et de sécheresse (1983, 1984, 1990) particulières. Le fait le plus marquant dans cette station réside dans le résultat des SPI pour la période 1977-2011 qui place l'année 1980 au cœur d'une humidité extrême ; pourtant, la sécheresse est observée durant cette même année dans la presque totalité des stations. Ainsi, et compte tenu de la position géographique de cette localité, on peut affirmer que la variabilité pluviométrique dans cette station serait la conséquence des influences combinées du climat soudanien au sud (plus humide) et du climat sahélien au nord (plus sec).

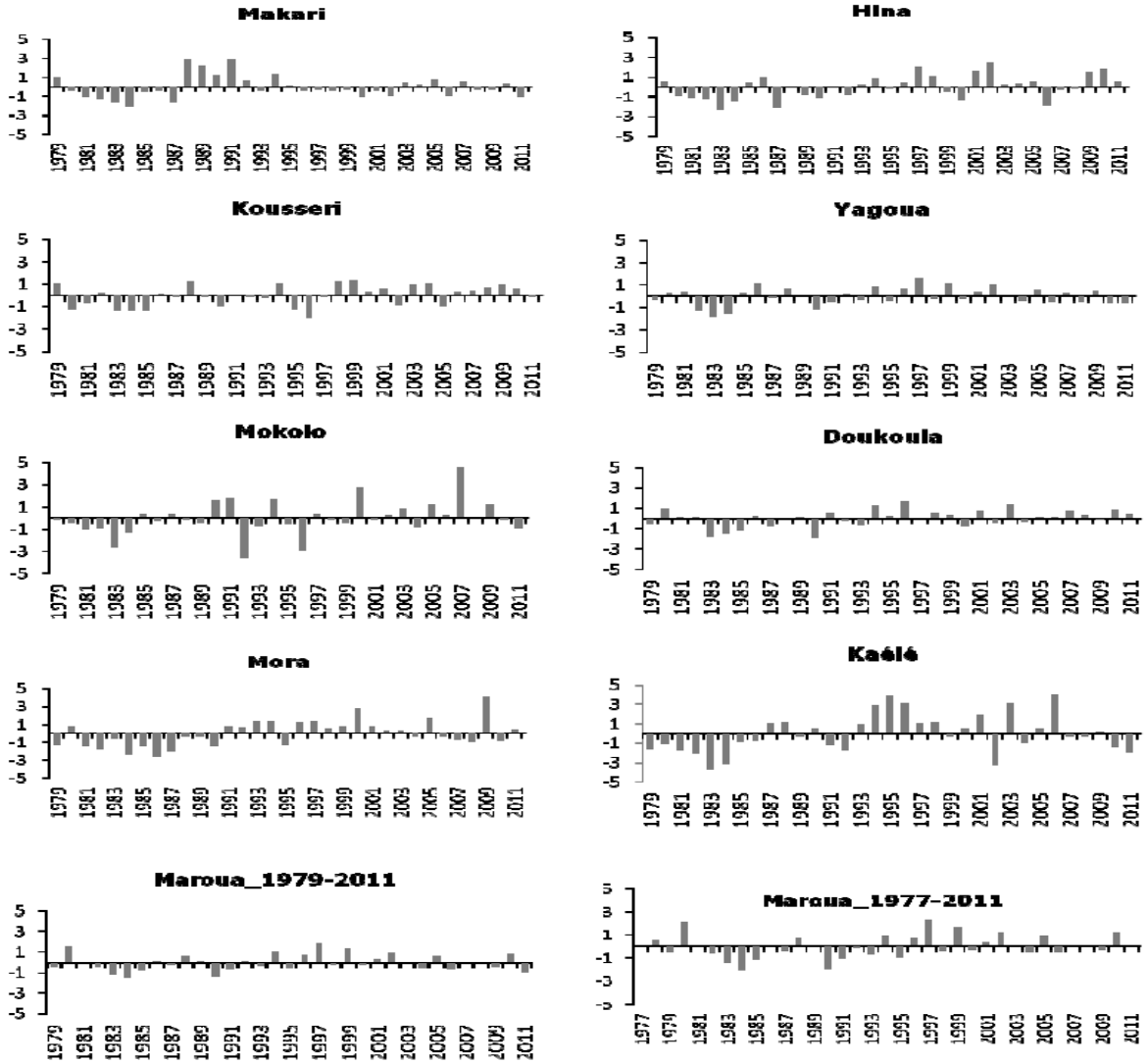


Figure 4. Indices Pluviométriques Standardisés (SPI) appliqués aux séries pluviométriques interannuelles.

Variabilité pluviométrique à l'échelle inter-mensuelle

Dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun, la répartition de la pluviométrie à l'échelle inter-mensuelle présente de nombreux contrastes. Afin de déceler au mieux les traits caractéristiques de cette variabilité, les analyses de son évolution temporelle sont nécessaires.

Ruptures dans les séries pluviométriques inter-mensuelles

Quel que soit le mois testé, les stations de Makari, Maroua et Doukoula (Tab. 12) présentent une pluviométrie homogène. En plus, quelle que soit la station considérée, le mois de juillet présente également des séries pluviométriques homogènes. Par ailleurs, l'essentiel des ruptures survenues dans les séries inter-mensuelles concernent plus particulièrement le mois d'août où les stations telles que Mokolo (1990, 1962), Mora (1956, 1988), Yagoua (1953, 1975), Hina-Marbak (1990, 1994) et Kaélé (1946, 1987) ont connu des ruptures multiples au cours de la période étudiée. Pour le mois de septembre par contre, seules les stations de Kousseri (1979) et de Kaélé (1966, 1968) ont connu un changement dans leurs séries respectives.

Tableau 11. Conditions pluviométriques annuelles exceptionnelles, selon les SPI.

Stations	Périodes étudiées	Années humides		Années sèches	
		Humidité extrême	Humidité forte	Sécheresse extrême	Forte sécheresse
Makari	1979-2011	1988 ; 1989 ; 1991.	1979 ; 1990 ; **1994**.		**1981-1984** ; 1987 ; 2000 ; 2011.
Kousseri	1979-2011		1979 ; 1988 ; **1994** ; 1998 ; 1999 ; 2003 ; 2004.		**1980** ; **1983-1985** ; 1995 ; 1996.
Mora	1979-2011	2000 ; 2009.	1993 ; **1994** ; 1996 ; 1997 ; 2005.	**1984** ; 1986.	1979 ; **1981-1982** ; **1985** ; 1987 ; 1990 ; 1995.
Yagoua	1979-2011		1986 ; 1987 ; 1999 ; 2002.		**1982-1984** ; 1990.
Doukoula	1979-2011		**1994**; 1996; 2003.		**1983-1985**; 1990.
Kaélé	1979-2011	**1994**; 1995; 1996; 2003; 2006.	1987; 1988; 2001;	**1982-1984;** 2002.	1979; **1980-1981**; 1991; 1992; 2010; 2011.
Maroua	1979-2011		1997; 1999.		**1983; 1984**; 1990.
Maroua	1977-2011	1980; 1997.	1999; 2002; 2010.		**1983-1985**; 1990; 1991.
Mokolo	1979-2011	2000; 2007.	1990; 1991; **1994**; 2005; 2009.	**1983**; 1992; 1996.	**1984**
Hina-Marbak	1979-2011	1997; 2002.	1998; 2001; 2009; 2010.	**1983 ; 1987.**	**1982** ; **1984** ; 1990 ; 2000 ; 2006.

Tableau 12. Détection des ruptures à l'échelle inter-mensuelle : synthèse des résultats.

Stations	Période étudiée	Juillet		Août		Septembre	
		Pettitt	Hubert	Pettitt	Hubert	Pettitt	Hubert
Makari	1972-2011						
Kousseri	1979-2011					1979	
Mokolo	1956-2011			1990	1962		
Mora	1934-2011			1956	1956 ; 1988		
Maroua	1935-2011						
Yagoua	1957-2011			1975	1953		
Hina-M.	1948-2011			1990	1994		
Doukoula	1964-2011						
Kaélé	1944-2011			1987	1946	1968	1966

Les résultats ci-dessus permettent de mettre en exergue l'importance de la pluviométrie des mois d'août dans l'occurrence des catastrophes d'inondation dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun ; car parmi les 21 événements catastrophiques répertoriés, 57 % ont eu lieu au cours de ce dernier mois.

Variabilité pluviométrique inter-mensuelle selon les Indices de NICHOLSON

L'analyse des indices pluviométriques standardisés (SPI) appliqués aux séries pluviométriques inter-mensuelles montre que quels que soient le mois et la station considérés, les années 1994 et 2010 présentent une pluviométrie forte à extrêmement forte. A côté de cela, l'on note une persistance à l'échelle inter-mensuelle, de la sécheresse de la période 1980-1985, jadis révélée par les analyses à l'échelle interannuelle. Ainsi, dans le souci d'alléger ce document, seuls les résultats issus de 2 (Makari, Kousseri) des neuf stations étudiées seront présentés à titre d'illustration (Tableau 13 et Tableau 14).

Tableau 13. Aperçu de l'évolution historique des mois de juillet, août et septembre, selon les excédents pluviométriques enregistrés en fonction des valeurs du SPI.

Stations	Période étudiée	Humidité forte (1 < SPI < 2)			Humidité extrême (SPI > 2)		
		Juillet	Août	Septembre	Juillet	Août	Septembre
Makari	1979-2011	1979 ; 1986 ; 1991 ; 1992 ; 1995 ; 2007	1979 ; 1991 ; 1992 ; **1994**	1986 ; 1989	1988 ; 1990 ; **2010** ;	1988 ; 1999	1988 ; 1994 ; 1997 ; 2001 ; 2005 ; 2010
Kousseri	1979-2011	1981 ; 1986 ; 1999 ; **2010**	1982 ; 1988 ; 2008 ; 2009	1979 ; 1988 ; 2001	1998	--	--

Tableau 14. Aperçu de l'évolution historique des mois de juillet, août et septembre, selon les déficits pluviométriques enregistrés en fonction des valeurs du SPI.

Stations	Période étudiée	Sécheresse forte (-2 < SPI < -1)			Sécheresse extrême (SPI < -2)		
		Juillet	Août	Septembre	Juillet	Août	Septembre
Makari	1979-2011	**1982-1985** ; 1987 ; 1996 ; 2000 ; 2002 ; 2004 ; 2006	**1983 ; 1984**	**1983** ; 2003 ; 2007 ; 2008	1997 ; 2001	-	**1980-1982** ; **1984** ; 1987 ; 1990 ; 1991 ; 1998
Kousseri	1979-2011	1996	**1981**	1987 ; 1996 ; 1997 ; 1998	--	--	--

Relation temporelle entre historique des inondations catastrophiques et variabilité pluviométrique dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun.

La confrontation entre les caractéristiques de la variabilité pluviométrique ainsi décelées et l'historique des catastrophes d'inondation survenues dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun permet de mettre en évidence le lien temporel entre la pluviométrie et l'occurrence des catastrophes. Les résultats qui sont consignés dans le tableau 15 permettent de constater qu'à l'échelle interannuelle, 75% des catastrophes enregistrées sont survenues au cours d'une année à humidité normale ; alors que seulement 20% d'entre elles sont survenues au cours d'une année forte à extrêmement forte du point de vue pluviométrique ; et 5% au cours d'une année fortement à extrêmement sèche. Sur le plan inter-mensuel par contre, 45 % des catastrophes sont survenues au cours d'un mois normal contre 40 % de phénomènes survenus au cours d'un mois caractérisé par une pluviométrie forte à extrême. En plus de

cela, remarquons que 15 % de catastrophes sont survenues au cours d'un mois à pluviométrie fortement à extrêmement déficitaire (année de forte ou d'extrême sécheresse).

Tableau 15. Relation temporelle entre historique des inondations catastrophiques et variations pluviométriques à l'Extrême-Nord Cameroun.

Dates des événements	Communes touchées	Changements dans les séries pluviométriques		Conditions d'humidité	
		inter-mensuelles	interannuelles	mensuelles	annuelles
13/08/1977	Maroua Gazawa	Homogène	Homogène	Humidité forte	Normale
00/08/1988	Maroua	Homogène	Homogène	Sécheresse forte	Normale
13/08/1991	Maroua	Homogène	Homogène	Normale	Sécheresse forte
21/09/1994	Maroua	Homogène	Homogène	Humidité forte	Normale
14/09/1994	Maroua	Homogène	Homogène	Humidité forte	Normale
14/09/1994	Mokolo	08/ 1962 et 1990	Homogène	Humidité forte	Humidité forte
17/08/1997	Maroua	Homogène	Homogène	**Humidité extrême**	**Humidité extrême**
06/08/1998	Meri	Homogène	Homogène	Sécheresse forte	Normale
19/08/2000	Bogo Gazawa Maroua	Homogène	Homogène	Normale	Normale
15/07/2005	Maroua	Homogène	Homogène	Normale	Normale
25/07/2005	Maroua	Homogène	Homogène	Normale	Normale
05/08/2006	Maroua	Homogène	Homogène	Normale	Normale
02/08/2007	Mokolo	08/1962 et 1990	Homogène	Humidité forte	**Humidité extrême**
02/08/2007	Kolofata	08/1956 et 1988	Homogène	Normale	Normale
04/08/2007	Mokolo	08/1962 et 1990	Homogène	Humidité forte	**Humidité extrême**
05/08/ 2007	Yagoua Guémé Maga	08/1953 et 1975	1950	Normale	Normale
05/08/ 2007	Doukoula	Homogène	1993	**Humidité extrême**	Normale
03/09/2007	Bogo Meri Petté Dargala	Homogène	Homogène	Normale	Normale
04/09/2007	Kolofata	08/1956 et 1988	Homogène	**Sécheresse extrême**	Normale
22/07/2010	Maga (Pouss)	08/1953 et 1975	1950	Normale	Normale

Par ailleurs, il est aussi intéressant de remarquer que parmi les neuf stations pluviométriques étudiées, la station de Maroua dont la pluviométrie s'est illustrée par une absence de rupture tant à l'échelle interannuelle qu'à l'échelle inter-mensuelle, laisse apercevoir à travers les SPI, des marques

de la grande sécheresse de la période 1982-1984 ou d'humidité de 1994, pour ne citer que celles-là. Dès lors, on comprend aisément que l'occurrence des catastrophes d'inondation dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun est tributaire aussi bien des conditions pluviométriques normales, que des conditions pluviométriques déficitaires à excédentaires. A ce titre, et sur la base de l'échelle des paramètres pluviométriques que nous avons utilisés, on ne saurait considérer l'occurrence de telles inondations catastrophiques comme étant une conséquence du changement dans le régime pluviométrique.

Toutefois, les paramètres pluviométriques n'étant analysés qu'aux échelles interannuelle et inter-mensuelle, on peut émettre plus ou moins des réserves quant à la solidité de ces derniers résultats. En plus, on peut noter que l'historique des inondations catastrophiques aurait pu être plus exhaustif si la mémoire des événements et la politique de conservation des archives avaient été meilleures dans les régions affectées par les catastrophes. Cependant, de nombreuses études montrent que les récentes inondations au Sahel sont le plus souvent le résultat de l'insuffisance des politiques d'aménagement du territoire en raison de l'étalement des enjeux dans les zones à risque (SENE & OZER, 2002 ; TARHULE, 2005 ; OULD SIDI CHEIKH *et al*., 2007 ; DESCROIX *et al*., 2013 ; OZER, 2014).

De ce point de vue, il est probable que l'ensemble des facteurs ci-dessus mentionnés puissent limiter la pertinence des résultats issus de ce travail. Dans tous les cas, le présent travail étant basé sur une chronique de données satisfaisantes issues de sources fiables, on peut estimer que l'influence des difficultés rencontrées dans le recouvrement de données ne saurait remettre en cause la pertinence des résultats ainsi obtenus.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'analyse de la variabilité récente de la pluviométrie observée dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun montre de manière globale, une tendance à l'augmentation de la pluviométrie survenue autour des années 1990. Cette augmentation de la pluviométrie survenue entre 1987 et 1997 pourrait ainsi être perçue comme une manifestation d'un retour aux conditions normales, après l'épisode de sécheresse 1982-1984 qui a sévi non seulement sur la région de l'Extrême-Nord Cameroun, mais aussi et surtout sur l'ensemble du domaine sahélien de l'Afrique de l'Ouest et Centrale.

Cependant, si les changements observés dans les chroniques pluviométriques de l'Extrême-Nord Cameroun constituent un fait marquant dans l'histoire hydrométéorologique de cette région, l'occurrence des catastrophes d'inondation en est un autre. Et l'on ne saurait considérer le second comme une conséquence du premier ; car les analyses montrent que l'occurrence d'une catastrophe d'inondation n'obéit ici à aucune condition pluviométrique particulière, si l'on considère les échelles d'analyses interannuelles et inter-mensuelles sur lesquelles le présent travail est fondé.

En perspectives, l'on se rend compte que les résultats de cette étude relancent un nouveau débat sur les causes réelles et majeures des catastrophes d'inondation dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun. Dès lors, et compte tenu des mutations sociétales préjudiciables aux changements d'occupation des sols (LEROUX *et al.*, 2013 ; WAFO TABOPDA & FOTSING, 2010), il serait judicieux d'examiner la question de la vulnérabilité des enjeux et celle de la responsabilité de la capacité d'infiltration des sols sur l'occurrence des catastrophes d'inondations.

BIBLIOGRAPHIE

ARDOIN-BARDIN S., 2004. Variabilité hydro-climatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. Thèse doctorat, Université de Montpellier II. 440p.

BEAUVILAIN, 1995. Tableau de la pluviométrie dans les bassins du Tchad et de la Benoué : de la création des stations à décembre 1994. N'Djamena, Tchad, CNAR, *Travaux et Documents Scientifiques du Tchad*, 103 p.

BOUBA L., 2009. Risques géo-environnementaux dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun : cas des inondations dans la ville de Maroua. Mém. DEA, Univ. Yaoundé I., 62 p.

CRED, 2012. Disaster data: a balanced perspective. CRED CRUNH, 28, 2 p.

DE LONGUEVILLE F., HOUNTONDJI 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.

DESCROIX L., MOUSSA I.B.N., GENTHON P., SIGHOMNOU D., MAHÉ G. *et al*., 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.
GEMENNE F., BLOCHER J., DE LONGUEVILLE F., VIGIL DIAZ TELENTI S., ZICKGRAF C., GHARBAOUI D. & OZER P., 2017. Catastrophes naturelles, changement climatique et déplacements de populations en Afrique de l'Ouest. *Geo-Eco-Trop*, 41: 317-337.
HIRSCH R.M., SLACK J.R. & SMITH R.A., 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research*, 18: 107-121.
HUBERT P., CARBONNEL J.P. & CHAOUCHE A., 1989. Segmentation des séries hydrométéorologiques - application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest. *Journal of Hydrology*, 11: 349-367.
INS (Institut National de la Statistique), 2012. Rapport national de progrès des objectifs du millénaire pour le Développement. 58p.
IPCC, 2001. Technical Summary on Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC, Geneva, Switzerland, 98 p.
IRD, 1998. KhronoStat version 1.0. Logiciel, IRD, Montpellier, France.
KENDALL G., 1975. Rank correlation methods. 4th ed. Charles Griffin, London**.**
LEROUX L., OSZWALD J., NGOUNOU NGATCHA B., SEBAG D., PENVEN M.J. & SERVAT E., 2013. Le bassin versant du Mayo-Tsanaga (Nord Cameroun) : un bassin versant expérimental pour une compréhension des relations Homme / Milieu. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 202: 42-54.
LUBES-NIEL H., MASSON J.M., PATUREL J.E. & SERVAT E., 1998. Variabilité climatique et statistiques. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Revue des Sciences de l'Eau*, 11: 383-408.
MAHE G., DIELLO P., PATUREL J.E., BARBIER B., KARAMBIRI H., DEZETTER A., DIEULIN C. & ROUCHE N., 2010. Baisse des pluies et augmentation des écoulements au Sahel : impact climatique et anthropique sur les écoulements du Nakambe au Burkina Faso. *Sécheresse*, 21: 330-332.
MANN H.B., 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, 13: 245-259.
NICHOLSON S.E., 1994. Recent rainfall fluctuations in Africa and their relationship to past conditions over the continent. *The Holocene*, 4: 121-131.
NICHOLSON S.E., BA M.B. & KIM J.Y., 1996. Rainfall in the Sahel during 1994. *Journal of Climate*, 9: 1673-1676.
NIEL H., LEDUC C. & DIEULIN C., 2005. Caractérisation de la variabilité spatiale et temporelle des précipitations annuelles sur le Bassin du lac Tchad au cours du 20ème siècle. *Hydrological Sciences Journal*, 50: 223-243.
NKIAKA E., NAWAZ N.R. & LOVETT J.C., 2016. Analysis of rainfall variability in the Logone catchment, Lake Chad basin. *International Journal of Climatology*, doi:10.1002/joc.4936
OFFICIEL, 2012. Les inondations du Nord et de l'Extrême-Nord en 2012. Communication gouvernementale.
OLIVRY J.C., 1986. Fleuves et Rivières du Cameroun. *Collection « Monographies hydrologiques ORSTOM »*, 9. Paris, France : MESRES-ORSTOM. 781p.
ONDO J.C., 2002. Etude comparative des tests de stationnarité. Thèse doctorat; Université du Québec. 288p.
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., 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.
OZER P., ERPICUM M., DEMARÉE G. & VANDIEPENBEECK M., 2003. The Sahelian drought may have ended during the 1990s. *Hydrological Sciences Journal*, 48: 489-492.
OZER P., HOUNTONDJI Y.C. & LAMINOU MANZO O., 2009. Evolution des caractéristiques pluviométriques dans l'est du Niger de 1940 à 2007. *Geo-Eco-Trop,* 33: 11-30.
OZER P., LAMINOU MANZO. O., TIDJANI A.D., DJABY B. & DE LONGUEVILLE F., 2017. Evolution récente des extrêmes pluviométriques au Niger (1950-2014). *Geo-Eco-Trop*, 41, 3 : 375-383
OZER P. & PERRIN D., 2014. Eau et changement climatique: tendances et perceptions en Afrique de l'Ouest. *In* A. BALLOUCHE & A.N. TAÏBI (Eds.), *Eau, milieux et aménagement. Une recherche au service des territoires.* Presses de l'Université d'Angers, Angers, France, pp. 227-245.
PANTHOU G., VISCHEL T. & LEBEL T., 2014. Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel. *International Journal of Climatology*, 34: 3998-4006.
PETTITT A.N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, 28: 126-135.
SEIGNOBOS C. & IYEBI-MANDJECK O., 2000. Atlas de la province Extrême-Nord Cameroun. *IRD*, 84p.
SEN P.K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of American Statistical Association*, 63: 1379-1389.

SENE S. & OZER P., 2002. Evolution pluviométrique et relation inondations –événements pluvieux au Sénégal. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 42: 27-33.
TARHULE A., 2005. Damaging rainfall and flooding: the other Sahel hazards. *Climatic Change*, 72: 355-377.
UNISDR, 2015. The human cost of weather related disasters 1995–2015. United Nations Office for Disaster Risk Reduction / Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, Geneva, Switzerland, 27p.
WAFO TABOPDA G. & FOTSING J.M., 2010. Quantification de l'évolution du couvert végétal dans la réserve forestière de Laf-Madjam au nord du Cameroun par télédétection satellitale. *Sécheresse*, 21: 169-178.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les réviseurs de cet article et soulignent la qualité de leur travail qui a contribué à l'amélioration de cet article.
Un merci également à tous ceux qui ont voulu mettre à notre disposition les données nécessaires à la rédaction de cet article ; et en l'occurrence Monsieur Tchinsabé Pabamé Ismael, ex-chef de Région à la Société de Coton de Maroua (Extrême-Nord Cameroun).