

# Méthodologie pour une meilleure représentation spatio-temporelle des fluctuations pluviométriques observées au Niger depuis 1905

**Les grandes périodes de sécheresse qui sévissent au Sahel sont l'objet de nombreuses polémiques quant à leurs étendues et leurs caractéristiques. Des graphiques stationnels et régionaux sont proposés pour mettre en exergue ces variations pluviométriques.**

Le Niger a été largement affecté par d'importantes fluctuations pluviométriques au cours du XX<sup>e</sup> siècle et, notamment, par une période de sécheresse sévère depuis la fin des années 60. La persistance des années sèches ou pluvieuses dans une station ou, mieux encore, dans plusieurs stations situées le long de profils nord-sud judicieusement sélectionnés (diagrammes de fluctuations spatio-temporelles) est mise en évidence au moyen de plusieurs documents graphiques.

## Recours aux moyennes

La détection de la persistance des périodes sèches ou humides a été opérée en recourant à la méthode de la moyenne glissante de neuf ans centrée sur la cinquième année (figures 1 à 4). Les figures 1 et 2 montrent le tracé de cette moyenne et celui des variations annuelles pour les stations de Zinder et de Niamey-Ville de 1905 à 1990. Ces deux courbes ont chacune leur propre intérêt. Celle des précipitations annuelles (courbe bleue) met l'accent sur

les variations interannuelles très fortes alors que la courbe lissée sur neuf ans (courbe rouge) constitue un indicateur des grandes fluctuations pluriannuelles. Ainsi, pour Zinder (figure 1), on détecte deux périodes sèches, respectivement dans les années 10 et 70, séparées par une longue période pluvieuse et quelques années éparses particulièrement humides. La série des précipitations lissées sur neuf ans se caractérisant par une distribution unimodale d'allure pseudo-gaussienne, l'anomalie d'une succession de neuf années peut dès lors se définir par référence à une situation jugée normale et son intensité peut se mesurer en terme d'écart à la normale [1]. Le seuil proposé est un écart type de part et d'autre de la valeur moyenne lissée sur neuf ans, calculé sur la période centrée 1909-1986. A Zinder (figure 3), les anomalies pluviométriques correspondent donc à :

- une première période sèche se terminant en 1915 ;
- une période humide de 1953 à 1958 ;
- une seconde période de sécheresse scindée en deux (de 1969 à 1974 et de 1980 à 1986 à l'exception de 1982) ;
- quelques périodes éparses dont les moyennes lissées sur neuf ans s'écartent de la moyenne de plus d'un écart type

PIERRE OZER

Laboratoire de géomorphologie  
et de géologie du quaternaire  
Université de Liège  
Place du XX-Août, 7  
4000 Liège, Belgique

MICHEL ERPICUM

Département de géographie  
physique-climatologie  
Université de Liège  
Place du XX-Août, 7  
4000 Liège, Belgique

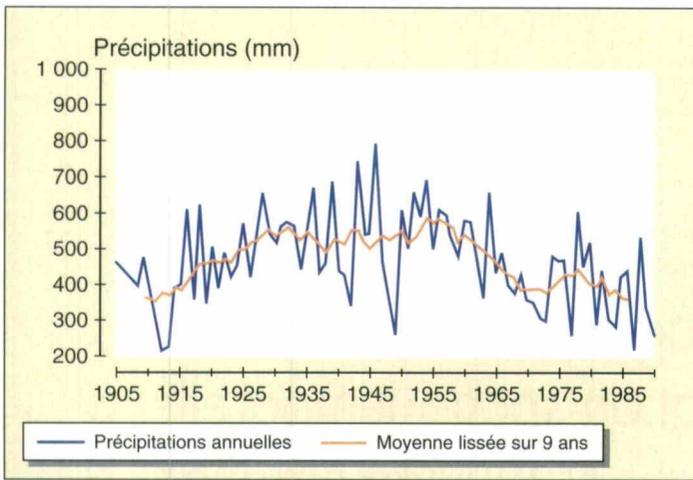


Figure 1. Précipitations annuelles et moyenne lissée sur neuf ans pour la station de Zinder, de 1905 à 1990.

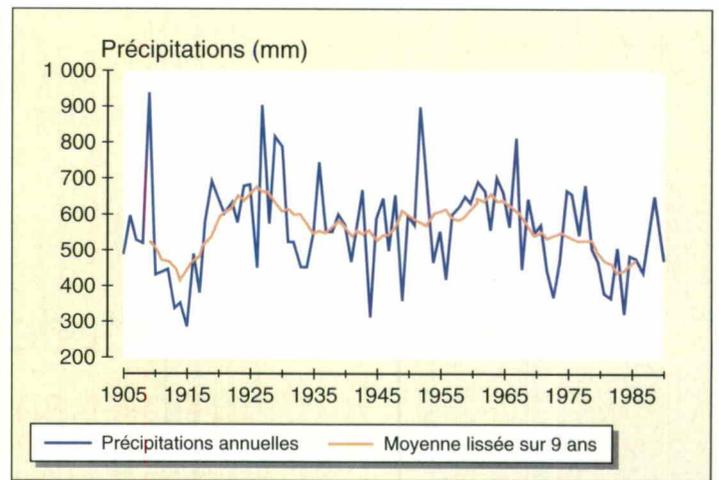


Figure 2. Précipitations annuelles et moyenne lissée sur neuf ans pour la station de Niamey-Ville, de 1905 à 1990.

qui sont centrées respectivement sur les années 1929, 1931-1932, 1935, 1942-1943 et 1950.

La série pluviométrique de la station de Niamey-Ville est caractérisée par une succession de périodes à déficits ou excès pluviométriques plus nets (figure 2). Les anomalies constatées à Niamey (figure 4) correspondent à :

- une première période de véritable déficit pluviométrique, de 1911 à 1917, qui se termine deux ans plus tard qu'à Zinder ;
- une première période de véritable excès pluviométrique, de 1923 à 1929, qui n'est pas contemporaine à celle qui devrait lui correspondre à Zinder (1929-1935) ;
- une seconde période très humide, de 1961 à 1965, plus courte et non contemporaine de la période pluvieuse de Zinder (1953-1958) ;
- une seconde période de sécheresse qui apparaît à partir 1980 alors que la

crise pluviométrique de 1973 ne s'écarte pas de la moyenne (la pluviosité reste comprise entre la moyenne et  $-1\sigma$ ).

Ces courbes de précipitations annuelles, lissées sur neuf ans, mettent en évidence le décalage dans le temps des périodes humides enregistrées dans ces deux stations. Par ailleurs, la dernière sécheresse semble avoir affecté sévèrement Niamey non pas depuis 1968 mais onze ans plus tard qu'à Zinder.

Quant à la récurrence des sécheresses, aucun cycle n'a été détecté après l'analyse des autocorrélations calculées sur les séries de précipitation de 1905 à 1990. Néanmoins, la courbe lissée sur neuf ans de la station de Zinder pourrait laisser entrevoir l'ébauche d'une belle courbe sinusoïdale à plus grande amplitude, mais les quatre-vingt-six ans d'enregistrement dont on dispose ne permettent pas d'en tirer des extrapolations sérieuses pour les années à venir.

Les données pluviométriques analysées mettent bien en évidence une rupture entre la période de sécheresse entamée depuis 1968 et la période humide de dix-huit ans qui a précédé cette année. Cette rupture, apparemment généralisée dans le Sahel, a déjà été signalée par de nombreux auteurs [2-4]. Nous distinguerons donc, par la suite, deux périodes de même durée : la période humide (1950-1967) et la période sèche (1968-1985).

### Recours aux cartes de courbes isohyètes

L'analyse des séries de précipitations moyennes annuelles lissées sur neuf ans des stations de Zinder et Niamey-Ville a permis de déceler des comportements

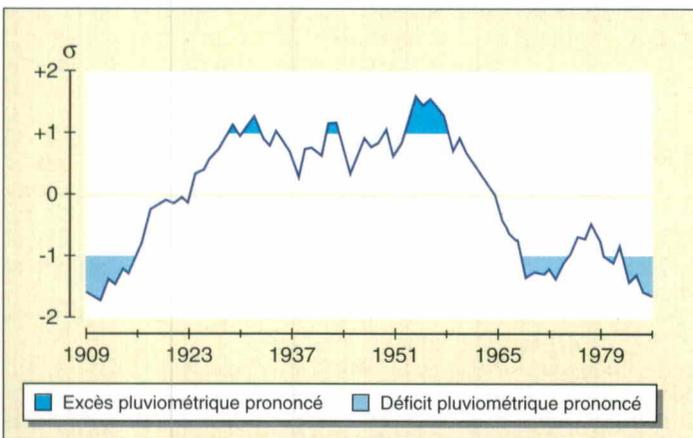


Figure 3. Courbe lissée sur neuf ans en rapport avec son écart type à la station de Zinder (moyenne = 475 mm, écart type  $\sigma = 69$  mm) de 1906 à 1986.

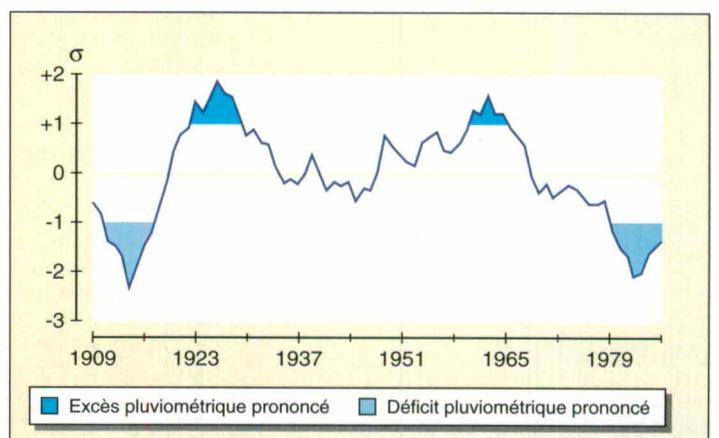


Figure 4. Courbe lissée sur neuf ans en rapport avec son écart type à la station de Niamey-Ville (moyenne = 561 mm, écart type  $\sigma = 62$  mm) de 1906 à 1986.

## Références

1. Arlery R, Grisolle H, Guilmet B. *Climatologie, méthodes et pratiques*. Paris : Gautier-Villars, 1973 ; 434 p.
2. Demarée GR, Nicolis C. Onset of Sahelian drought viewed as a fluctuation-induced transition. *Q J R Meteorol Soc* 1990 ; 116 : 221-38.
3. Hossell JE. Hydrometeorological assessment program in East Africa. In : Fantechi R, Maracchi G, Almeida-Teixeira ME, eds. *Climatic change and impacts : a general introduction. Proceedings of the European School of Climatology and Natural Hazards course, held in Florence from 11 to 18 September 1988*. Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 1991 : 409-13.
4. Rognon P. Les sécheresses au Sahel replacées dans l'évolution climatique des vingt derniers millénaires. *Science et changements planétaires/Sécheresse* 1991 ; 3 : 199-210.
5. *Guide des pratiques climatologiques* n° 100. OMM, 1990.
6. Erpicum M, Binard M, Peters JP, Alexandre J. Une méthode d'analyse des caractéristiques de la saison des pluies en région sahélienne (exemples pris au Sénégal). In : Erpicum M, éd. *Actes des journées de Climatologie, 5-7 novembre 1987*. Liège : Presses Universitaires de Liège, 1988 : 43-56.
7. Ozer P. *Contribution à l'étude de la désertification en région sahélienne. Le cas du Niger. Problèmes posés par les précipitations et les lithométéores*. Mémoire en sciences géographiques. Université de Liège, 1993 ; 177 p.
8. Aubreville A. *Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale*. Paris : Société d'Éditions géographiques, maritimes et coloniales, 1949 ; 351 p.
9. Koeppe C, De Long G. *Weather and climate*. New York : McGraw-Hill Book Company Inc., 1958 ; 341 p.
10. Landsberg HE, Lippmann H, Paffen KH, Troll C. *World maps of climatology*. New York : Springer-Verlag, 1965 ; 28 p.
11. Quézel P. *La végétation du Sahara. Du Tchad à la Mauritanie*. Stuttgart : Gustav Fischer Verlag, 1965 ; 333 p.
12. Le Houérou HN. Définition et limites bioclimatiques du Sahara. *Science et changements planétaires/Sécheresse* 1990 ; 1 : 246-59.
13. Verheye WH. Une approche agropédologique de la désertification. *Science et changements planétaires/Sécheresse* 1990 ; 1 : 94-7.
14. Nicholson SE, Palao IM. A re-evaluation of rainfall variability in the Sahel. Part I. Characteristics of rainfall fluctuations. *Intern J Climatol* 1993 ; 13 : 371-89.

climatiques décalés dans le temps et donc dans l'espace.

Pour mieux mettre en évidence les variations régionales des précipitations à l'échelle du Niger, la comparaison des cartographies des courbes isohyètes annuelles moyennes des deux dernières périodes de dix-huit ans s'est révélée être un bon choix. Traditionnellement et par convention, les données pluviométriques concernées par ce type de représentation correspondent à des moyennes calculées sur trente ans [5]. La dernière période trentenaire de référence serait, dans ce cas, 1961-1990 et on devrait se fonder sur un réseau de stations pluviométriques suffisamment dense (vingt postes minimum). Cependant, le choix de cette période de trente ans pose un réel problème de représentativité. En effet, les moyennes pluviométriques correspondant à cette période sont fortement influencées par les deux sévères sécheresses de ces trente dernières années (1968-1973 et 1981-1987) mais aussi par la période très pluvieuse qui s'est arrêtée en 1968. Ces moyennes livrent une information non représentative de la non-stationnarité de la pluviométrie du Niger. En outre, une carte dessinée à partir de ces moyennes trentennaires ne pourrait pas être comparée valablement avec celle réalisée à partir des moyennes des trente années précédentes (1931-1960), car le réseau des stations pluviométriques de qualité était trop lâche à cette époque et donc insuffisant pour permettre une bonne cartographie des courbes isohyètes (seulement neuf postes). Nous suggérons donc, afin de mieux matérialiser les deux dernières phases de pluviométrie du Niger méridional, de réaliser deux cartes distinctes fondées sur des périodes de dix-huit ans : l'une correspondant à la période 1950-1967, considérée comme humide à très humide, et l'autre relative à la période 1968-1985 englobant les deux dernières crises de sécheresse et quelques années à déficit pluviométrique moins sévère. La comparaison de ces deux cartes permet donc de mieux mettre en évidence l'emprise spatiale de la sécheresse.

### Comparaison des cartes pluviométriques du Sud-Niger réalisées sur les périodes 1950-1967 et 1968-1985 (figure 5)

Durant la dernière longue phase humide (1950-1967), les moyennes annuelles des précipitations ont varié de 184 millimètres à Agadez, aux confins du Sahara, à 853 millimètres à Gaya, à l'extrême sud du Niger. Les courbes isohyètes concernées étaient

sub-parallèles et orientées d'est en ouest. Elles étaient vraisemblablement parallèles à la position moyenne de la zone de convergence intertropicale entre juin et septembre. Les courbes isohyètes annuelles des 700 et 300 millimètres (limite des cultures sous pluie au Sahel) englobent la plupart des stations nigériennes, à l'exception du poste de Gaya, situé au sud de la courbe isohyète des 800 millimètres (climat soudanien), et des stations de N'Guigmi et Agadez qui sont comprises entre les courbes isohyètes des 150 et 300 millimètres à l'extrême est et nord (limites du climat sahélien pastoral). La succession des courbes isohyètes montre clairement une diminution régulière des précipitations vers le nord suivant un gradient de l'ordre de 100 millimètres par 100 kilomètres en latitude.

Par ailleurs, d'ouest en est, une autre tendance à la diminution de la pluviométrie apparaît. Elle est matérialisée par l'incurvation des courbes isohyètes vers le sud-est à hauteur de Zinder, allure qui se poursuit jusqu'au Tchad. Entre Zinder et N'Guigmi, les précipitations diminuent longitudinalement suivant un gradient de 60 millimètres par 100 kilomètres.

La carte des précipitations établie pour la période 1968-1985, qui a connu de graves crises de sécheresse, ressemble assez bien à la précédente : diminution des pluies vers le nord suivant un gradient de 115 millimètres par 100 kilomètres et vers l'est à partir de Zinder (gradient de 50 mm par 100 km).

Une diminution généralisée des précipitations est mise en évidence pour la période 1950-1967. Elle est marquée par un retrait important des courbes isohyètes vers le sud pouvant atteindre 200 kilomètres.

Notons que la courbe isohyète des 400 millimètres se superpose pratiquement à celle des 600 millimètres de la période précédente, ce qui souligne bien l'importance de la dégradation climatique récente.

Autres aspects négatifs de cette période de précipitations déficitaires : les stations de Tanout, Diffa et Gouré sont alors comprises entre les courbes isohyètes des 300 et 150 millimètres. Elles sont donc passées du Sahel à cultures sous pluie au Sahel à climat pastoral. Plus aucune bonne récolte n'est donc prévisible à l'est et au nord de Zinder. En outre, la ville d'Agadez, qui a connu une diminution de près de la moitié de ses précipitations moyennes annuelles d'avant 1968 (97 mm au lieu de 184) est passée en climat désertique.

Il est par ailleurs intéressant de noter que, si la plupart des stations nigériennes ont enregistré des déficits de précipitations de l'ordre de 20 à 30 % entre ces deux périodes de comparaison, ce sont les stations déjà les moins favorisées par la pluviométrie qui ont encore été les plus affectées par la sèche-

Tableau I. Longueur, dates de début et de fin de la saison des pluies pour la période 1950-1967 (valeurs moyennes)

Station	Début	Fin	Longueur (jours)
Gaya	11 juin	25 septembre	107
Filingué	6 juillet	5 septembre	62

Tableau II. Longueur, dates de début et de fin de la saison des pluies pour la période 1968-1985 (valeurs moyennes)

Station	Début	Fin	Longueur (jours)
Gaya	16 juin	25 septembre	102
Filingué	21 juillet	15 août	26

resse. À l'est, Gouré, Tanout et N'Guigmi ont connu des déficits pluviométriques respectivement de 41, 39 et 36 %. Au nord, Filingué et Tillabéri ont enregistré respectivement des déficits de 38 et 33 %. Dans l'extrême sud du pays, en revanche, la sécheresse s'est fait moins ressentir : Gaya a enregistré une baisse de ses précipitations de 6 % seulement. La comparaison de ces cartes pluviométriques ne rend toutefois pas compte d'une installation progressive de la sécheresse. C'est pourquoi il convenait de concevoir un type de graphique nouveau présentant des transects pluviométriques spatio-temporels annuels en complément de ceux déjà proposés par Erpicum *et al.* [6].

### Caractérisation de la saison des pluies à partir du comptage des jours pluvieux et de la persistance des jours secs

Les jours de pluie (précipitations  $\geq 1$  mm), tout comme les jours secs, ont été comptés par « pentade » (période de cinq jours) du 1<sup>er</sup> avril au 31 octobre, selon la méthode élaborée par Erpicum *et al.* [6], afin de mieux cerner les dates extrêmes de début et de fin de la saison des pluies dans deux stations du Niger. Celles de Gaya et Filingué ont été choisies afin de mettre en évidence les fluctuations sud-nord. Pour ce faire, la période de référence 1950-1985 a été à nouveau scindée en deux pour délimiter les périodes respectivement humide et sèche de 1950-1967 et 1968-1985. Cette étude dans le temps a permis de souligner l'importance du déficit pluviométrique qui a affecté la seconde période.

Erpicum *et al.* [6] 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 » déterminée est supérieure à celle d'avoir un jour sec appartenant à un épisode sec de plus de sept jours. La figure 6 donne les caractéristiques des deux stations durant la période humide 1950-1967. Elle montre combien la longueur moyenne de la saison des pluies a diminué du sud vers le nord. Les dates de début et de fin de la saison des pluies correspondant à cette période humide sont reprises dans le tableau I.

Il semble utile de signaler que, en plein cœur de la saison des pluies, la probabilité d'avoir des jours secs appartenant à un épisode sec de plus de sept jours est nulle à Gaya (du 21 août au 5 septembre), alors que cette probabilité atteint encore 6 % à Filingué.

La figure 7 montre l'allure des deux mêmes courbes de probabilité pour la période sèche de 1968 à 1985. Le tableau II présente les dates moyennes de début et de fin de saison des pluies correspondant à cette période sèche.

On remarque, dans les deux stations, que la saison des pluies est raccourcie. Diminuée de 5 % seulement à Gaya, elle l'est de plus de la moitié à Filingué (58 %).

Les probabilités d'observer des jours secs appartenant à un épisode sec de plus de sept jours au cœur de la saison des pluies sont également modifiées. La station de Gaya n'enregistre plus qu'une seule « pentade » (du 21 au 26 juillet) où cette probabilité est nulle. En revanche, au poste de Filingué, seules trois « pentades » connaissent encore un pourcentage de jours avec précipitations plus important que celui de jours secs appartenant à un épisode sec de plus de sept jours au cours de la période 1968-1985.

La probabilité d'observer à Gaya des jours pluvieux entre le début du mois d'août et la mi-septembre n'a quasiment pas été modifiée de la période humide à la période sèche. A Filingué, cette probabilité est toutefois passée de 40 à 30 %.

La grande différence entre les comportements pluviométriques de ces stations a mis en évidence un gradient de diminution des précipitations sud-nord très important puisque les stations de Filingué et Gaya ne sont distantes que de 270 kilomètres.

### Élaboration de transects pluviométriques spatio-temporels annuels

La diminution particulièrement marquée de la pluviosité vers le nord étant une caractéristique du climat nigérien, il nous a paru intéressant de suivre l'évolution de la sécheresse, année après année, en privilégiant cette direction.

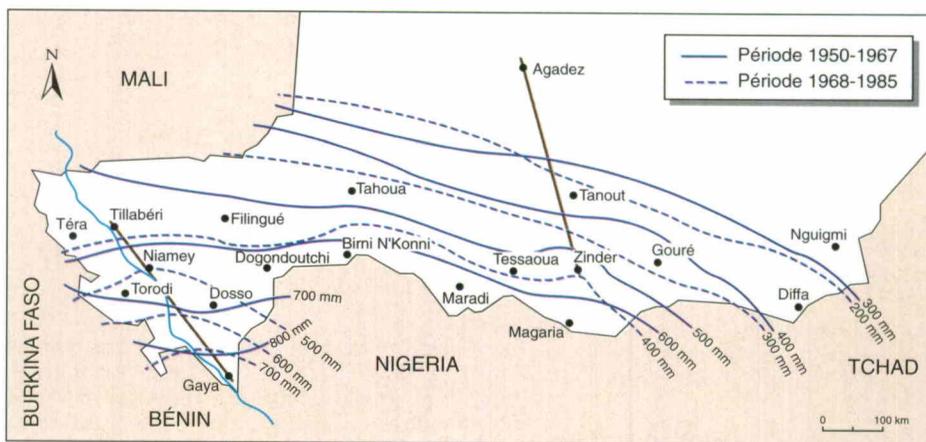


Figure 5. Carte pluviométrique du Sud-Niger : les isohyètes sont calculées sur les périodes humides 1950-1967 (—) et sèches 1968-1987 (-.-).

Ozer [7] a proposé de nouveaux graphiques où :

- l'ordonnée correspond à la distance en kilomètres entre les stations considérées le long d'un transect nord-sud idéalement sélectionné ;

- l'abscisse correspond à la succession des années de mesure prises en compte. Chaque année, les valeurs repères des précipitations calculées par interpolation (courbes isohyètes des 800, 600, 400 mm, etc.) sont pointées le long de ce transect. La liaison entre les mêmes valeurs repères annuelles correspond alors à ce que nous proposons d'appeler des « courbes isohyètes temporelles ».

Le transect pluviométrique spatio-temporel de Gaya à Tillabéri, de 1951 à 1990 (3° de longitude E.)

Ce transect, situé à l'ouest du Niger, est fondé sur les données pluviométriques de trois stations, Gaya, Niamey et Tillabéri, les deux dernières stations étant

respectivement distantes de 220 et 320 kilomètres de la première. Elles sont toutes trois situées non loin du fleuve Niger. Ce profil présente donc une direction approximative S.-S.-E. - N.-N.-O.

La figure 8 montre l'apparition, dès 1968, de la courbe isohyète des 400 millimètres qui souligne le développement de deux périodes de sécheresse : la première de 1968 à 1973 et la deuxième, plus intense, de 1981 à 1987.

Elle souligne également que 1968 est réellement l'année pivot correspondant au début de la première période de sécheresse. A partir de cette date, en effet, on remarque un resserrement des courbes isohyètes temporelles : la région de Gaya (km 0) reste faiblement affectée par la sécheresse, alors qu'au nord, la région de Tillabéri (km 320) subit une dégradation climatique marquée. La figure 8 fait donc bien ressortir l'installation progressive des périodes de sécheresse.

Il est intéressant de remarquer que, en 1952, la courbe isohyète annuelle des 800 millimètres se situait à plus de 240 kilomètres au nord de Gaya, alors qu'au même endroit, les précipitations annuelles étaient inférieures à 400 millimètres successivement en 1973, 1981, 1982, 1984 et 1987.

Le transect pluviométrique spatio-temporel de Zinder à Agadez, de 1950 à 1990 (8° de longitude E.)

Ce deuxième transect (figure 9) est construit également à partir de trois stations de référence, les deux dernières stations étant respectivement distantes de 140 et 380 kilomètres de la première. Les grandes distances entre Zinder et Agadez font que le tracé des courbes isohyètes temporelles peut souffrir d'une imprécision non négligeable. Pour d'éventuelles comparaisons avec le transect précédent, rappelons que les villes de Niamey et Zinder se situent à la même la-

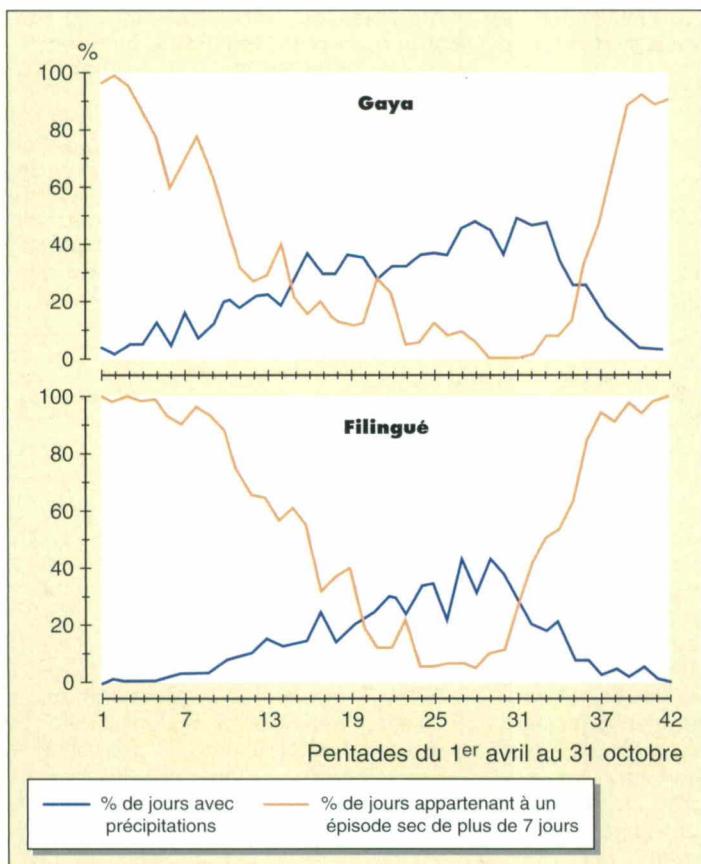


Figure 6. Estimation par « pentade » de la durée de la saison des pluies aux stations de Gaya et de Filingué, du 1<sup>er</sup> avril au 31 octobre pendant la période 1950-1967.

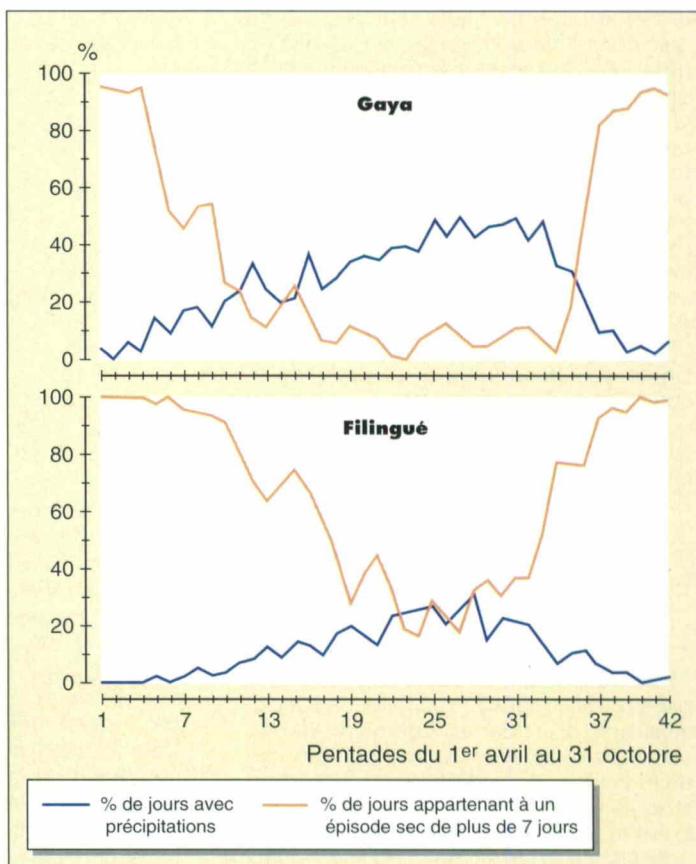


Figure 7. Estimation par « pentade » de la durée de la saison des pluies aux stations de Gaya et de Filingué, du 1<sup>er</sup> avril au 31 octobre pendant la période 1968-1985.

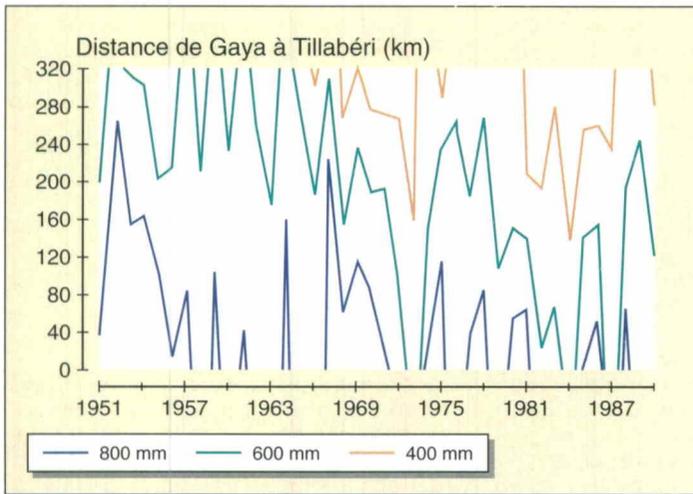


Figure 8. Transect pluviométrique spatio-temporel de Gaya à Tillabéri de 1951 à 1990.

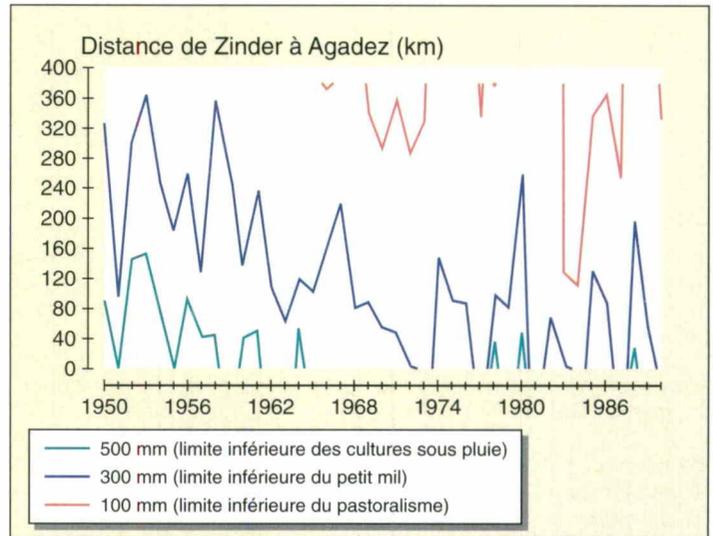


Figure 9. Transect pluviométrique spatio-temporel de Zinder à Agadez de 1950 à 1990.

titude, Niamey étant toutefois plus arrosée que Zinder.

L'examen du transect Zinder-Agadez met directement en évidence une opposition entre les années 50 et les suivantes. Il apparaît que la période pluvieuse des années 50 n'a guère duré au-delà de 1961 et aurait donc été nettement plus courte que dans l'ouest du pays. En corollaire, dès 1962, la sécheresse se développe. Le glissement vers le sud de la courbe isohyète temporelle des 200 millimètres est impressionnant et en atteste la persistance. La figure 9 permet même d'affirmer que le processus conduisant à l'aridité s'est installé dès 1962 sur plus de la moitié du territoire. Ce processus est d'ailleurs à peine freiné par les années moins sèches, comme 1980 et 1988, qui n'ont toutefois jamais atteint les niveaux de précipitation des années 50.

L'évolution temporelle et spatiale de la courbe des 300 millimètres ou « courbe du petit mil » présente une allure intéressante. Dans les années 50, elle oscille aux environs de 240 kilomètres au nord de Zinder. Ensuite, dès 1961, elle va abandonner cette zone pour ne plus l'atteindre qu'une seule fois, lors de l'année à pluviométrie excédentaire mais isolée de 1980. Cette courbe plonge véritablement vers le sud et passe même au sud de Zinder en 1973, 1977, 1981, 1984, 1987 et 1990. Le territoire du Sahel à cultures sous pluie a donc régressé d'une façon spectaculaire au cours des trois dernières décennies. Zinder se situe aujourd'hui non loin de la limite sud du territoire du Sahel pastoral [8-13].

En outre, à l'extrémité septentrionale du transect, la courbe des 100 millimètres (soit déjà 50 mm en deçà de la limite

Sahel pastoral – climat désertique) fait plusieurs apparitions. D'abord timide en 1966, puis plus marquée en 1969-1973 et 1977-1978, elle sera spectaculaire de 1983 à 1987 : elle passe même au sud de Tanout en 1983 et 1984. Après son glissement vers le nord en 1988-1989, la courbe des 100 millimètres réapparaît à nouveau, mais plus discrètement.

## Conclusion

Le sud-est du Niger a connu une période de sécheresse beaucoup plus

précoce et beaucoup plus sévère tant en intensité qu'en durée et en extension que le reste du pays. Alors que dans la plus grande partie du Sahel la sécheresse a débuté en 1968, au nord de Zinder, elle semble l'avoir fait dès 1962. Il apparaît donc que les zones marginales du Sahel pastoral ont été beaucoup plus sensibles aux modifications climatiques que le Sahel à cultures sous pluie.

La variation de la pluviométrie n'étant pas homogène dans la totalité du Sahel [14], le recours à une combinaison de représentations spatio-temporelles du type des deux dernières exposées ici permet de mieux appréhender les aspects régionaux de cette variabilité pluviométrique ■

## Résumé

Les fluctuations des précipitations annuelles observées depuis le début du siècle à Niamey et à Zinder (Niger) justifient la comparaison des cartes pluviométriques et des caractéristiques des saisons des pluies de 1950 à 1967 (période à excès pluviométrique) et de 1968 à 1985 (période à déficit pluviométrique). L'élaboration de deux transects pluviométriques spatio-temporels annuels spécifiques précise l'avancée non régulière et non homogène de la sécheresse au Niger.

## Summary

The fluctuations of annual precipitation observed in Niamey and Zinder (Niger) since the turn of the century warranted a comparison of rainfall maps and rainy-season characteristics between 1950-1967 (period of high rainfall) and 1968-1985 (period of low rainfall). Calculating two specific annual spatio-temporal rainfall profiles provided precisions as to the irregular and heterogeneous advance of the drought through Niger.