

Evolution des caractéristiques pluviométriques dans l'est du Niger de 1940 à 2007

Recent trends in the Eastern Niger rainfall regime (1940-2007)

OZER, P.¹, HOUNTONDJI, Y-C.² & LAMINOU MANZO, O.³

Abstract: Since the late 1960s, the Sahel of West Africa is affected by a dramatic drought. Based on long-term daily datasets in four synoptic stations, this article analyses recent trends in the Eastern Niger rainfall regime from 1940 to 2007. Results suggest that the Sahelian drought ended in the early 1990s. However, several rainfall indices still present strong significant downwards trends. We also show that the length of the rainy season has not been heavily impacted, except in its amplitude, which may suggest an increasing degree of vulnerability.

Key words: Rainfall, precipitation indices, rainy season, drought, Sahel, Niger.

Résumé : Depuis la fin des années 1960, la région sahélienne est touchée par une terrible sécheresse. Cet article analyse les variations pluviométriques enregistrées dans le Niger oriental sur base des stations synoptiques de Gouré, Magaria, Mainé Soroa et Zinder entre 1940 et 2007. Il apparaît que la zone étudiée est sortie de la « Grande Sécheresse » au début des années 1990. Cependant, si différents indices pluviométriques se sont dégradés, la longueur de la saison des pluies ne semble pas avoir été fortement modifiée, sauf dans son amplitude, ce qui traduit néanmoins une accentuation (quoique limitée) du degré de vulnérabilité.

Mots-clés : Précipitations, indices pluviométriques, saison des pluies, sécheresse, Sahel, Niger.

INTRODUCTION

Très longtemps, il a été admis que la limite méridionale des dunes mobiles correspondait approximativement à l'isohyète de 150 mm (GROVE, 1958). Dans notre zone d'étude, le Niger oriental, les dunes héritées de l'époque ogolienne [20 000 à 12 500 B.P.] (ROGNON, 1991) ont été décrites, durant les années 1950, comme étant fixées par la végétation (CAPOT-REY, 1952 ; GROVE, 1958). Au début des années 1970, WILSON (1971, 1973) décrivait toujours ces formations dunaires comme étant totalement fixées par la végétation. Quelques années plus tard, MAINGUET *et al.* (1979) y ont établi une carte au 1 : 1 000 000 à partir d'une étude comparative d'images satellitaires Landsat (1975 à 1977) et de photographies aériennes (1955-56 et 1975) supportée par diverses campagnes de vérifications de terrain. Pour ces auteurs, la limite naturelle des dunes vives / dunes vêtues était toujours l'isohyète de 150 mm. Les dunes étaient toujours reconnues comme fixées par la végétation et peu dégradées par les actions humaines dans la zone s'étendant de Zinder à Maine-Soroa. Ces dernières décennies, le Niger oriental a connu des modifications environnementales profondes (KARIMOUNE, 1994 ; MATO, 2004 ; BODART & OZER, 2009 ; TIDJANI *et al.*, 2009). Actuellement, les dunes vives sont présentes sur près de 200 kilomètres entre Gouré et Maine-Soroa alors que la pluviométrie annuelle moyenne (1978-2007) est de l'ordre de 330 mm. Les infrastructures, routes et cuvettes, sont constamment menacées par l'avancée du

¹Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université de Liège, Belgique. pozer@ulg.ac.be

²Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, Bénin. yvon.hountondji@gmail.com

³Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger, lamine_ous@yahoo.fr

sable. HERRMANN *et al.* (1997) ont d'ailleurs mis en évidence que cette région était devenue, depuis les années 1980, l'une des trois zones-source principales de poussières au sud de l'isohyète de 200 mm.

Pour JAHIEL (1998), c'est le déficit pluviométrique persistant qui aurait modifié aussi bien le faciès environnemental que le comportement des populations locales dans la région des cuvettes de Goudoumaria et Mainé-Soroa, une région légèrement à l'est de Gouré. Les effets combinés de ces deux actions auraient été palpables seulement à partir du début des années 1980 avec l'avènement de la deuxième période dramatique de sécheresse (1982-1987) qui, de manière générale, a entraîné :

- * La baisse générale du niveau des nappes phréatiques réalimentées annuellement par les eaux de ruissellement et de drainage pendant la saison des pluies ;
- * Une réduction ou modification floristique des surfaces pastorales utiles ;
- * Une surexploitation des bas-fonds avec arrêt des jachères, conduisant le plus souvent à un appauvrissement, puis à une stérilisation des sols ;
- * La disparition ou la raréfaction d'espèces ligneuses utiles pour l'alimentation, l'artisanat, la médecine, ...

Le tout conduisant irrémédiablement à la mise en place d'un processus de désertification se caractérisant par une détérioration interne du milieu et se manifestant, entre autres, par la remise en mouvement des dunes.

Notons finalement que notre région d'étude abritait une faune diversifiée aujourd'hui totalement disparue. Ainsi, en 1945, le Lieutenant GRALL recensait les mammifères suivants au nord de Gouré : chacal, hyène, lion, lynx, girafe, antilope, gazelle, guépard, etc. Il ajoute également que le nombre de gazelles et d'antilopes étant énorme, les indigènes n'avaient aucun mal à les chasser pour la qualité et la quantité de leur viande et de leur peau. Quant à l'éléphant, il était bien présent dans la région de Mainé Soroa jusqu'aux années 1950 (MAUNY, 1957, *in* OJO, 1977). Ajoutons également que les autruches y étaient présentes en abondance jusqu'à la fin des années 1960 (M. S. KARIMOUNE, communication orale, 1998).

Réalisé dans le cadre du programme interuniversitaire ciblé (PIC) financé par la Coopération Universitaire au Développement (CUD) intitulé « Envahissement des cuvettes du sud-est nigérien par apports éoliens : processus, impacts et moyens de lutte » (TYCHON & AMBOUTA, 2009), l'objectif de cet article est de quantifier l'importance des récentes variations du régime pluviométrique dans le Niger oriental entre 1940 et 2007.

DONNEES ET METHODES

La saison des pluies est caractérisée par les précipitations totales annuelles, par le nombre, la distribution et l'intensité des jours pluvieux.

Depuis 1905, une longue série pluviométrique quotidienne est disponible à la station de Zinder (OZER & ERPICUM, 1995). Ces séries pluviométriques se sont généralisées durant les années 1950 et 1960 sur le territoire du Niger (MOREL, 1995). Avec l'objectif d'analyser les plus longues séries pluviométriques possibles dans la zone d'étude, quatre stations synoptiques (Zinder, Magaria, Gouré et Mainé Soroa) ont été retenues et couvrent une période de 68 années, de 1940 à 2007 (Fig. 1). Elles ne comportent pas de données manquantes. Ces bases de données pluviométriques quotidiennes ont été obtenues auprès de la Direction Nationale de la Météorologie du Niger.

Analyse des données pluviométriques annuelles et quotidiennes

Dix indices pluviométriques ont été calculés annuellement (Tab. 1) : le total pluviométrique (PTOT), le nombre total de jours humides (avec des pluies journalières ≥ 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) ainsi

que la pluviométrie maximale enregistrée en 1, 5 et 30 jours consécutifs (Px1J, Px5J, Px30J). Deux autres indices sont basés sur les 95^{ème} et 99^{ème} percentiles. Cette méthode d'analyse est communément utilisée pour l'étude des événements extrêmes et est la plus adéquate quand une vaste zone est examinée (MANTON *et al.*, 2001 ; GRIFFITHS *et al.*, 2003, HAYLOCK *et al.*, 2006), ce qui est le cas dans cette étude puisque les précipitations annuelles moyennes varient de 341,4 mm (Gouré) à 581,7 mm (Magaria). Ces percentiles sont calculés à partir des données journalières sur une période de trente ans, ici 1961-1990, répondant de la sorte aux normes de l'Organisation météorologique mondiale (OMM). Le 95^{ème} percentile correspond à un événement pluviométrique intense alors que le 99^{ème} percentile représente un événement pluviométrique extrême. La fréquence de ces événements pluviométriques intense (P95p) et extrême (P99p) est exprimée en jours par an.

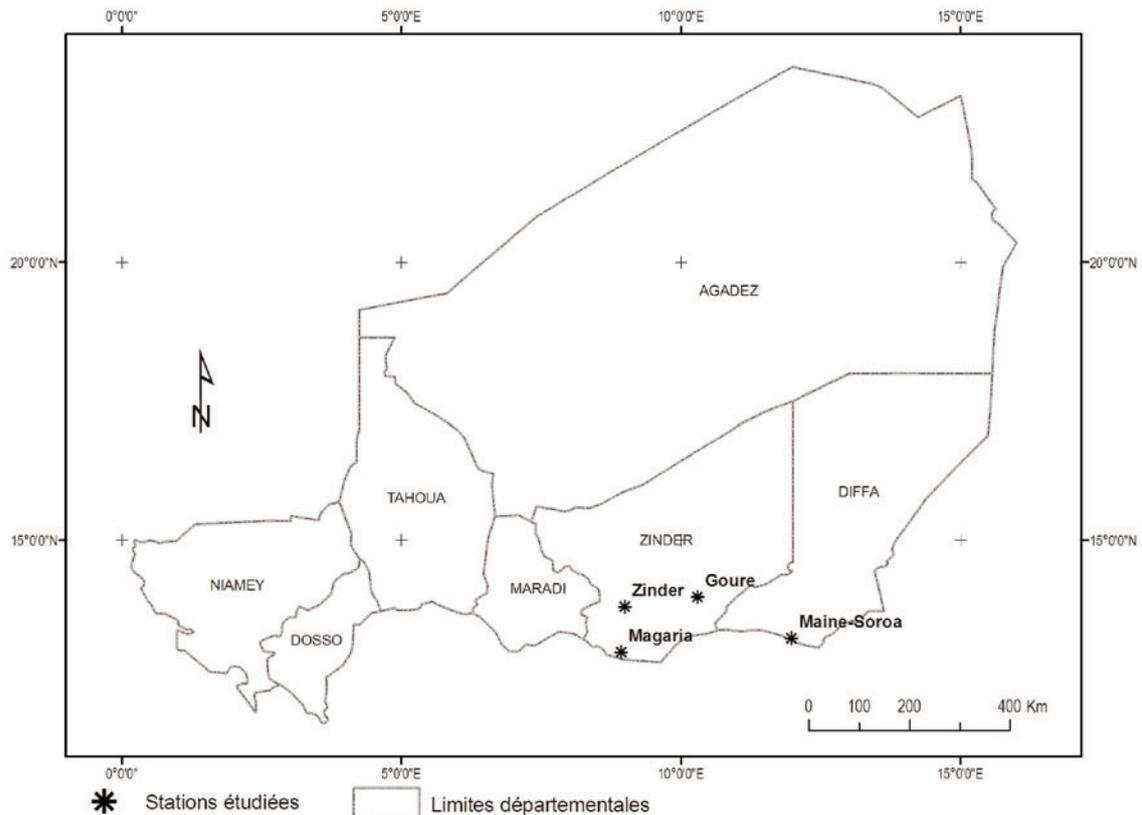


Figure 1: Localisation des stations analysées.

L'analyse des tendances linéaires (exprimées en % par décennie) a été réalisée pour chaque station de 1940 à 2007 par régression linéaire entre les différents indices pluviométriques et le temps (en années). Les pentes ainsi estimées ont été regroupées en six classes indiquant des tendances très significatives, significatives, et non significatives à la hausse ou à la baisse. La limite des six classes considérées est définie à partir de la statistique t de Student utilisée pour tester l'hypothèse d'une pente égale à 0. Dès lors, la tendance est qualifiée comme étant très significative si la probabilité p du test de t appliqué à la pente de la régression est inférieure à 0,01 et significative si la probabilité p du test de t appliqué à la pente de la régression est comprise dans l'intervalle [0,01 - 0,05]. Lorsque la probabilité p du test de t appliqué à la pente de la régression dépasse la limite de 0,05 ; les tendances sont alors qualifiées de non significatives.

Par ailleurs, l'étude des changements de climat met en évidence la nécessité d'analyser la structure interne des séries chronologiques et leur éventuelle non-stationnarité. Pour ce faire, deux tests sont utilisés conjointement pour expliquer la stabilité d'une série temporelle : le test de PETTITT (1979) et le test de MANN-KENDALL (1945) dans sa forme progressive comme rappelé par SNEYERS (1990). L'application simultanée de ces deux tests a été élaborée par

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

ACRONYME	NOM DE L'INDICE	DEFINITION	UNITE
PTOT	Précipitation annuelle	Précipitation totale annuelle	[mm]
JP	Jour 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]
Px1J	Pluie maximale quotidienne	Précipitation maximale quotidienne	[mm]
Px5J	Pluie maximale pentadaire	Pluie maximale enregistrée sur 5 jours consécutifs	[mm]
Px30J	Pluie maximale mensuelle	Pluie maximale enregistrée sur 30 jours consécutifs	[mm]
P95p	Fréquence des pluies intenses	Nombre de jours avec des précipitations $\geq 95^e$ percentile calculé sur la période 1961-1990	[jours]
P99p	Fréquence des pluies extrêmes	Nombre de jours avec des précipitations $\geq 99^e$ percentile calculé sur la période 1961-1990	[jours]

VANDIEPENBEECK (1995). Ces tests statistiques permettent de mettre en évidence les changements abrupts et les tendances. Ils ont été appliqués ici aux différents indices pluviométriques. Les résultats sont présentés sur base de trois seuils de significativité. On parlera de rupture très significative si la probabilité associée est $< 1\%$; significative si elle est comprise dans l'intervalle $[1\% - 5\%[$; peu significative lorsqu'elle est comprise dans l'intervalle $[5\% - 20\%[$. Au-delà de cette dernière limite, on parlera de série homogène (Paturel *et al.*, 1998). En Afrique de l'Ouest, ceux-ci ont montré leur efficacité, notamment pour la détermination du début de la sécheresse (GAUTIER *et al.*, 1998 ; MOREL, 1998 ; PATUREL *et al.*, 1998 ; OZER, 2000).

Détermination de la saison des pluies : début, fin et longueur.

La date du début des pluies est importante dans la planification des opérations agricoles, particulièrement le semis. Il existe plusieurs définitions relatives à la longueur de la saison des pluies. Dans le cadre de cette étude, nous appliquons les méthodes de STERN *et al.* (1981), de SIVAKUMAR (1987) et d'ERPICUM *et al.* (1988).

La première méthode (STERN *et al.* 1981) définit le début de la saison des pluies lorsque 20 mm de pluie sont recueillis en deux jours consécutifs sans période sèche supérieure à dix jours dans les trente jours qui suivent, et la fin lorsqu'il n'y a plus de pluie durant une période de quinze jours. La deuxième a été élaborée à partir d'observations effectuées sur le mil au Centre Sahélien de l'ICRISAT pour une série de stations sahéliennes et soudanaises (SIVAKUMAR, 1987). Elle a ensuite été appliquée à tout le réseau de stations pluviométriques au Sénégal, Niger, Mali, Burkina Faso. Pour cette méthode, le critère retenu pour déterminer la date du début de la saison des pluies est de 20 mm de pluie recueillis en trois jours consécutifs après le 1er mai, sans période sèche supérieure à sept jours dans les trente jours qui suivent. La fin de la saison des pluies est fixée au jour où, après le premier septembre, il n'y a plus de pluie durant une période de vingt jours. La troisième a été développée au Sénégal avant d'être appliquée au Niger (OZER, 1993 ; OZER & ERPICUM, 1995). ERPICUM *et al.* (1988) ont montré que, selon des critères climatiques, la saison des pluies commence au moment où la probabilité d'avoir un jour de pluie au cours d'une « pentade » (période de cinq jours) déterminée est supérieure à celle d'avoir un jour sec appartenant à un épisode de plus de sept jours. Selon le même calcul, la fin de la saison des pluies est fixée dès que la probabilité d'avoir un jour sec appartenant à un épisode de sept jours est supérieure à celle d'avoir un jour de pluie au cours d'une « pentade ». Au moment où la saison des pluies est la

plus régulière, ces écarts sont fortement prononcés. La somme de ces écarts calculés de cinq en cinq jours constitue donc un bon indicateur de la valeur agrométéorologique de la saison des pluies, nommée amplitude de la saison des pluies. Pour les trois méthodes, la longueur de la saison des pluies est la différence en jours entre les dates de fin et de début des pluies. En outre, pour l'application de ces différentes méthodes, seules les pluies journalières ≥ 1 mm sont considérées pour éviter les biais qui pourraient être induits par d'éventuelles variations dans la prise en compte des petites pluies. A titre d'exemple, les pluies < 1 mm sont cinq fois plus fréquentes à la station de Gouré depuis 1983, date à laquelle le statut de cette station est passé de pluviométrique à synoptique (OZER *et al.*, 2005). Les données pluviométriques quotidiennes comprises entre 0,1 et 0,9 mm ont donc été écartées des analyses visant à la détermination du début et de la fin de la saison des pluies.

RESULTATS

Les spécificités (précipitations annuelles, nombre de jours de pluie, lame d'eau moyenne précipitée par jour humide, nombre total de jours caractérisés par des précipitations ≥ 10 mm et 20 mm, et limites caractérisant les événements pluviométriques intenses et extrêmes) des quatre stations analysées sont présentées au tableau 2.

Tableau 2 :Caractéristiques des quatre stations analysées. Moyennes \pm écart-type calculées sur la période 1940-2007: précipitations annuelles (PTOT), nombre de jours de pluie (JP), lame d'eau moyenne précipitée par jour humide (SDII), nombre total de jours caractérisés par des précipitations ≥ 10 mm et 20 mm (P10 et P20) ; et valeurs limites (en mm) caractérisant les événements pluviométriques quotidiens intenses et extrêmes (P95p et P99p) calculées sur la période 1961-1990.

	Gouré	Maine Soroa	Zinder	Magaria
PTOT	341,4 \pm 115,0	370,4 \pm 108,9	448,7 \pm 128,2	581,7 \pm 162,1
JP	27,4 \pm 5,6	29,5 \pm 6,7	33,9 \pm 6,1	39,6 \pm 7,2
SDII	12,3 \pm 2,8	12,7 \pm 3,0	13,2 \pm 2,5	14,6 \pm 3,0
P10	11,5 \pm 4,0	11,8 \pm 4,0	15,0 \pm 4,1	19,2 \pm 5,2
P20	5,6 \pm 2,7	6,2 \pm 2,7	7,8 \pm 3,3	9,9 \pm 3,7
Pluie intense	36,0	38,8	41,8	45,5
Pluie extrême	52,8	72,5	63,3	76,4

Les pluies annuelles moyennes enregistrées de 1940 à 2007 varient de 341,4 mm (Gouré) à 581,7 mm (Magaria). Ces mêmes stations présentent les extrêmes relatifs au nombre de jours de pluie annuels variant entre 27 et 40, et de manière générale pour toutes les autres caractéristiques pluviométriques qui sont fonction de la pluviométrie moyenne annuelle. Quant aux valeurs limites (calculées sur la période 1961-1990) définissant les événements pluviométriques intenses et extrêmes, elles varient de 36,0 à 45,5 mm (P95p) et de 52,8 à 76,4 mm (P99p) à Gouré et à Magaria, respectivement.

Tendances des indices pluviométriques et analyse des ruptures

Les tendances des indices pluviométriques sont synthétisées au tableau 3. Il appert que toutes les tendances observées sont à la baisse aux stations de Gouré, Zinder et Magaria. Seule la station de Mainé Soroa présente des tendances positives (mais non significatives) pour SDII, Px1J, Px5J et P95p. Des 36 tendances à la baisse, dix sont statistiquement significatives et six autres très significatives (soit 40% des indices pluviométriques). Les indices les plus statistiquement affectés par la baisse sont Px30J, P10, JP, PTOT et Px5J. A l'inverse, le seul indice à ne pas présenter d'évolution significative est la lame d'eau moyenne précipitée par jour humide (SDII).

L'évolution des précipitations annuelles est présentée à la figure 2. Toutes les stations présentent une tendance lourde vers une aridification. En effet, sur la période étudiée, la

diminution des totaux pluviométriques annuels varie entre 2,6% et 4,8% par décennie à Magaria et Zinder, respectivement. Cette tendance linéaire vers une dégradation des conditions pluviométriques s'avère être statistiquement significative à Gouré et Zinder (Tab. 3). L'application du test non-paramétrique de PETTITT (1979), capable d'estimer la position d'un changement de moyenne (point de rupture) dans une série, montre une non-stationnarité dans ces séries pluviométriques en 1967 et 1968 (Tab. 4), date du début de ladite « grande sécheresse ». Cependant, un retour à des conditions plus humides s'est depuis amorcé au début des années 1990 et est statistiquement significatif à Gouré et Mainé Soroa, et presque significatif à Magaria. Le retour récent à des précipitations subnormales à Zinder ne provoque cependant pas encore de rupture à la hausse. Dans les totaux pluviométriques moyens des périodes homogènes, les variations sont très prononcées. A Gouré, la pluviométrie est ainsi passée de 406 mm durant la période « humide » (1940-1967) à 259 mm, soit un déficit pluviométrique de 36%, durant la « grande sécheresse » (1968-1993) pour ensuite revenir à 366 mm durant la période récente (1994-2007). Les trois autres stations ont également été durement touchées durant la « grande sécheresse » puisque l'écart pluviométrique moyen avec la période précédente est de 27%, 29% et 25% à Mainé Soroa, Zinder et Magaria. La récente tendance vers une pluviométrie plus abondante ne permet pas d'atteindre un niveau de précipitations similaire à celui observé durant la période « humide », la différence étant systématiquement de l'ordre de 10% (7%-14%).

Tableau 3 : Tendances linéaires (exprimées en % par décennie) calculées de 1940 à 2007 pour les dix indices pluviométriques (voir Tab.1) aux quatre stations. * et ** signifient que les tendances sont significatives ou très significatives.

	Gouré	Mainé Soroa	Zinder	Magaria
PTOT	-3,68 *	-2,80	-4,78 **	-2,60
JP	-2,04	-3,83 **	-2,99 **	-1,08
SDII	-1,78	+1,36	-2,09	-1,71
P10	-4,17 *	-4,86 *	-3,30 *	-2,36
P20	-4,11	-2,42	-5,18 *	-3,51
Px1J	-2,81	+1,40	-3,99 *	-1,48
Px5J	-5,23 *	+0,57	-4,85 **	-3,40
Px30J	-5,43 **	-2,59	-5,72 **	-3,60 *
P95p	-3,65	+4,39	-7,60 *	-2,40
P99p	-11,51	-1,38	-13,42 *	-5,04

Autre paramètre pluviométrique important, notamment pour la qualité de la saison agricole, le nombre de jours de pluie a fortement évolué et présente une nette tendance linéaire à la baisse dans les quatre stations étudiées (Fig. 3). Celle-ci varie entre 1,1% et 3,8% par décennie à Magaria et Mainé Soroa, respectivement et est statistiquement significative à Mainé Soroa et Zinder (Tab. 3). Le test de PETTITT (1979) montre une non-stationnarité dans ces séries de jours de pluie en 1969 (Zinder) et 1970 (Gouré et Mainé Soroa), contemporanément au début de ladite « grande sécheresse » (Tab. 4). Cet indice ne présente pas de rupture à la station de Magaria. Au contraire de ce qui est observé pour les précipitations annuelles, le nombre de jours de pluie ne montre pas de retour vers la normale. Certes, la station de Gouré présente une rupture à la hausse de ce paramètre en 1994, mais il a été montré que cette évolution particulière pourrait être due à un changement de statut de ladite station qui est passé de poste pluviométrique à station synoptique en 1983 (OZER *et al.*, 2005).

Les plus profondes modifications de ces divers indices s'observent dans les séries de nombre de jours avec des précipitations ≥ 10 mm (P10) présentées à la figure 4. Toutes les stations montrent une tendance linéaire vers une raréfaction de ces précipitations. Sur la période étudiée, la diminution du nombre de jours avec des précipitations ≥ 10 mm varie entre 2,4% et 4,9% par décennie à Magaria et Mainé Soroa, respectivement. Cette tendance linéaire est significative partout sauf à la station de Magaria (Tab. 3). L'application du test de PETTITT

(1979) montre une non-stationnarité dans ces séries pluviométriques entre 1967 et 1972, suivi d'un retour à la « normale » durant les années 1990 qui est statistiquement significatif (ou presque) dans toutes les stations.

Quant aux autres paramètres, ils présentent des variations beaucoup plus hétérogènes résumées aux tableaux 3 et 4. Il est néanmoins intéressant de noter que la fréquence des pluies intenses et extrêmes (Tab. 3) enregistre généralement une forte diminution.

Tableau 4 : Dates des ruptures de tendances mises en évidence par le test de Pettitt (1979) pour les dix indices pluviométriques (voir Tab.1) aux quatre stations. _ et _ indiquent la direction de la rupture de tendance (diminution / augmentation) ; (), * et ** signifient que les tendances sont presque significatives, significatives ou très significatives.

	Gouré	Mainé Soroa	Zinder	Magaria
PTOT	1968 ↓** 1994 ↑**	1968 ↓* 1992 ↑*	1967 ↓**	1968 ↓* 1991 (↑)
JP	1952 ↑* 1970 ↓** 1994 ↑*	1950 ↑* 1970 ↓**	1969 ↓**	-
SDII	1963 ↓* 1987 ↑*	-	1962 ↓*	-
P10	1967 ↓** 1997 ↑**	1972 ↓** 1991 ↑**	1967 ↓** 1998 (↑)	1968 ↓* 1991 (↑)
P20	1967 ↓* 1988 ↑*	-	1950 (↑) 1962 ↓**	1967 ↓**
Px1J	1962 ↓*	-	1966 ↓*	-
Px5J	1968 ↓*	-	1962 ↓**	-
Px30J	1968 ↓** 1988 ↑*	1968 ↓* 1991 (↑)	1965 ↓**	-
P95p	-	-	1968 ↓*	-
P99p	-	-	1966 ↓*	-

Durée de la saison des pluies

La distribution des précipitations à l'intérieur de la saison de l'hivernage a été analysée selon trois méthodes pour déterminer le début, la fin et la longueur de la saison des pluies. Nous avons scindé les périodes d'analyse en fonction des points de rupture déterminés par le test de PETTITT (1979) au niveau des précipitations annuelles qui définissent ainsi les périodes humide, de sécheresse, et actuelle.

Les résultats relatifs aux caractéristiques de la saison des pluies obtenus selon les méthodes de STERN *et al.* (1981) et de SIVAKUMAR (1987) sont présentés aux figures 5 et 6, respectivement, et synthétisés au tableau 5. Ces deux méthodes présentent globalement des résultats très similaires.

Selon la méthode de STERN *et al.* (1981), le début moyen (1940-2007) de la saison des pluies varie entre le 4 juillet (jour 185) et le 21 juillet (jour 202) à Magaria et Mainé Soroa, respectivement (Tab. 5A). La station de Zinder présente une valeur intermédiaire avec un début de la saison des pluies le 13 juillet (jour 194), alors que Gouré est similaire à Mainé Soroa. La fin moyenne de la saison des pluies est par contre beaucoup plus simultanée. En effet, elle se termine en l'espace d'une semaine dans le Niger oriental : entre le 2 octobre (jour 275) à Gouré et le 9 octobre (jour 282) à Magaria. Notons que les valeurs des écarts-type sont toujours ≥ 16 jours dans le cas de la détermination du début de la saison des pluies et systématiquement ≤ 16 jours pour ce qui est de la fin de celle-ci. Ceci signifie qu'il y a plus de variabilité lors de l'installation de l'hivernage que lors de sa fin. Quant à la longueur de la saison des pluies, elle varie de 97 jours à Magaria à 74 jours à Gouré et Mainé Soroa. Ces différentes caractéristiques de la saison des pluies ont fortement évolué durant la période analysée. Le tableau 5 les présente pour chaque décennie. De manière générale, les extrêmes

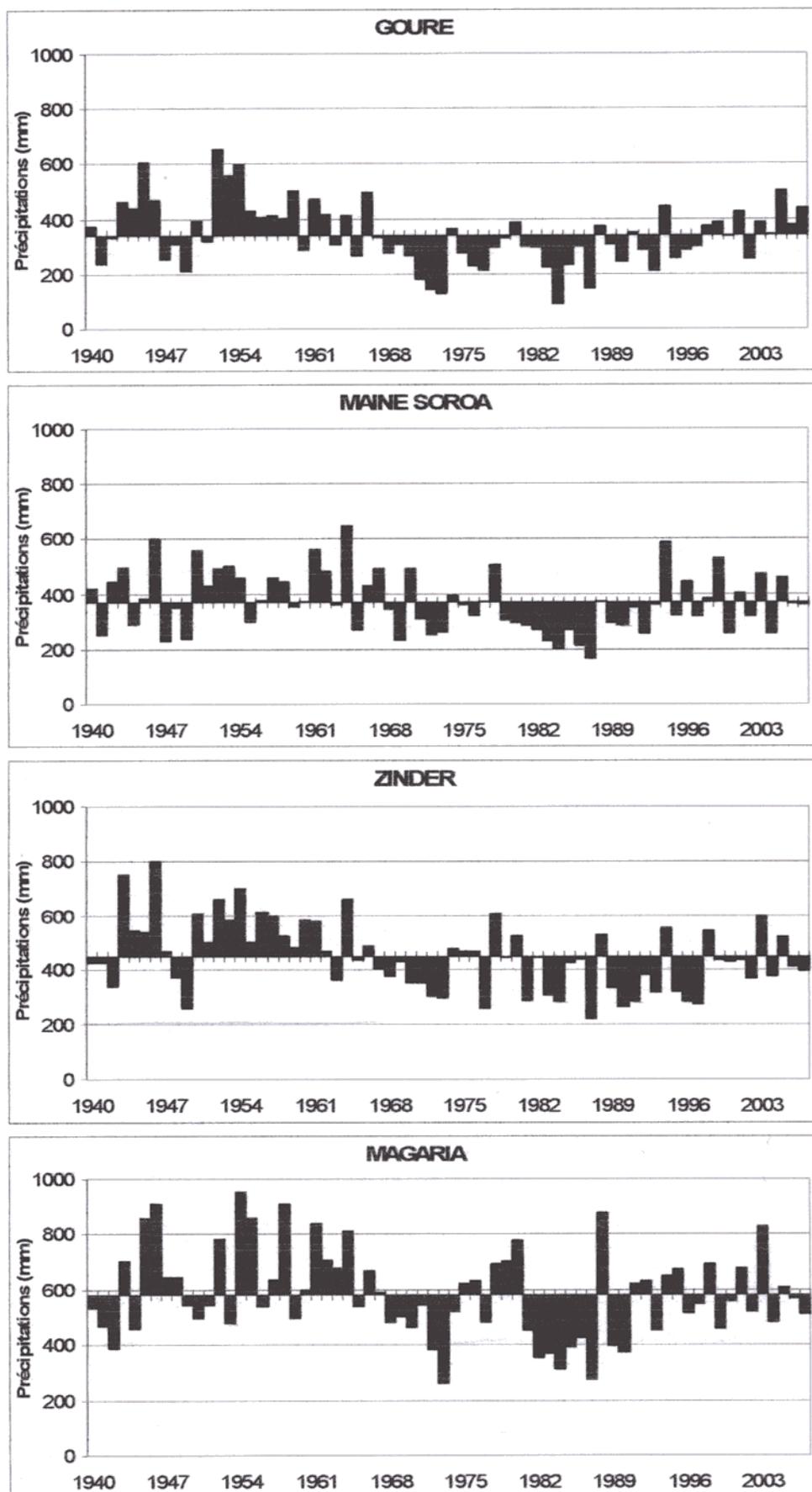


Figure 2 : Evolution des précipitations annuelles de 1940 à 2007 aux quatre stations.

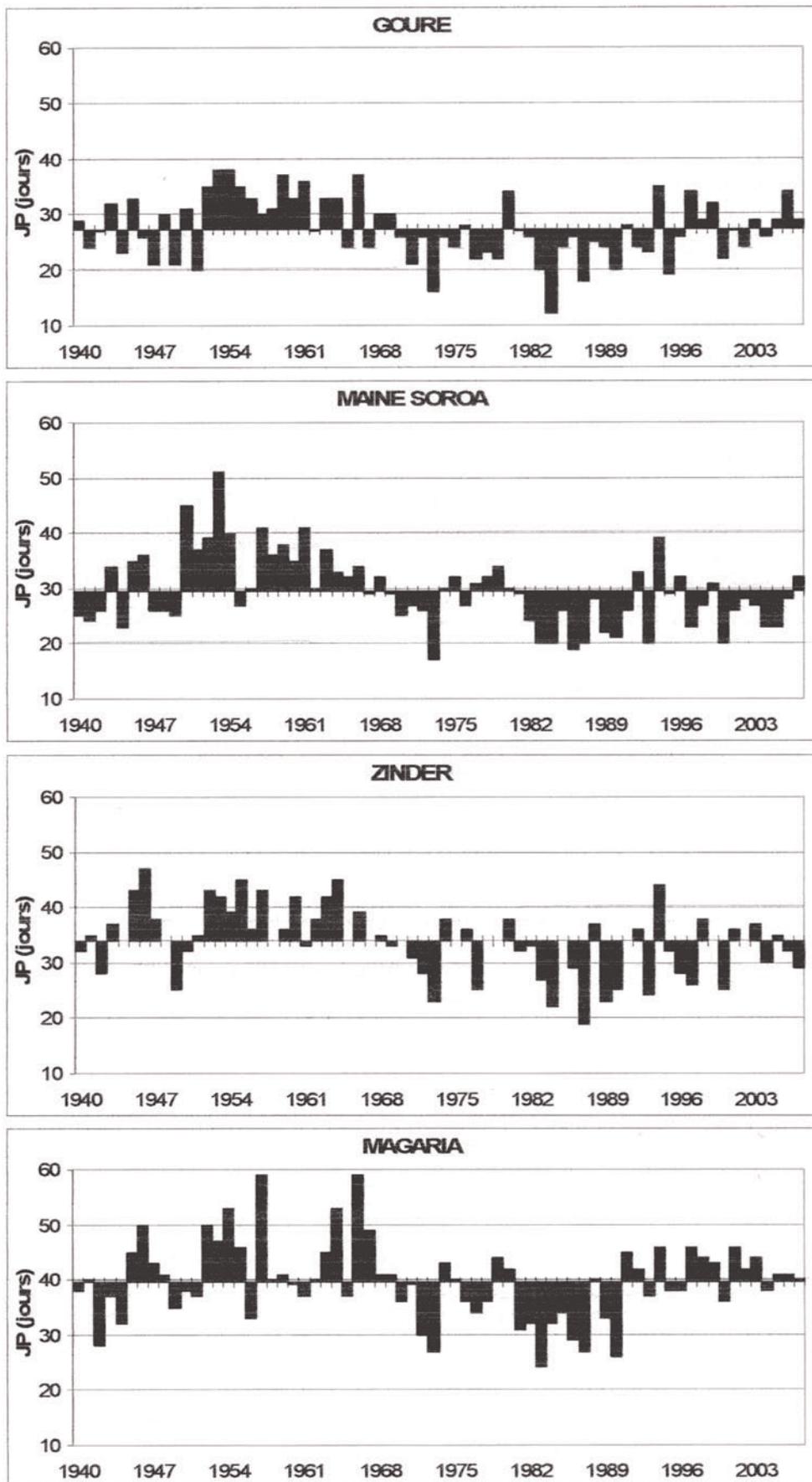


Figure 3 : Evolution du nombre de jours de pluie (JP) de 1940 à 2007 aux quatre stations.

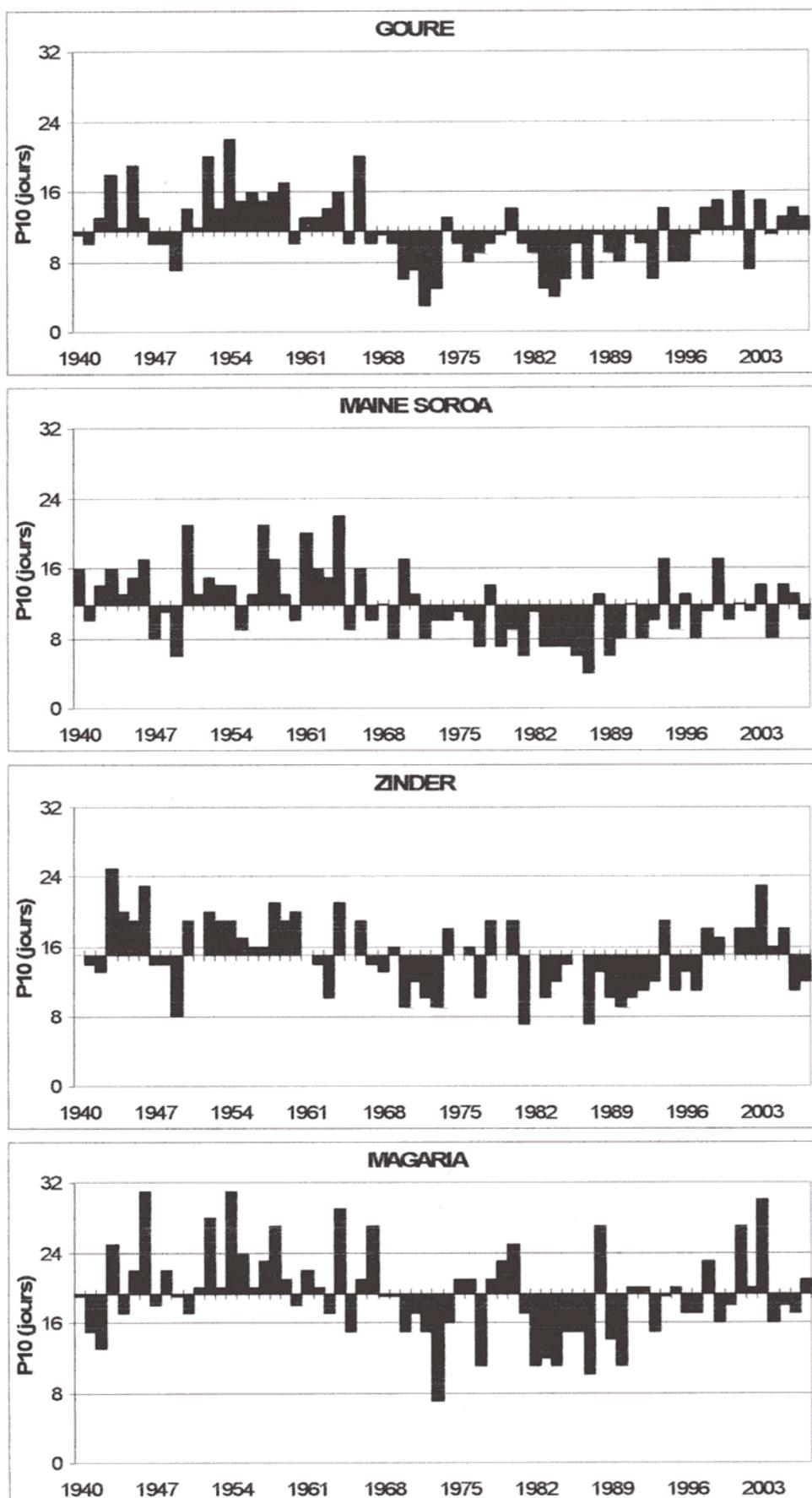


Figure 4 : Evolution du nombre de jours avec des précipitations ≥ 10 mm (P10) de 1940 à 2007 aux quatre stations.

« excédentaires » se remarquent durant les années 1950 et/ou 1960. A l'inverse, les périodes « déficitaires » sont marquées durant les années 1970 et/ou 1980. Ainsi, la longueur de la saison des pluies à Gouré durant les années 1970 (61 jours) est 30% plus courte que durant les années 1950 (87 jours). Un constat similaire est observé à Mainé Soroa entre les années 1980 et 1950, ou à Zinder entre les années 1980 et 1960. A Magaria, si une variabilité décennale est également observée, elle reste malgré tout plus limitée, les extrêmes (1980 et 1950) présentant une différence inférieure à 18%. Lorsque les périodes humide, de sécheresse, et actuelle sont analysées, il ressort clairement que la période de sécheresse a souffert d'une contraction de la longueur de l'hivernage variant de 9% à 19%, respectivement à Magaria et Mainé Soroa.

Cependant, la période actuelle voit cette tendance s'inverser et ces deux dernières décennies sont caractérisées par une longueur de la saison des pluies qui est similaire à la moyenne calculée sur la période d'analyse (1940-2007). Notons néanmoins que la station de Gouré n'a pas, selon la méthode de STERN *et al.* (1981) connu de saison des pluies en 1941, 1984, 1987 et 1995 (Fig. 5). Ce constat est similaire à Mainé Soroa en 1965 et 2000 ainsi qu'à Zinder pour l'année 1991 (Fig. 5). Les tendances linéaires sur le long terme (1940-2007) montrent que, à l'exception de Magaria caractérisée par une constance absolue, les trois autres stations présentent une diminution de la longueur de la saison des pluies due principalement au retard de l'installation des précipitations mais aussi à une légère avancée de la fin de l'hivernage (Fig. 5).

En ce qui concerne l'application de la méthode de SIVAKUMAR (1987), notons que les résultats obtenus pour la détermination du début, de la fin et de la longueur de la saison des pluies (Tab. 5B) sont très similaires à ceux extraits de la méthode de STERN *et al.* (1981).

Tableau 5 : Caractérisation de la saison des pluies aux quatre stations selon trois méthodes. Les périodes humide, de sécheresse et actuelle sont définies en fonction des ruptures identifiées par le test de Pettitt (1979) sur les séries des précipitations annuelles présentées au tableau 4.

A. Selon la méthode de Stern *et al.* (1982).

Saison des pluies	Gouré			Mainé Soroa			Zinder			Magaria		
	Début	Fin	Longueur									
1940-1949	200±13	270±14	70±22	198±14	275±13	77±19	194±23	273±11	80±25	188±18	281±11	93±25
1950-1959	194±22	281±12	87±28	197±19	279±18	83±31	192±24	283±9	91±24	183±26	289±10	106±30
1960-1969	195±22	275±16	80±21	205±18	284±16	79±18	180±18	280±13	101±18	179±16	281±10	102±23
1970-1979	212±16	274±5	61±18	202±8	274±20	72±24	199±18	276±8	77±22	189±22	282±8	93±21
1980-1989	198±19	275±12	77±23	210±14	269±14	59±19	200±17	274±7	75±17	187±22	273±10	87±23
1990-1999	208±14	272±15	64±12	197±17	278±16	80±26	199±14	272±19	74±31	188±20	282±9	94±17
2000-2007	201±26	277±16	76±22	204±20	271±17	67±17	195±15	277±13	82±20	182±18	287±7	105±17
1940-2007	201±19	275±13	74±22	202±16	276±16	74±23	194±19	277±12	83±24	185±20	282±10	97±23
Humide	198±18	276±15	78±23	197±15	278±15	81±23	189±23	279±11	90±24	184±21	284±11	100±27
Sécheresse	204±20	273±11	69±22	207±13	273±18	66±21	197±16	275±12	78±23	186±21	277±9	91±21
Actuelle	204±21	278±13	73±18	200±19	275±16	75±25				185±20	284±9	100±18

B. Selon la méthode de Sivakumar (1987).

Saison des pluies	Gouré			Mainé Soroa			Zinder			Magaria		
	Début	Fin	Longueur									
1940-2007	201±18	277±10	76±21	207±16	282±13	75±19	196±18	280±12	84±22	192±18	284±11	91±21
Humide	199±20	277±12	78±24	206±15	283±13	77±18	192±21	283±12	91±24	194±14	285±11	91±17
Sécheresse	201±16	274±6	73±19	212±18	284±14	72±18	198±15	277±12	79±20	193±23	280±13	87±27
Actuelle	205±16	280±11	75±17	202±12	278±14	76±21				188±17	287±8	99±17

C. Selon la méthode de Ercicum *et al.* (1988).

Saison des pluies	Gouré			Mainé Soroa			Zinder			Magaria		
	Début	Fin	Longueur; amplitude	Début	Fin	Longueur; amplitude	Début	Fin	Longueur; amplitude	Début	Fin	Longueur; amplitude
1940-2007	217	273	57; 205	217	278	62; 239	207	283	77; 351	202	288	87; 470
Humide	217	273	57; 275	207	273	67; 314	207	288	82; 430	197	288	92; 528
Sécheresse	227	268	42; 118	217	278	62; 189	207	283	77; 305	202	283	82; 392
Actuelle	222	278	57; 228	217	278	62; 227				207	293	87; 487

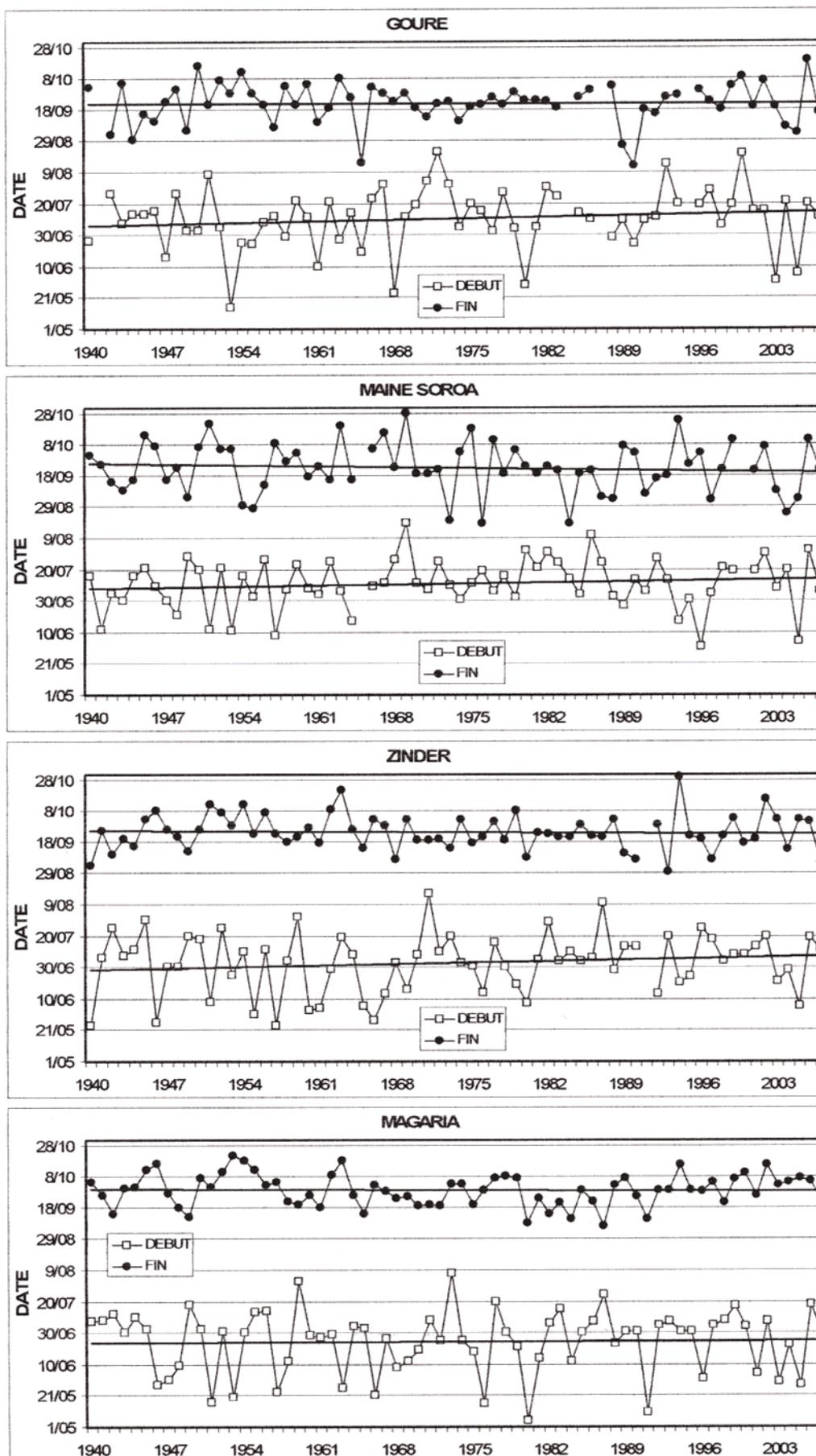


Figure 5 : Durée de la saison des pluies de 1940 à 2007 aux quatre stations selon la méthode de Stern *et al.* (1981).

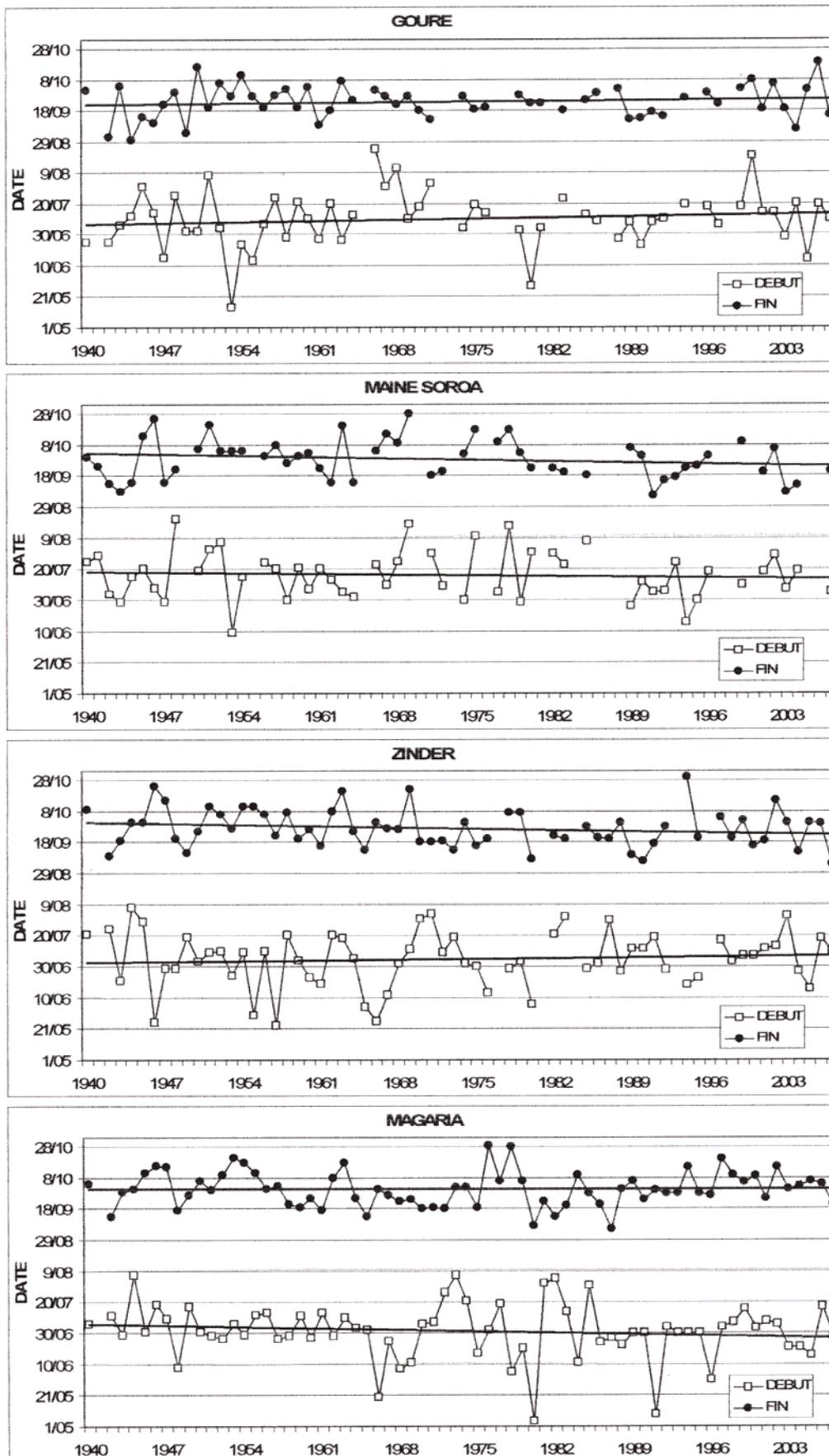


Figure 6 : Durée de la saison des pluies de 1940 à 2007 aux quatre stations selon la méthode de Sivakumar (1987).

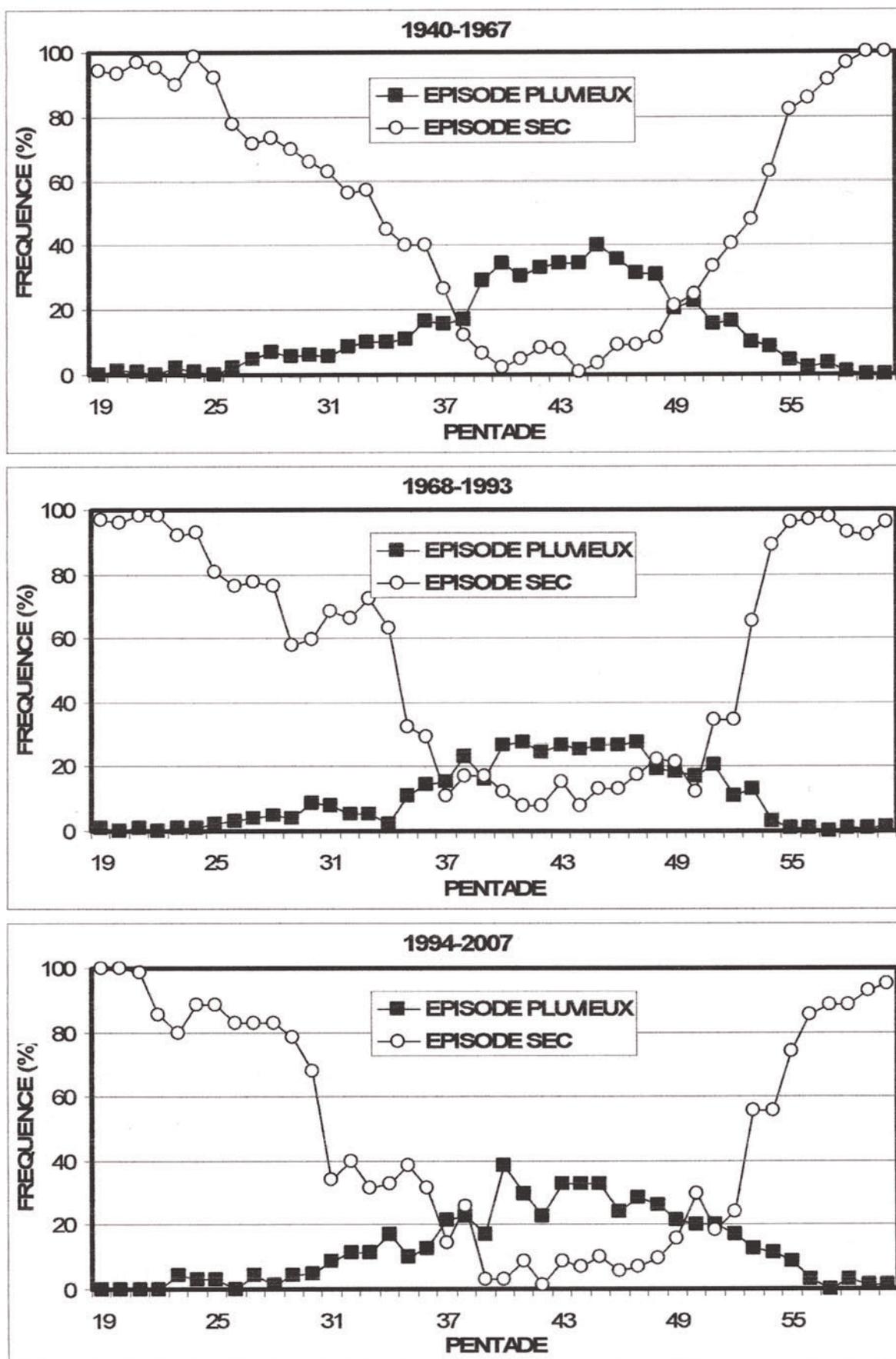


Figure 7 : Estimation par pentade de la durée de la saison des pluies à Gouré, du 1er avril au 31 octobre pendant les périodes humides (1940-1967), de sécheresse (1968-1993), et actuelle (1994-2007) selon la méthode d'Epicum *et al.* (1988).

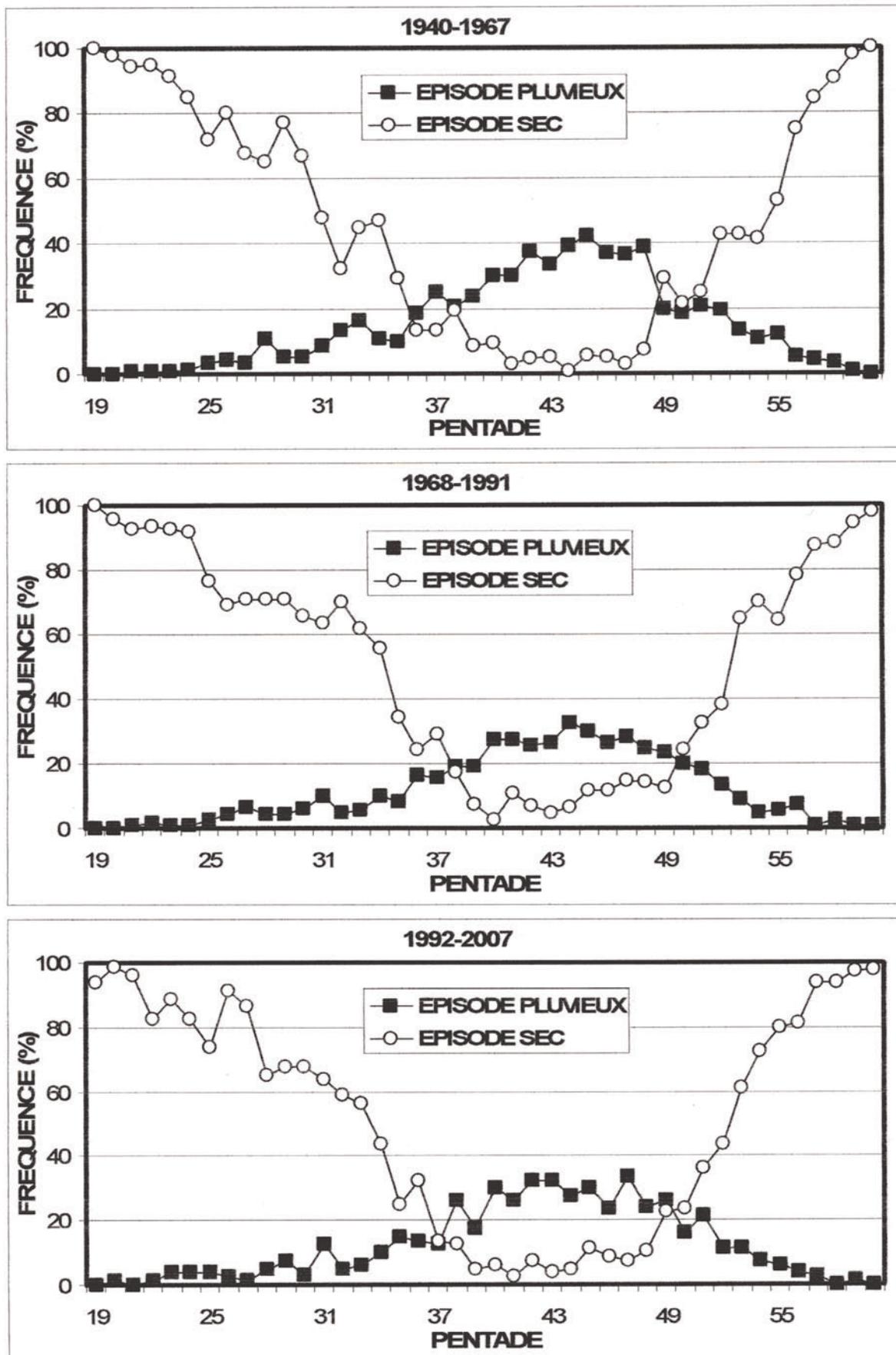


Figure 8 :Estimation par pentade de la durée de la saison des pluies à Mainé Soroa, du 1er avril au 31 octobre pendant les périodes humides (1940-1967), de sécheresse (1968-1991), et actuelle (1992-2007) selon la méthode d'Erpicum *et al.* (1988).

Cependant, il existe une différence de taille entre ces deux méthodes : la possibilité d'identifier le début de la saison des pluies. Ainsi, à Gouré, le début de la saison des pluies n'a pas pu être déterminé pour quatre années en utilisant la méthode de STERN *et al.* (1981). En ayant recours à la méthode de SIVAKUMAR (1987), ce sont 14 années pour lesquelles l'initialisation de la saison des pluies ne peut être détectée (Fig. 6), parmi lesquelles sept durant la période de sécheresse (soit 35%). Ce constat est similaire aux stations de Mainé Soroa et Zinder avec respectivement 16 et 6 débuts de l'hivernage non détectés.

Pour ce qui est de la méthode d'ERPICUM *et al.* (1988) appliquée aux données des quatre stations étudiées, les résultats obtenus pour Gouré et Mainé Soroa sont présentés aux figures 7 et 8. Ils sont synthétisés au tableau 5C. Les variations entre les périodes humide et de sécheresse sont peu importantes : une pentade à Mainé Soroa et Zinder, deux à Magaria et, le maximum, trois à Gouré (soit une contraction de 26%). A l'instar de ce qui a été observé avec les deux méthodes précédentes, ces dernières années (période actuelle) sont caractérisées par une longueur de la saison des pluies qui est similaire à la moyenne calculée sur la période d'analyse (1940-2007). Par contre, la méthode d'ERPICUM *et al.* (1988) permet l'analyse de l'amplitude de la saison des pluies ; toute contraction de celle-ci traduisant un degré de vulnérabilité plus élevé. Il appert ainsi que, entre les périodes humide et de sécheresse, l'amplitude de la saison des pluies s'est fortement contractée, de 26% à Magaria jusqu'à 57% à Gouré. Le récent retour à des conditions pluviométriques plus favorables a entraîné une amélioration de cette amplitude. Cependant, elle ne rivalise toujours pas avec les conditions d'avant sécheresse puisqu'elle accuse une dégradation de 8% à 28% respectivement à Magaria et Mainé Soroa.

DISCUSSION

L'analyse des données pluviométriques des quatre stations du Niger oriental sur une période extrêmement longue, eu égard à la région d'étude, montre que la crise climatique a bel et bien débuté à la fin des années 1960 de manière quasi simultanée. La transition vers cette sécheresse fut d'autant plus violente qu'elle succédait directement à la période la plus arrosée du siècle des années 1950 et 1960 (OZER & ERPICUM, 1995 ; L'HOTE *et al.*, 2002). L'intérêt de cette analyse réside dans le fait que trois stations étudiées présentent une amélioration pluviométrique significative qui s'affirme dès le début des années 1990. Ces résultats confirment les conclusions d'OZER *et al.* (2003), suggérant que la sécheresse sahélienne aurait pu se terminer durant les années 1990 et vont dans le même sens que les résultats obtenus à partir d'une analyse de vingt stations couvrant tout le Niger où la date de rupture à la hausse, marquant la fin de la sécheresse, est individualisée en 1987 (OZER *et al.*, 2010). Cependant, il est à noter que de récentes études montrent que le Niger serait atypique au regard du reste du Sahel de l'Afrique de l'Ouest. En effet, si une légère amélioration pluviométrique a été observée ces deux dernières décennies au Mali, elle n'en est pas pour autant significative (FRAPPART *et al.*, 2009). Quant aux précipitations enregistrées au Sénégal et en Mauritanie, l'évolution est encore sujette à caution. Certains estiment qu'elles évoluent peu depuis la fin des années 1960 et restent dramatiquement déficitaires (L'HOTE *et al.*, 2002 ; LEBEL & ALI, 2009). D'autres estiment que la sécheresse serait bel et bien terminée (SENE & OZER, 2002 ; NIANG *et al.*, 2008 ; HOUNTONDI *et al.*, 2009).

Cependant, il appert que malgré ce retour récent à des précipitations plus généreuses, divers indices pluviométriques présentent des tendances continues vers une diminution (PTOT, JP, P10, P20, Px30J et P99p) sur la période 1940-2007. Ainsi, 40% des divers indices pluviométriques calculés montrent une tendance statistiquement significative à la baisse. A l'inverse, seulement 10% des indices présentent une augmentation qui -jamais- n'est significative. Par ailleurs, si le test de Pettitt (1979) détermine bien un retour des précipitations totales annuelles au début des années 1990, il n'en est rien pour le nombre de jours de pluie ou le nombre de jours de pluie avec des précipitations ≥ 20 mm ; deux indices qui ont enregistré une rupture très significative à la baisse durant les années 1960.

L'analyse de la fréquence des pluies intenses (P95p) et extrêmes (P99p) ne montre pas de tendance significative particulière, à l'exception de la station de Zinder où une diminution significative de ces indices est observée assortie d'un point de rupture identifié à la fin des années 1960. Ceci est en contradiction avec les quelques rares analyses disponibles en Afrique de l'Ouest pour le Nigeria septentrional (NEW *et al.*, 2006) et le Niger occidental (OZER & OZER, 2005) mais en accord avec les résultats obtenus pour le Bénin septentrional (HOUNTONDI & OZER, 2010). Ces indices pluviométriques sont encore peu étudiés en Afrique (SOLOMON *et al.*, 2007). Ils méritent plus d'attention au niveau de la région sahélienne qui a récemment été touchée par des inondations subites (SENE & OZER, 2002 ; TARHULE, 2005 ; OULD SIDI CHEIKH *et al.*, 2007).

Cette diminution importante et continue du nombre de jours de pluie s'observe un peu partout au Sahel (SANE *et al.*, 2008 ; FRAPPART *et al.*, 2009 ; LEBEL & ALI, 2009 ; OZER *et al.*, 2010) et a des conséquences sur les caractéristiques de la saison des pluies. Nos résultats montrent que ces caractéristiques tendent à s'améliorer dans l'est du Niger ; ce qui ne semble pas être le cas ailleurs au Sahel (DAOUDA *et al.* 1998 ; SANE *et al.* 2008 ; FRAPPART *et al.* 2009). Cependant, il est important de noter que nos résultats seraient bien plus contrastés si nous nous étions bornés à considérer une période ne débutant qu'en 1950, point commun entre les trois études susmentionnées. Ainsi, la réduction de la longueur de la saison des pluies observée par DAOUDA *et al.* (1998) à Gouré est de 71% autour du point de rupture de 1968 alors que nous obtenons une contraction de 26%. Cela s'explique par le fait que nous tenons compte de l'intégralité de la base de données pluviométriques et que les années 1940 ont été proches de la moyenne mais sont intégrées dans la période dite humide. Ce choix atténue fortement les contrastes mais il nous semble justifié puisque cette étude tente de replacer les années récentes dans le plus long terme possible.

Enfin, du point de vue méthodologique, nous montrons que la méthode de STERN *et al.* (1982) pour la détermination annuelle des caractéristiques de la saison des pluies est plus adaptée pour le Sahel septentrional que la méthode de SIVAKUMAR (1987) qui éprouve des difficultés à détecter les débuts d'hivernage. Notons d'ailleurs que la méthode de SIVAKUMAR (1987) a été établie pour le Sahel méridional et le climat soudanais mais qu'elle reste la plus souvent appliquée, même pour des zones plus arides (FRAPPART *et al.*, 2009).

CONCLUSION

L'analyse climatique de la région de Gouré a pour but d'exprimer de la manière la plus précise possible les conditions climatiques dans lesquelles les processus d'invasion des cuvettes par apports éoliens ont lieu dans notre région d'étude. L'analyse de quatre séries pluviométriques (1940-2007) a clairement mis en évidence trois périodes bien distinctes : une période humide de 1940 à 1967, une période sèche de 1968 au début des années 1990 et une période intermédiaire, plus humide, depuis. La période actuelle se démarque clairement de la période sèche qu'a connue la zone même si elle n'a pas permis un retour aux conditions humides du début de la série chronologique. Si différents indices pluviométriques se sont dégradés, la longueur de la saison des pluies ne semble pas avoir été fortement modifiée, sauf dans son amplitude, ce qui traduit néanmoins une accentuation (quoique limitée) du degré de vulnérabilité.

Ces multiples approches nous ont permis d'obtenir des résultats intéressants et novateurs pour la région sahélienne. Cependant, il apparaît essentiel d'étendre cette analyse à l'ensemble du Niger pour pouvoir lui donner une valeur scientifique légitime. Notamment en ce qui concerne l'évolution sur le long terme des divers indices pluviométriques. Il serait également très intéressant d'entreprendre une analyse sur la perception des variations climatiques par les populations locales. Plusieurs études montrent en effet que les populations estiment que les conditions pluviométriques se dégradent ou que les diminutions de rendements des cultures seraient dues à des changements climatiques (TSCHAKERT, 2007 ; ABDOU & DJAMBOUTO, 2009 ; MERTZ *et al.*, 2009). Dans un contexte relatif d'amélioration

des conditions pluviométriques, il nous paraît indispensable d'explorer d'autres pistes explicatives de cette perception négative. Finalement, notons que les modèles climatiques ne sont pas optimistes quant à l'évolution de la pluviométrie au Sahel dans les décennies à venir (HELD *et al.*, 2005). Il est dès lors important de mettre en place, dès que possible, des stratégies d'adaptation pour pouvoir faire face à une probable dégradation du régime pluviométrique.

BIBLIOGRAPHIE

- ABDOU, Y. & DJAMBOUTO B., 2009. Les justifications et les faisabilités économiques et sociale du traitement des dunes de sable dans le Département de Gouré au Niger : cas du village de Tchago. *Geo-Eco-Trop*, 33, n.s. : in press
- BODART, C. & OZER, A., 2009. Apports de la télédétection dans l'étude de la remise en mouvement du sable dunaire de la région de Gouré (sud-est du Niger). *Geo-Eco-Trop*, 33, n.s. : in press
- CAPOT-REY R., 1952. Les limites du Sahara français. *Travaux de l'Institut de Recherches Sahariennes*, 8: 23-48.
- DAOUDA M., OZER P. & ERPICUM M., 1998. Conséquences de la sécheresse sur la longueur et l'amplitude de la saison des pluies au Niger. In: Demaree G., Alexandre J., De Dapper M. (Eds.). *Tropical Climatology, Meteorology and Hydrology*. Royal Meteorological Institute of Belgium and Royal Academy of Overseas Sciences: 497-506.
- ERPICUM M., BINARD M., PETERS J.P. & ALEXANDRE J., 1988. Une méthode d'analyse des caractéristiques de la saison des pluies en région sahéenne (Exemples pris au Sénégal). In: Erpicum M.(Ed.). *Actes des Journées de Climatologie, Mont-Rigi, Belgique, 5-7 novembre 1987*, Liège, Presses Universitaires de Liège: 43-56.
- FRAPPART F., HIERNAUX P., GUICHARD F., MOUGIN E., KERGOAT L., ARJOUNIN M., LAVENU F., KOITE M., PATUREL J.E. & LEBEL T., 2009. Rainfall regime across the Sahel band in the Gourma region, Mali. *Journal of Hydrology*, 375: 128-142.
- GAUTIER F., LUBES-NIEL H., SABATIER R., MASSON J.M., PATUREL J.E. & SERVAT E., 1998. Variabilité du régime pluviométrique de l'Afrique de l'Ouest non sahéenne entre 1950 et 1989. *Hydrological Sciences Journal*, 43: 921-935.
- GRALL Lt. 1945. Le secteur nord du cercle de Gouré. *Bulletin de l'Institut Français d'Afrique Noire*, 7: 1-46.
- GRIFFITHS G.M., SALINGER M.J. & LELEU I., 2003. Trends in extreme daily rainfall across the South Pacific and relationship to the South Pacific Convergence Zone. *International Journal of Climatology*, 23: 847-869.
- GROVE A.T., 1958. The ancient erg of Hausaland and similar formations on the south side of the Sahara. *Geographical Journal*, 124: 526-533.
- HAYLOCK M.R., PETERSON T., ABREU DE SOUSA J.R., ALVES L.M., AMBRIZZI T., ANUNCIAÇÃO Y.M.T., BAEZ J., BARBOSA DE BRITO J.I., BARROS V.R., BERLATO M.A., BIDEGAIN M., CORONEL G., CORRADI V., GARCIA V.J., GRIMM A.M., JAILDO DOS ANJOS R., KAROLY D., MARENGO J.A., MARINO M.B., MEIRA P.R., MIRANDA G.C., MOLION L., MONCUNILL D.F., NECHET D., ONTANEDA G., QUINTANA J., RAMIREZ E., REBELLO E., RUSTICUCCI M., SANTOS J.L., TREBEJO I. & VINCENT L., 2006. Trends in total and extreme South American rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, 19: 1490-1512.
- HELD I.M., DELWORTH T.L., LU J., FINDELL K.L. & KNUTSON T.R., 2005. Simulation of Sahel drought in the 20th and 21st centuries. *PNAS*, 102: 17891-17896.
- HERRMANN L., STAHR K. & SPONHOLZ B., 1997. Identifizierung trockenzeitlicher und regenzeitlicher staubquellen im östlichen Westafrika. *Würzburger Geographische Arbeiten*, 92: 189-211.
- HOUNTONDI Y.C. & OZER P., 2010. Trends in extreme rainfall events in Benin (West Africa) 1960-2000. *Annales des Sciences Agronomiques du Benin*. Accepted - In press.
- HOUNTONDI Y.C., SOKPON N., NICOLAS J. & OZER P., 2009. Ongoing desertification processes in the sahelian belt of West Africa: an evidence from the rain-use efficiency. In: Röder A., Hill J. (Eds.). *Recent Advances in Remote Sensing and Geoinformation Processing for Land Degradation Assessment*. ISPRS Series, Taylor and Francis: 173-186.
- JAHIEL M., 1998. Rôle du palmier dattier dans la sécurisation foncière et alimentaire au sud-est du Niger. *Sécheresse*, 9: 167-174.

- KARIMOUNE S., 1994. Contribution à l'étude géomorphologique de la région de Zinder (Niger) et analyse par télédétection de l'évolution de la désertification. Thèse de doctorat en Sciences géographiques, Liège, Université de Liège, 350 p.
- L'HOTE T., MAHE G., SOME B. & TRIBOULET J.P., 2002. Analysis of a Sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000; the drought continues. *Hydrological Sciences Journal*, 47: 563-572.
- LEBEL T. & ALI A., 2009. Recent trends in the Central and Western Sahel rainfall regime (1990-2007). *Journal of Hydrology*, 375: 52-64.
- MAINGUET M., CANON-COSSUS L. & CHEMIN M.C., 1979. Dégradation dans les régions centrales de la République du Niger : Degré de responsabilité de la nature du milieu, de la dynamique externe et de la mise en valeur par l'homme. *Travaux de l'Institut de Géographie de Reims*, 39-40: 61-73.
- MANN H.B., 1945. Non parametric test against trend. *Econometrica*, 13: 245-259.
- MANTON M.J., DELLA-MARTA P.M., HAYLOCK M.R., HENNESSY K.J., NICHOLLS N., CHAMBERS L.E., COLLINS D.A., DAW G., FINET A., GUNAWAN D., INAPE K., ISOBE H., KESTIN T.S., LEFALE P., LEYU C.H., LWIN T., MAITREPIERRE L., OUPRASITWONG N., PAGE C.M., PAHALAD J., PLUMMER N., SALINGER M.J., SUPPIAH R., TRAN V.L., TREWIN B., TIBIG I. & YEE D., 2001. Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961-1998. *International Journal of Climatology*, 21: 269-284.
- MATO M.W., 2004. Elevation et ressources en eau dans le Nord de la région de Zinder (Niger). *Revue de Géographie Alpine*, 92: 39-48.
- MERTZ O., MBOW C., REENBERG A. & DIOUF A., 2009. Farmers' Perceptions of Climate Change and Agricultural Adaptation Strategies in Rural Sahel. *Environmental Management*, 43: 804-816.
- MOREL R., 1995. La sécheresse en Afrique de l'Ouest. *Revue de Géographie de Lyon*, 70: 215-222.
- MOREL R., 1998. Début de la sécheresse en Afrique de l'Ouest. In: Demaree G., Alexandre J., De Dapper M. (Eds.). *Tropical Climatology, Meteorology and Hydrology*, Brussels, Royal Meteorological Institute of Belgium and Royal Academy of Overseas Sciences: 200-211.
- NEW M., HEWITSON B., STEPHENSON D.B., TSIGA A., KRUGER A., MANHIQUE A., GOMEZ B., COELHO C.A.S., NTIKI MASISI D., KULULANGA E., MBAMBALALA E., ADESINA F., SALEH H., KANYANGA J., ADOSI J., BULANE L., FORTUNATA L., MDOKA M.L. & LAJOIE R., 2006. Evidence of trends in daily climate extremes over southern and West Africa. *Journal of Geophysical Research*, 111, D14102, doi:10.1029/2005JD006289.
- NIANG, A.J., OZER, A. & OZER, P. 2008. Fifty years of landscape evolution in South-Western Mauritania by means of aerial photos. *Journal of Arid Environments*, 72 : 97-107
- OJO O., 1977. *The climates of West Africa*, London, Heinemann.
- 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 A. & OZER P., 2005. Désertification au Sahel : Crise climatique ou anthropique ? *Bulletin des Séances de l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer*, 51: 395-423.
- OZER P., 1993. Contribution à l'étude de la désertification en région sahélienne. Le cas du Niger. Problèmes posés par les précipitations et les lithométéores, Mémoire de licence en Sciences géographiques, Liège, Université de Liège. 193 P.
- OZER P., 2000. Les lithométéores en région sahélienne: un indicateur climatique de la désertification. *GEO-ECO-TROP*, 24: 1-317.
- OZER P., BODART C. & TYCHON B., 2005. Analyse climatique de la région de Gouré, Niger oriental : récentes modifications et impacts environnementaux. *Cybergeo: Revue Européenne de Géographie*. No.308, 02/05/2005, 24 p. (<http://www.cybergeo.presse.fr>).
- OZER P. & ERPICUM M., 1995. Méthodologie pour une meilleure représentation spatio-temporelle des fluctuations pluviométriques observées au Niger depuis 1905. *Sécheresse*, 6: 103-108.
- 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., HOUNTONDI Y.C., NIANG A.J., KARIMOUNE S., LAMINO MANZO O. & SALMON M., 2010. Désertification au Sahel: Historique et perspectives. *BSGL*, 54: 69-84.
- PATUREL J.E., SERVAT E., KOUAME B., TRAVAGLIO M., OUEDRAOGO M. & BOYER J.F., 1998. Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et Centrale. *IAHS Publications*, 252: 323-336.
- PETTITT A.N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, 28: 126-135.
- ROGNON P., 1991. Les sécheresses au Sahel replacées dans l'évolution climatique des vingt derniers millénaires. *Sécheresse*, 2: 199-210.

- SANE T., DIOP M. & SAGNA P., 2008. Etude de la qualité de la saison pluvieuse en Haute-Casamance (Sud Sénégal). *Sécheresse*, 19: 23-28.
- SENE S. & OZER P., 2002. Evolution pluviométrique et relation inondations - événements pluvieux au Sénégal. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 42: 27-33.
- SIVAKUMAR M.V.K., 1987. Predicting rainy season potential from the onset of rains in Southern Sahelian and Sudanian climatic zones of West Africa. *Agricultural and Forest Meteorology*, 42: 295-305.
- SNEYERS R., 1990. On the statistical analysis of series of observations. Technical Note N°143. World Meteorological Organization, Genève, Suisse. 192 p.
- SOLOMON S., QIN D., MANNING M., CHEN Z., MARQUIS M., AVERYT K.B., TIGNOR M. & MILLER H.L., 2007. Climate change 2007: The physical science basis. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 996 p.
- STERN R.D., DENNET M.D. & GARBUTT D.J., 1981. The start of the rains in West Africa. *International Journal of Climatology*, 1: 59-68.
- TARHULE A., 2005. Damaging rainfall and flooding: the other Sahel hazards. *Climatic Change*, 72: 355-377.
- TIDJANI A. A., OZER A. & KARIMOUNE S., 2009 Apports de la télédétection dans l'étude de la dynamique environnementale de la région de Tchago (nord-ouest de Gouré, Niger). *Geo-Eco-Trop*, 33, n.s.: in press
- TSCHAKERT P., 2007. Views from the vulnerable: Understanding climatic and other stressors in the Sahel. *Global Environmental Change*, 17: 381-396.
- TYCHON B. & AMBOUTA K.J.M., 2009. Gestion interdisciplinaire du problème d'ensablement des cuvettes en milieu sahélien nigérien. *Geo-Eco-Trop*, 33, n.s. : in press
- VANDIEPENBEECK, M., 1995. Détection pratique de changement de climat dans le cas d'une alternative au caractère aléatoire. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 8: 116-124.
- WILSON I.G., 1971. Desert sandflow basins and a model for the development of ergs. *Geographical Journal*, 137: 180-199.
- WILSON I.G., 1973. Ergs. *Sedimentary geology*, 10: 77-106.