

ÉVOLUTION PLUVIOMÉTRIQUE ET RELATION INONDATIONS – ÉVÉNEMENTS PLUVIEUX AU SÉNÉGAL

Souleymane SENE et Pierre OZER

Résumé

Des signes annonciateurs de la fin de la sécheresse pluviométrique qui sévit au Sénégal depuis une trentaine d'années semblent visibles ces dernières années, avec un regain des activités pluvieuses supérieures à la normale 1961-1990. Ce redressement pluviométrique s'est accompagné d'inondations dans la plupart des villes du Sénégal en 1999, 2000 et 2001. Ces inondations entraînent l'abandon des habitations touchées et un relogement des sinistrés dans des conditions parfois précaires. Certains considèrent ces inondations comme nouvelles, parce que n'étant jamais survenues auparavant, et estiment que ce nouveau risque est lié à des précipitations journalières exceptionnelles. À partir de l'analyse de la relation existant entre les inondations et les événements pluvieux en 1999 et 2000, il apparaît cependant que les pluies responsables des inondations de ces dernières années ne revêtent pas un caractère exceptionnel. Par contre, la vulnérabilité des villes sénégalaises face au risque d'inondation semble avoir fortement augmenté suite à un aménagement urbain déficient.

Mots-clés

pluviométrie, inondation, vulnérabilité, risque urbain, Sénégal

Abstract

Since the late 1960s, Senegal suffered from the dramatic drought which affected all the Sahel of West Africa. Thirty years later, rainfall amounts well above the 1961-1990 average may announce the end of this period of aridity. Together with this rainfall increase, floods have been reported in most Senegalese cities in 1999, 2000 and 2001. Because of these floods, many affected areas have been abandoned and stricken population has to be rehoused in precarious conditions. Most analysts consider these floods as a new phenomenon, never observed before, and they are blamed on the exceptional heavy daily rainfall. Analysing the relationship between floods and rainfall events in 1999 et 2000, it appears that rainfall amounts responsible for the beginning of each flood are far to be exceptional. However, the vulnerability of the Senegalese cities facing the risk of flood seems to have increased as a result of urban mismanagement.

Keywords

rainfall, flood, vulnerability, urban risk, Senegal

INTRODUCTION

La région sahélienne a toujours connu une alternance de périodes humides et sèches (Maley, 1973 ; Nicholson, 1978 et 1998). Au cours du XX^e siècle, au moins trois périodes de sécheresse ont affecté notre zone d'étude. Il s'agit des sécheresses dites des « années 10 », des « années 40 » et de la « grande sécheresse » qui a débuté en 1968 (Sircoulon, 1976 ; Lamb, 1982 ; Demarée, 1990 ; Ndong, 1995 et Morel, 1998). En réalité, la zone sahélienne est actuellement, du point de vue pluviométrique, la région la plus étudiée au monde (Hufty, 1994). L'intérêt particulier suscité par cette région spécifique s'explique par le fait que celle-ci a connu, depuis la fin des années soixante, le déficit pluviométrique le plus important, tant dans son intensité que dans sa durée, jamais enregistré au cours de ce siècle (Hulme, 1996 ; Jones et Hulme, 1996 ; Dai *et al.*, 1998).

Depuis 1999, l'espoir de retrouver un Sahel reverdi semble cependant renaître avec le regain des activités pluvieuses et des cumuls pluviométriques supérieurs à la normale des années 1961-1990. Peut-on toutefois parler d'un retour à la normale, avec ces quelques années pluvieuses ou n'est-ce qu'une anomalie dans la continuité de la phase sèche ?

Ce redressement pluviométrique s'accompagne aussi d'inondations observées dans plusieurs villes du Sahel. Ces calamités sont particulièrement constatées dans la plupart des villes du Sénégal, comme ce fut le cas, entre autres, pour Dakar, Kaolack et Saint-Louis en 1999, 2000, 2001 et récemment à Podor en janvier 2002. Ces inondations qui peuvent s'étaler sur deux à trois mois, entraînent une désaffectation des habitations touchées, et un relogement des sinistrés dans des conditions parfois précaires. La plupart des observateurs considèrent ces inondations comme nouvelles, car n'étant jamais

survenues auparavant. Ces inondations sont-elles le résultat de pluies journalières exceptionnelles, comme les décideurs le font croire, ou y a-t-il d'autres facteurs entrant en jeu, favorisant ou provoquant ce type de risque ?

Cet article présente une réponse partielle à ces questions, à partir de l'analyse de l'évolution pluviométrique et de la relation éventuelle entre inondations et événements pluvieux au Sénégal.

I. DONNÉES

L'analyse pluviométrique se fonde sur les données journalières de précipitations recueillies au niveau de 10 stations synoptiques du Sénégal (Figure 1) de 1921 à 2000. Le choix de cette série pluviométrique tient surtout à un souci d'analyse aussi pertinente que possible, parce que tenant compte d'une longue période avant et après le début de la sécheresse. L'analyse de la relation inondations – événements pluvieux se base uniquement sur l'examen des précipitations quotidiennes, sans tenir compte de l'antécédent pluviométrique.

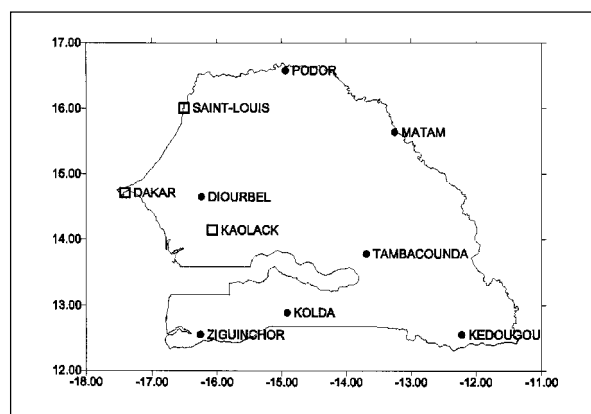


Figure 1. Localisation des stations synoptiques du Sénégal utilisées dans cette étude
Les stations indiquées par des carrés feront l'objet d'une discussion approfondie dans la suite de cet article.

II. MÉTHODES ET RÉSULTATS

A. Évolution des précipitations à l'échelle nationale

Étant donné la forte hétérogénéité spatiale des pluies en région sahélienne (Sivakumar et Hatfield, 1990 ; Groten, 1993 ; Taupin et al., 1998), Lamb (1982) a proposé une analyse régionalisée des précipitations dénommée « indice d'anomalie pluviométrique » et globalement utilisée actuellement (Barring et Hulme, 1991 ; Nicholson et Palao, 1993 ; Morel, 1995 ; Nicholson et al., 1996). Cet indice est calculé par la relation suivante :

$$X_j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} \frac{r_{ij} - \bar{r}_i}{\sigma_i} \quad [\text{Éq. 1}]$$

où r_{ij} est la pluie mesurée en une année j à une station i , \bar{r}_i et σ_i sont les moyenne et écart-type des précipitations enregistrées à la station i et N_j est le nombre de stations présentant des valeurs pour l'année j .

Cependant, le reproche pouvant être émis par rapport à ce type de graphique est l'utilisation de l'écart-type en ordonnée au lieu des millimètres plus facilement compréhensibles. Aussi une possibilité pour convertir les unités utilisées en millimètres est de dénormaliser l'équation 1 de la manière suivante (Jones et Hulme, 1996) :

$$P_j = X_j \bar{\sigma} + \bar{P} \quad [\text{Éq. 2}]$$

où P_j est l'anomalie pluviométrique exprimée en mm en une année j , $\bar{\sigma}$ est l'écart-type moyen des séries pluviométriques et \bar{P} est la moyenne pluviométrique régionale établie sur une période comprenant peu de lacunes.

Ainsi l'application de l'équation 2 est représentée à la figure 2. La moyenne pluviométrique devant être calculée sur une période comprenant peu de lacunes, cette période de référence de trente ans est 1961-1990. Cette période a été retenue, car, d'une part, elle répond aux recommandations de l'OMM et, d'autre part, elle met en évidence l'importance du déficit pluviométrique de ces trente dernières années par rapport à la période 1921-1960.

L'analyse de la figure 2 met en évidence le fait que la sécheresse dite des « années 40 » n'a été marquée au Sénégal que par trois années plus sèches (1941, 1942 et 1948) que la moyenne 1961-1990 (660 mm) alternant avec des années fortement arrosées. La moyenne centrée sur neuf ans ne passe d'ailleurs pas sous la moyenne 1961-1990. Deux raisons expliquent ceci :

- de manière générale, les déficits pluviométriques ne sont pas répartis de manière uniforme durant cette période (Ozer et Erpicum, 1995) et leur poids est donc atténué dans la moyenne nationale ;
- cette sécheresse a été durement ressentie essentiellement dans l'extrême nord-ouest sahélien, soit la Mauritanie et le Sénégal septentrional (Vannitsem et Demarée, 1991).

La comparaison des moyennes des sous-séries pluviométriques homogènes avant et après le point de rupture de 1969 montre l'ampleur de la transition brutale qui caractérise la « grande sécheresse ». Près de 220 mm séparent les périodes 1921-1969 et 1970-2000 dont la pluviométrie moyenne est respectivement de 828 et 609 mm. Notons que le changement pluviométrique est encore plus dramatique étant donné que les années cinquante ont constitué la décennie la

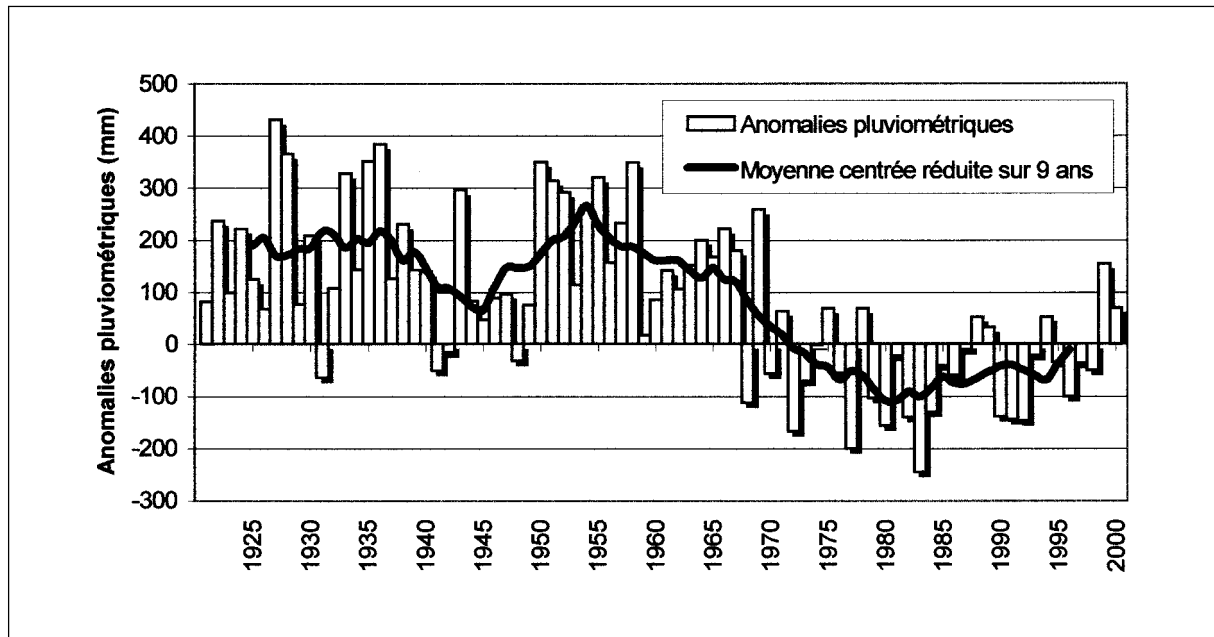


Figure 2. Évolution de l'anomalie pluviométrique au Sénégal exprimée en mm, par rapport à la moyenne de la période 1961-1990 (660 mm), de 1921 à 2000 dérivée de l'équation 2

plus arrosée du siècle comme en témoigne la moyenne centrée sur neuf ans. En effet, plus de 320 mm différencient les années cinquante des années quatre-vingts.

Finalement, la figure 2 montre que les deux dernières années de la série analysée représentent les années les plus arrosées qu'ait connues le Sénégal depuis l'installation de la sécheresse. Pour la première fois depuis 1971, la moyenne centrée sur neuf ans atteint la moyenne 1961-1990.

B. Les ruptures de tendance

L'étude des changements de climat met en évidence la nécessité d'analyser la structure interne des séries chronologiques. 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 Vandiepenbeeck (1995). Ces tests statistiques permettent de mettre en évidence les changements abrupts et les tendances. 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, 2001). La série pluviométrique nationale générée par la combinaison des équations 1 et 2, dont les résultats sont présentés à la figure 2, a été soumise à ces deux tests statistiques. Sans surprise, un changement abrupt est identifié en 1969, année du début de la « grande sécheresse ». Après cette date, la série est stable. Aucun retour à des

conditions humides n'est donc mis en évidence. Par contre, l'application individuelle de ces tests à chacune des dix stations montre que l'espoir peut être nourri au Sénégal quant à un retour à des conditions moins arides. Ainsi trois stations sur dix montrent déjà des ruptures de tendance à la hausse (Kolda, Matam et Podor). De plus, une simulation sur les années à venir montre également une très probable rupture au niveau de certaines stations (Dakar, Diourbel, Kaolack et Saint-Louis), pour peu qu'une pluviométrie même largement inférieure à celle de ces deux dernières années soit enregistrée (Sene, 2001). Les résultats de ces tests sont synthétisés au tableau 1.

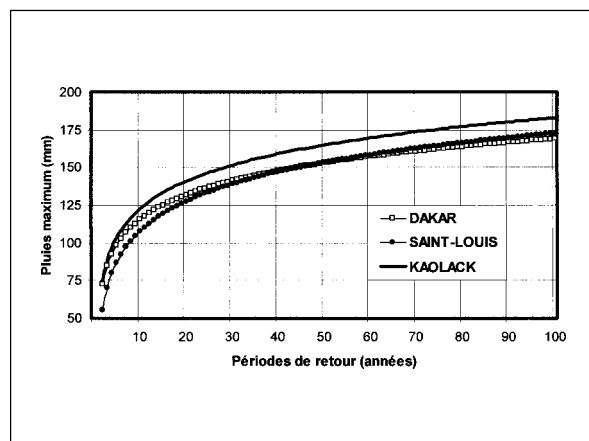
C. Fréquences de retour des pluies exceptionnelles

La loi de Gumbel (1958) permet d'estimer la récurrence des événements jugés exceptionnels. Cette loi de statistique des valeurs extrêmes a été appliquée aux données de précipitations journalières des dix stations analysées. Les résultats obtenus sont présentés à la figure 3 pour les stations de Dakar, Kaolack et Saint-Louis qui feront l'objet d'une discussion par la suite. Le tableau 2 présente, pour les dix stations, les précipitations maximales en fonction de différentes périodes de retour. Les périodes de retour retenues sont de 6, 10, 30 et 100 ans et correspondent à des types « anormal » à « très exceptionnel » selon la classification internationale des événements extrêmes (Vandiepenbeeck, 1997). La comparaison entre les valeurs calculées par ces statistiques et les pluies ayant occasionné les inondations de ces dernières années est discutée ci-après.

Tableau 1. Résultats du test de Pettitt sur les précipitations annuelles

Station	Précipitations moyennes annuelles 1921-2000	Début sécheresse	Fin sécheresse	Fin probable sécheresse
Podor	265	1970	1992	
Saint-Louis	298	1969		1992
Matam	443	1966	1984	
Dakar	487	1967		1984
Diourbel	588	1971		1986
Kaolack	712	1967		1998
Tambacounda	806	1966		
Kolda	1124	1971	1991	
Kédougou	1233	1966		
Ziguinchor	1410	1967		

Par ailleurs, notons que les précipitations enregistrées pendant la saison des pluies 2001 semblent avoir été supérieures à la normale. La station de Saint-Louis connaîtrait donc, statistiquement, également la fin de la sécheresse.

**Figure 3.** Fréquence de retour des pluies journalières maximales aux stations de Dakar, Kaolack et Saint-Louis

III. DISCUSSION

Depuis 1999, la plupart des populations des villes du Sénégal vivent, à des degrés divers, les pieds dans l'eau au cœur de la saison des pluies et pendant quelque deux à trois mois après. Les cas de Dakar, Kaolack et Saint-Louis en sont quelques exemples parmi les plus illustratifs que nous avons voulu citer dans ce travail, pour parler d'un problème dont le principal accusé est d'abord la pluie, mais dont la complexité dépasse certainement le cadre climatique.

Comme les pluies maximales journalières, les pluies d'inondations ont été analysées pour voir leurs fréquences et si elles correspondent à des pluies maximales journalières annuelles. L'analyse de ces épisodes est importante, car elle permet de comprendre les causes réelles de ces inondations et la nature de ces pluies. Nous parlons ici des exemples connus de Dakar, Kaolack et Saint-Louis, parce que rapportés par la presse (Quotidien Walf Fadjri, 02 août 2000) ou vécus directement.

Près de 105 mm de pluie enregistrés en 24 heures ont été le facteur déclenchant des inondations dans les villes de Dakar (22 juillet 2000) et Saint-Louis (1^{er} août 2000). Tandis qu'à Kaolack, 99,1 mm ont été enregistrés le 12 août 1999, début de graves inondations dans la partie nord de la ville.

De l'analyse statistique, il ressort que :

- ces pluies ont une période de retour de 6, 4 et 9 ans, respectivement pour Dakar, Kaolack et Saint-Louis. Si toutes les pluies responsables d'inondations sont des pluies journalières maximales pour l'année et la station considérée, elles n'ont pas un caractère exceptionnel, tout au plus, sont-elles anormales ;
- ces pluies ont été jusqu'à quatre fois plus fréquentes avant la sécheresse. Si un retour à des conditions climatiques plus humides se vérifie, des pluies journalières importantes devraient être à nouveau de plus en plus fréquentes (Ozer et Cressman, 2000).

De ces résultats sur l'analyse des inondations, il se dégage plusieurs enseignements.

Les plus fortes pluies ont été enregistrées durant la période avant rupture, mais aucune inondation n'a été constatée, du moins n'a été rapportée. Ce qu'il est important de souligner ici, c'est que même si des inondations se sont produites pendant ces périodes avant sécheresse, elles n'ont sûrement pas suscité d'intérêt parce que

Tableau 2. Pluies journalières maximales (mm) en fonction de différentes périodes de retour

Station	6 ans Anormal	10 ans Très anormal	30 ans Exceptionnel	100 ans Très exceptionnel
Podor	72	81	100	121
Saint-Louis	93	108	139	173
Matam	94	107	135	164
Dakar	103	116	141	169
Diourbel	100	112	137	163
Kaolack	109	123	152	183
Tambacounda	99	110	133	158
Kolda	129	144	175	209
Kédougou	101	111	132	154
Ziguinchor	148	166	202	241

n'ayant pas causé de dégâts significatifs. On sait que seuls les événements dévastateurs sur le milieu humain ou en rapport avec ce milieu, font généralement ou en priorité l'objet de discussions, sans pour autant cependant qu'ils soient les plus extrêmes. On imaginerait mal ce qui resterait de ces villes si des pluies de 200 mm, qui tombaient avant sécheresse, réapparaissaient aujourd'hui. Dans ce cas précis, il semble que l'aléa, à savoir les pluies très abondantes, n'ait pas augmenté ces dernières années. La composante majeure du risque d'inondations urbaines résiderait donc dans l'aggravation de la vulnérabilité, c'est-à-dire l'occupation et l'aménagement du sol.

Ceci soulève le problème des zones constructibles ou aptes à l'habitat dans les villes du Sénégal et celui des politiques d'aménagement du territoire souvent en mal d'exécution. Les inondations plus fréquentes au Sénégal, au Sahel et partout ailleurs à travers le monde, ne sont que le reflet d'un nouveau rapport de l'homme à son espace, que des années de faible pluviométrie ont contribué à favoriser, sans qu'aucune politique importante de viabilisation de ces milieux n'accompagne cette dynamique.

La plupart des villes du Sénégal sont logées dans des sites peu aptes à l'habitat humain. Saint-Louis flotte entre terre, mer et fleuve. Dakar est logée dans un système de dépressions et de golfes à nappe superficielle. Kaolack est partagée entre marigots et zones de tanne (étendue vaseuse sursalée située au voisinage du niveau des plus hautes mers, sous climat tropical. La végétation des marais maritimes situés plus bas, immédiatement en bordure de mer laisse entrer l'eau salée à marée haute, mais la retient à marée descendante, et elle s'évapore en saison sèche). C'est-à-dire qu'en dehors de la topographie, la pédologie du milieu reste défavorable à l'infil-

tration de certaines quantités d'eau en un temps limité : sols argileux, hydromorphes à gley salé, aux vitesses d'infiltration, voire aux capacités de rétention faibles. Ce qui a pu être constaté également, c'est que les endroits généralement inondés sont des quartiers d'extension de la ville et rarement le noyau urbain. Les inondations ne sont donc observées, du moins ne provoquent des dégâts considérables, que dans les zones dépourvues d'un système d'assainissement et d'évacuation des eaux fonctionnel.

Il est bon de souligner que toutes ces villes, implantées durant la colonisation, n'avaient pas pour vocation d'accueillir toute cette population. Leur création répondait surtout à un but commercial et stratégique. Le dynamisme démographique de ces villes, surtout celui de la capitale, nécessite cependant un autre type de prise en charge. Par exemple, au recensement général de la population de 1988, Dakar comptait 1 488 941 habitants contre 1 936 636 en 1995, soit près d'un demi-million d'habitants supplémentaires en sept ans (Sow, 1996). La densité de population y était de l'ordre de 3 400 habitants/km², ce qui est très élevé (Lericollais et Roquet, 1999).

C'est moins le cadre réglementaire qui fait défaut pour accompagner cette dynamique, mais son application. Les plans de développement urbain et les plans détaillés d'urbanisme décrivent toutes les dispositions relatives à l'occupation de l'espace dans chaque ville. Mais, si on regarde toutes ces inondations qui se suivent et se ressemblent, l'on est en droit de se demander si ces plans n'ont pas été victimes eux aussi de cette longue pause pluviométrique. À voir ce qui est fait depuis lors en matière d'aménagement urbain, on pourrait être amené à le penser. Ainsi le réseau d'assainissement de Dakar date de 1912, à l'époque de la colonisation, et n'a connu

depuis lors aucune modification sinon la construction du canal IV considéré cependant comme sous-dimensionné (Quotidien Walf Fadji, 02 août 2000). D'autre part, les réseaux d'assainissement et d'évacuation des eaux n'existent que dans le noyau originel des différentes villes. Les quartiers d'extension ne bénéficient en général d'aucune politique d'aménagement allant dans ce sens. Et là où ce réseau existe, il est peu fonctionnel, s'il n'est pas colmaté par des bancs de sable ou bouché par des déchets solides de toutes sortes. Ces canaux sont pour la plupart à ciel ouvert.

Cette situation pose déjà le problème de l'évacuation des eaux en cas de forte pluie. Plutôt que d'évacuer ces eaux, ces canaux contribuent plus à leur diffusion au niveau des espaces habités, causant par endroit des marées qui ont des allures de lacs et qui participent à la prolifération de maladies telles que le paludisme et les gastro-entérites. Ce réseau conçu au préalable pour une population limitée, devient aujourd'hui caduc et mérite en soi une modification.

La topographie du milieu joue beaucoup sur la rapidité d'évacuation des eaux dans des espaces non couverts par le réseau d'assainissement. Si on prend le cas de Kaolack, les pentes sont faibles à nulles à certains endroits. Les faibles couloirs d'évacuation des eaux vers la mer sont aujourd'hui bloqués par les habitations, ce qui pourrait justifier également cette stagnation dans des zones déjà basses.

Finalement, ce qui est aussi intéressant à noter dans ce problème des inondations, c'est la qualification d'un phénomène pourtant fréquent comme rare. En effet, l'analyse des séries pluviométriques après sécheresse montre que toutes ces pluies responsables d'inondations étaient de moins en moins fréquentes, au point qu'on puisse être amené à penser qu'il n'en tombait presque plus. Mais, pour peu qu'on remonte dans les séries, on se rend compte qu'aucune de ces pluies n'est exceptionnelle. Le contexte de sécheresse pluviométrique qui caractérise le Sahel depuis une trentaine d'années peut laisser croire à cet état de fait, mais cette fréquence de pluies fortes ces dernières années n'est, peut-être, que le signe annonciateur d'un retour de conditions d'avant sécheresse et que des précautions dans ce sens doivent être prises.

CONCLUSION

Les populations du Sahel se sont, tant bien que mal, habituées au risque lié à la sécheresse. Aujourd'hui elles doivent faire face à un autre risque, nouveau à leurs yeux, les inondations. Deux risques naturels que l'on peut qualifier d'opposés et qui appellent donc à des solutions différentes, avec de nouvelles formes d'adaptation et de comportements.

Le Sénégal connaît peut-être ses dernières années de sécheresse. Mais, dès maintenant, ce retour probable à des conditions climatiques plus humides a provoqué des inondations jamais vécues auparavant, provoquant des

dégâts dans la plupart des villes du Sénégal et ailleurs au Sahel. Le nouveau rapport de l'homme à son environnement et une politique d'aménagement du territoire peu appliquée sont en fait les principales explications. Et ce « retour » de la pluie ne fait que mettre à nu certains dysfonctionnements dans l'occupation actuelle de l'espace.

Cette nouvelle configuration de l'espace, caractérisée par une présence massive des populations dans des endroits jadis répulsifs, nécessite de prendre des décisions d'aménagement plus rigoureuses, pour accompagner cette dynamique de peuplement et orienter les populations à la demande croissante en logements vers des endroits plus habitables. De tels endroits sont aujourd'hui peu nombreux pour ne pas dire inexistantes, et la solution serait donc d'entreprendre des travaux d'aménagement de l'espace, avec surtout la mise en place de moyens d'exécution d'une telle politique, moyens qui malheureusement font souvent défaut à ces communes. Mais peut-être que la nouvelle commission de gestion prévisionnelle des inondations (CONAGPI) créée à cet effet par le gouvernement, saura se donner ces moyens pour éviter aux populations de vivre de façon régulière des situations non souhaitées.

REMERCIEMENTS

Nous remercions R. Morel pour nous avoir fourni les données de précipitations utilisées dans cette étude. Le premier auteur tient aussi à remercier le CIUF pour la bourse d'étude qui lui a été accordée pour participer au DES en Gestion des Risques Naturels, formation au cours de laquelle cette recherche a été réalisée.

BIBLIOGRAPHIE

- BÄRRING L. et HULME M., 1991. Filters and approximate confidence intervals for interpreting rainfall anomaly indices. *Journal of Climate*, 4, pp. 837-847.
- DAI A., TRENBERTH K.E. et KARL T.R., 1998. Global variations in droughts and wet spells : 1900-1995. *Geophysical Research Letters*, 25, pp. 3367-3370.
- DEMARÉE G.R., 1990. An indication of climatic change as seen from the rainfall data of a Mauritanian station. *Theoretical and Applied Climatology*, 42, pp. 139-147.
- GAUTIER F., LUBES-NIEL H., SABATIER R., MASSON J.M., PATUREL J.E. et SERVAT E., 1998. Variabilité du régime pluviométrique de l'Afrique de l'Ouest non sahélienne entre 1950 et 1989. *Hydrological Sciences Journal*, 43, pp. 921-935.
- GROTEN S.M.E., 1993. NDVI-crop monitoring and early yield assessment of Burkina Faso. *International Journal of Remote Sensing*, 14, pp. 1495-1515.
- GUMBEL E.J., 1958. *Statistics of extremes*, Columbia University Press, New York, 371 p.
- HUFTY A., 1994. Orientations et vocabulaire de la climatologie (1988-1992). *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 7, pp. 15-23.
- HULME M., 1996. Recent climatic change in the world's drylands. *Geophysical Research Letters*, 23, pp. 61-64.

- JONES P.D. et HULME M., 1996. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation : Methods and illustrations. *International Journal of Climatology*, 16, pp. 361-377.
- LAMB P.J., 1982. Persistence of subsaharan drought. *Nature*, 299, pp. 46-48.
- LERICOLLAIS A. et ROQUET D., 1999. Croissance de la population et dynamique du peuplement au Sénégal depuis l'indépendance. *Espace, Populations, Sociétés*, 37, pp. 93-106.
- MALEY J., 1973. Mécanisme des changements climatiques aux basses latitudes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 14, pp. 193-227.
- MANN H.B., 1945. Non parametric test against trend. *Econometrika*, 13, pp. 245-259.
- MOREL R., 1995. La sécheresse en Afrique de l'Ouest. *Revue de Géographie de Lyon*, 70, pp. 215-222.
- MOREL R., 1998. Début de la sécheresse en Afrique de l'Ouest. *Tropical Climatology, Meteorology and Hydrology* (Demaree, Alexandre et De Dapper eds), Royal Meteorological Institute of Belgium / Royal Academy of Overseas Sciences, pp. 200-211.
- NDONG J.B., 1995. L'évolution de la pluviométrie au Sénégal et les incidences de la sécheresse récente sur l'environnement. *Revue de Géographie de Lyon*, 70, pp. 193-198.
- NICHOLSON S.E., 1978. Climatic variations in the Sahel and other African regions during the past five centuries. *Journal of Arid Environments*, 1, pp. 3-24.
- NICHOLSON S.E., 1998. Interannual and interdecadal variability of rainfall over the African continent during the last two centuries. *Water resources variability in Africa during the XXth century* (Servat, Hugues, Fritsch et Hulme eds), IAHS Publication n° 252, pp. 107-116.
- NICHOLSON S.E. et PALAO I.M., 1993. A re-evaluation of rainfall variability in the Sahel. Part I. Characteristics of rainfall fluctuation. *International Journal of Climatology*, 13, pp. 371-389.
- NICHOLSON S.E., BA M.B. et KIM J.Y., 1996. Rainfall in the Sahel during 1994. *Journal of Climate*, 9, pp. 1673-1676.
- OZER P., 2001. Les lithométéores en région sahéenne : un indicateur climatique de la désertification. *GEO-ECOTROP*, 24, pp. 1-317.
- OZER P. et CRESSMAN K., 2000. *Return period analysis of the daily rainfall in West Africa within the scope of the Météo-France daily rainfall database import into SWARMS*. FAO, AGPP, DLIS, Rome, 7 p.
- OZER P. et ERPICUM M., 1995. Méthodologie pour une meilleure représentation spatio-temporelle des fluctuations pluviométriques observées au Niger depuis 1905. *Sécheresse*, 6, pp. 103-108.
- PATUREL J.E., SERVAT E., DELATTRE M.O. et LUBESNIEL H., 1998. Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et centrale non sahéenne dans un contexte de variabilité climatique. *Hydrological Sciences Journal*, 43, pp. 937-946.
- PETTITT A.N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, 28, pp. 126-135.
- SENE S., 2001. *Évolution pluviométrique et relation inondations-événements pluvieux au Sénégal (1921-2000)*, Fondation Universitaire Luxembourgeoise / Université de Liège, Mémoire inédit.
- SIRCOULON J., 1976. Les données hydropluvio-métriques de la sécheresse récente en Afrique intertropicale. Comparaison avec les sécheresses « 1913 » et « 1940 ». *Cahiers ORSTOM, série Hydrologie*, 13, pp. 75-174.
- SIVAKUMAR M.V.K. et HATFIELD J.L., 1990. Spatial variability of rainfall at an experimental station in Niger, West Africa. *Theoretical and Applied Climatology*, 42, pp. 33-39.
- SNEYERS R., 1990. *On the statistical analysis of series of observations*, Technical Note N°143. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland. 192 p.
- SOW M., 1996. Approvisionnement en eau de la région de Dakar : étude géographique. *Sécheresse*, 7, pp. 307-310.
- TAUPIN J.D., AMANI A. et LEBEL T., 1998. Variabilité spatiale des pluies au Sahel : une question d'échelles – 1. Approche expérimentale. *Water resources variability in Africa during the XXth century* (Servat, Hugues, Fritsch et Hulme eds), IAHS Publication n° 252, pp. 143-151.
- 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, pp. 116-124.
- VANDIEPENBEECK M., 1997. Bilan climatologique saisonnier. Hiver 1997 : Une période de froid remarquable. *Ciel et Terre*, 113, pp. 65-66.
- VANNITSEM S. et DEMAREE G., 1991. Détection et modélisation des sécheresses au Sahel. *Hydrologie continentale*, 2, pp. 155-171.

Adresses des auteurs :

Souleymane SENE
CARITAS Kaolack, BP 482
Sénégal

Pierre OZER
Fondation Universitaire Luxembourgeoise
Avenue de Longwy 185
B-6700 Arlon
Belgique