

PRÉCIPITATIONS 'EXTRÊMES' ET INONDATIONS À OUAGADOUGOU : QUAND LE DÉVELOPPEMENT URBAIN EST MAL MAÎTRISÉ...

HANGNON H. ⁽¹⁾, DE LONGUEVILLE F. ⁽²⁾, OZER P. ⁽³⁾

(1) Laboratoire de télédétection et de système d'information géographique, Université de Ouagadougou Bât. Belge, rue de la science, 01BP3755, Ouagadougou 01, Burkina Faso [yinginhugorin@yahoo.fr]

(2) Centre d'études de l'ethnicité et des migrations (CEDEM), Université de Liège, Bât.B31, Boulevard du Rectorat 7, B-4000 Liège, Belgique [delongueville_f@yahoo.fr]

(3) Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université de Liège, Campus d'Arlon, Avenue de Longwy 185, B-6700 Arlon, Belgique [pozer@ulg.ac.be]

Résumé – La fréquence des inondations dans la ville de Ouagadougou durant la période 2002-2012 a suscité cette étude qui vise à analyser les événements pluviométriques journaliers de la série chronologique de 1950 à 2012 de la station synoptique de l'aéroport international de Ouagadougou, afin de tester l'hypothèse que les inondations sont plus liées aux défaillances dans l'aménagement urbain qu'aux précipitations extrêmes. À partir de plusieurs indices pluviométriques, des tendances temporelles ont été analysées. Par ailleurs, la méthode de Gumbel nous a permis de déterminer les périodes de retour des précipitations. Les résultats obtenus révèlent que les précipitations engendrant des inondations sont souvent normales, avec une période de retour inférieure à 6 ans. Les inondations survenues à Ouagadougou résultent donc plus de la croissance urbaine non planifiée que d'une quelconque modification de la fréquence ou de l'intensité des pluies extrêmes.

Mots-clés : pluviométrie extrême, inondation, aménagement urbain, Ouagadougou.

Abstract – *Extreme precipitations and floods in Ouagadougou: when urban development is badly controlled* - The flood frequency in the city of Ouagadougou during the 2002-2012 period has oriented this study which aims to analyze the daily rainfall events in the time series of 1950-2012 of the synoptic station of the International Airport of Ouagadougou, in order to test the hypothesis that floods are more linked to failures in urban planning than extreme precipitation. Based on different rainfall indices, temporal trends have been analyzed. Moreover, the method of Gumbel has allowed us to determine the return periods of daily rainfall. The analysis of the results revealed that rainfall causing flooding are often normal, with a return period below 6 years. Consequently, the floods in Ouagadougou seem more to be the result of unplanned urban growth than any change in the frequency or intensity of extreme rainfall.

Keywords: extreme rainfall, flooding, urban planning, Ouagadougou.

Introduction

Les inondations sont devenues récurrentes à partir des années 2000 dans la ville de Ouagadougou, capitale du Burkina Faso. D'après une recherche documentaire menée dans deux organes de presse écrite, Ouagadougou a connu huit inondations entre 2002 et 2012. Les hauteurs de pluie associées aux inondations varient entre 43,8 mm et 261,3 mm. Ces inondations ont provoqué des pertes en vies humaines, des sinistrés, des blessés, des effondrements de maisons, et bien d'autres dégâts importants sur les infrastructures économiques.

Or les études sur la variabilité climatique dans le Sahel ouest africain ont révélé une baisse importante de la pluviométrie annuelle même si un retour des précipitations a été récemment observé (Ibrahim, 2012 ; Ozer et Perrin, 2014) et du nombre de jour de pluie. Quels sont dans ce contexte les facteurs favorisant l'inondation : les épisodes pluvieux extrêmes ou une mauvaise occupation du sol ? Pour répondre à cette question, cette étude analyse les événements pluviométriques afin de ressortir l'interrelation entre la pluviométrie, les inondations et l'aménagement urbain.

1. Données

Cette étude s'appuie sur des données pluviométriques constituées des hauteurs de pluie journalières de la série chronologique de 1950-2012, enregistrées à la station synoptique de l'aéroport international de Ouagadougou (Direction Nationale de la Météorologie). Les données historiques d'inondation avec leurs impacts ont été recensées dans deux organes de presse écrite (l'Observateur Paalga et le Sidwaya) sur la période 1983-2012.

Les images satellites SPOT à haute résolution spatiale (0,5 m) de 2012 et la base de données urbaine de Ouagadougou, collectées respectivement à la Direction générale de l'urbanisme (DGU) et à l'Institut géographique du Burkina (IGB) ont été exploitées pour faire ressortir l'extension urbaine en 2002 et 2012.

2. Méthode

2.1. Événements pluvieux extrêmes

La détermination des périodes d'anomalies pluviométriques a nécessité le calcul de l'indice standardisé des précipitations (SPI) sur les moyennes annuelles des hauteurs de pluie. L'indice (Ii) est une variable centrée réduite exprimée par l'équation : $I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma(x)}$ où x_i = valeur de la pluviométrie de l'année i ; \bar{x} = valeur annuelle moyenne (1950-2012) de la pluviométrie ; $\sigma(x)$ = valeur de l'écart-type de la série (1950-2012).

La méthode d'analyse des événements pluvieux extrêmes se base sur la détermination de six indices pluviométriques : le total pluviométrique (PTOT), le nombre total de jours humides (avec pluies journalières ≥ 1 mm, JP), la pluviométrie maximale enregistrée en 1 jour (Px1J) et les quantiles : 95^{ème}, 99^{ème} et 99,5^{ème} percentiles (Hountondji *et al.*, 2011 ; Griffiths *et al.*, 2003). De ces neuf indices, seulement les percentiles (95^{ème}, 99^{ème}, 99,5^{ème}) et la pluviométrie maximale enregistrée en 1 jour (Px1J) ont été calculés sur la période référence 1950-2012 (cf. tableau 1). Différents tests d'homogénéité (Pettitt (1979) ; Buishand (1977); Hubert (1989) ; Lee et Heghinian (1977) cités par Ardoin-Bardin, 2004) sont ensuite appliqués sur ces séries pour mettre en évidence d'éventuels points de ruptures.

Tableau 1. Indices utilisés pour la caractérisation des événements pluvieux 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]
Px1J	Pluie maximale quotidienne	Précipitation maximale quotidienne	[mm]
P95p	Fréquence des pluies intenses	Nombre de jours avec des précipitations $\geq 95^{\text{e}}$ percentile calculé sur la période 1950-2012	[jours]
P99p	Fréquence des pluies extrêmes	Nombre de jours avec des précipitations $\geq 99^{\text{e}}$ percentile calculé sur la période 1950-2012	[jours]
P99, 5p	Fréquence des pluies très extrêmes	Nombre de jours avec des précipitations $\geq 99,5^{\text{e}}$ percentile calculé sur la période 1950-2012	[jours]

2.2. Caractérisation des périodes de retour

La loi de Gumbel (1958) a été appliquée aux hauteurs de pluie journalière pour caractériser les périodes de retour des événements pluvieux extrêmes afin de vérifier si les épisodes pluvieux, sources d'inondation recensées pourraient être qualifiés d'événements extrêmes ou non. La période de retour d'un événement est définie comme étant l'inverse de la probabilité annuelle de dépassement de cet événement (Mohyont et Demarée, 2006). Un événement pluvieux est qualifié de très exceptionnel si sa période de retour (PR) est au-delà de 100 ans ; d'exceptionnel si la PR est située dans l'intervalle de 30 à 100 ans; de très anormal si la PR est comprise entre 10 à 30 ans ; d'anormal si la PR est située entre 6 à 10 ans et de normal si la PR est à moins de 6 ans.

3. Résultats

3.1. Evolution des précipitations annuelles

La figure 1 montre une persistance des années sèches sur la période 1950-2012. Les différents tests d'homogénéité appliqués (Pettitt ; Buishand ; Hubert et, Lee et Heghinian), sur cette série chronologique ont mis en évidence, au seuil de significativité de 99%, un point de rupture à la baisse en 1976 ; ainsi deux sous périodes se distinguent : l'une humide allant de 1950 à 1976 et l'autre sèche, de 1977 à 2012 avec une reprise à la hausse des précipitations à partir de 2009.

Sur la période humide, dix années (1951, 1954, 1955, 1956, 1957, 1962, 1964, 1969, 1972 et 1976) ont été excédentaires ($> 1 \sigma$), dont quatre (1956, 1962, 1964 et 1976) furent très excédentaires ($> 2 \sigma$), alors qu'aucune n'est déficitaire. En revanche, sept années (1980, 1982, 1984, 1997, 2000, 2001 et 2006) sont déficitaires alors qu'aucune n'est excédentaire, au cours des trente-six dernières années.

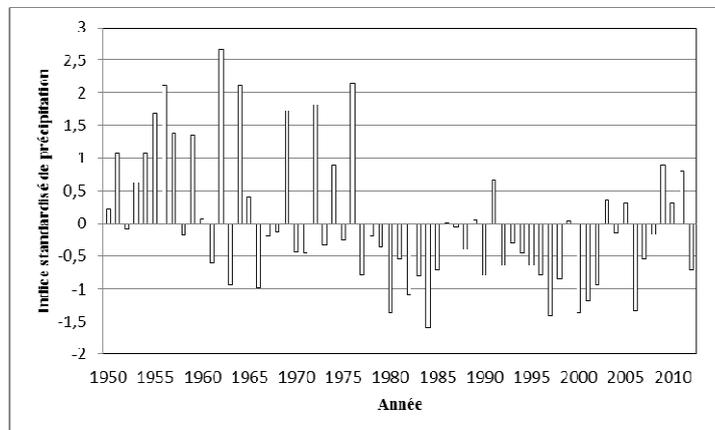


Figure 1. Evolution de l'anomalie pluviométrique à la station de l'aéroport de Ouagadougou de 1950-2012

3.2 Tendances des indices pluviométriques

L'analyse des figures 2, 3, 4 et 5 indique également une tendance à la baisse des nombres de jours de pluie. Cette baisse ne s'accompagne pas d'une rupture significative. Les événements pluvieux intenses, extrêmes et très extrêmes ont respectivement été définis à partir des seuils de 43,2 mm, 64,1 mm et 81,4 mm, calculés sur la période de 1950 à 1979. Le nombre de jours de pluie très extrême est de 13, contre 32 pour les pluies extrêmes et 160 pour les pluies intenses. Quatre jours de pluie très extrêmes et seize jours de pluie extrêmes ont été décomptés au cours de la période sèche.

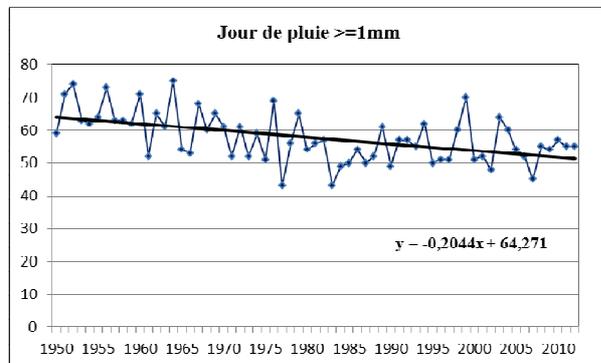


Figure 2. Tendence du nombre de jours de pluie à Ouagadougou de 1950-2012

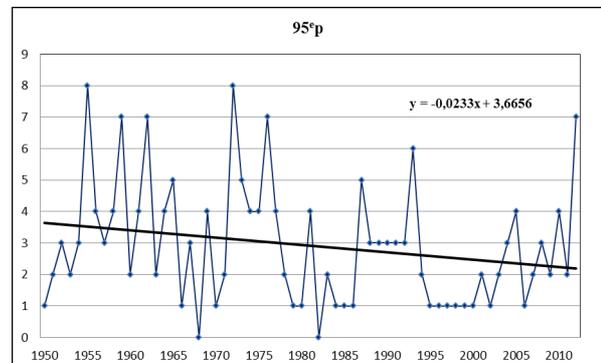


Figure 3. Tendence du nombre de jours de pluie supérieure au 95^e percentile à Ouagadougou de 1950-2012

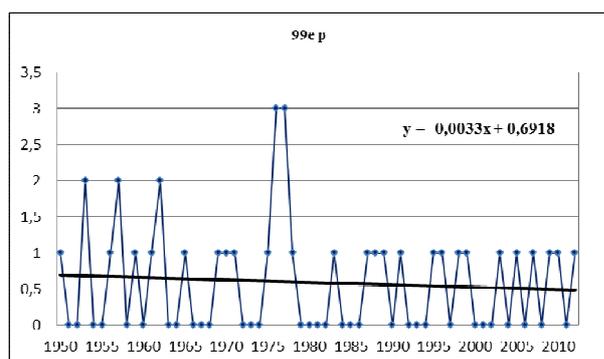


Figure 4. Tendence du nombre de jour de pluie supérieur au 99,5^e percentile à Ouagadougou de 1950-2012

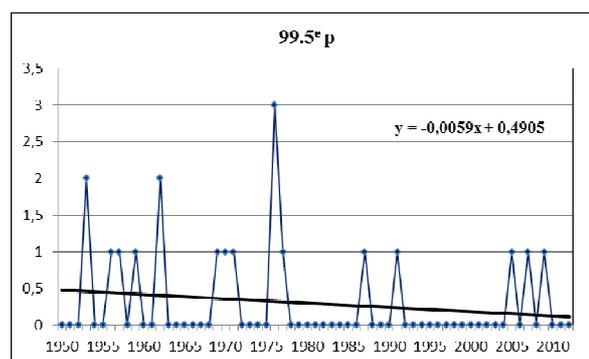


Figure 5. Tendence du nombre de jour de pluie supérieur au 99,5^e percentile à Ouagadougou de 1950-2012

3.3. Estimation des périodes de retour des pluies exceptionnelles

En se référant à la classification internationale des événements extrêmes (Vandiepenbeeck, 1997, cité par Sene et Ozer, 2002), il ressort de la figure 6 que les hauteurs de pluie quotidienne de 80, 106, 120 et 137 mm représentent respectivement les seuils caractérisant les événements anormal (période de retour de 6 ans), très anormal (PR de 10 ans), exceptionnel (PR de 30 ans) et très exceptionnel PR de 100 ans).

La comparaison de ces seuils aux précipitations ayant conduit aux inondations révèle qu'excepté les inondations de 2009 et 2007 qualifiées d'événements très exceptionnels et exceptionnels, celles des autres années étaient causées soit par des pluies très anormales (1991), anormales (2005 et 2012), voire normales (2002, 2008 et 2011) (cf. tableau 2).

Tableau 2. Fréquence de retour des pluies maximales journalières à la station de Ouagadougou

Date	Quantité	PR	Qualification
20 mai 1991	105,2	28	Très anormal
25 août 2002	58,3	4,5	Normale
10 juillet 2005	75,7	8,5	Anormale
26 août 2007	127,7	68	Exceptionnel
19 juillet 2008	43,6	2,5	Normale
1 ^{er} septembre 2009	261,3	>100	Très exceptionnel
18 juillet 2011	43,8	2,5	Normale
28 juillet 2010	70,4	7	Anormale
24 juillet 2012	67,8	6	Anormale

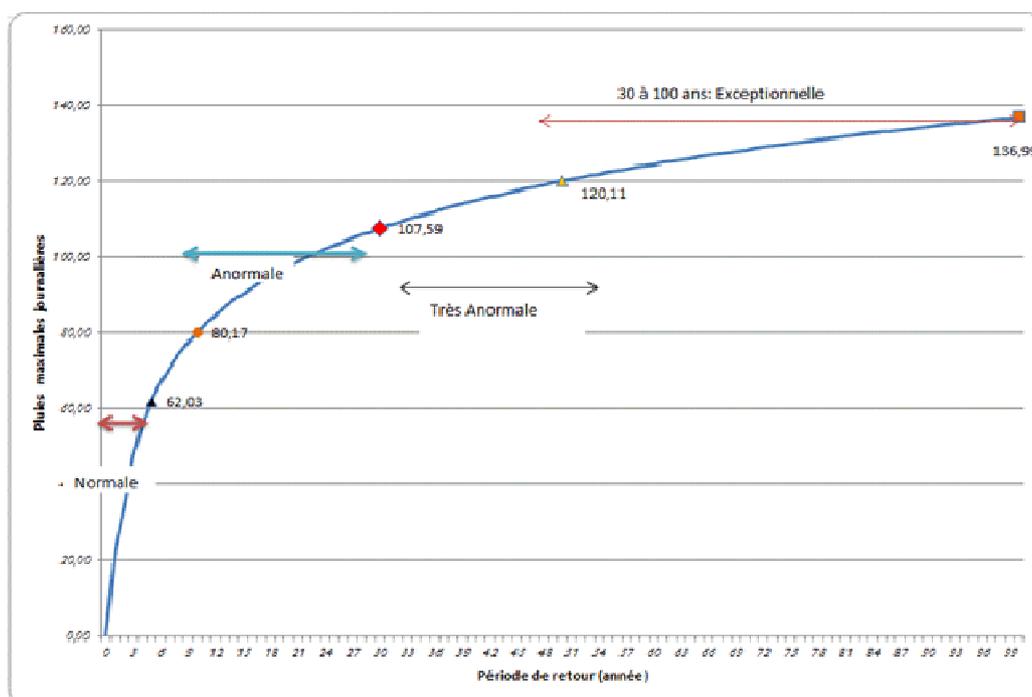


Figure 6. Fréquence de retour des pluies maximales journalières à la station de Ouagadougou

Discussion et conclusion

L'analyse de la relation existant entre les inondations et les précipitations a révélé que des événements pluvieux, loin d'être exceptionnels (période de retour supérieur à 30 ans) ont provoqué des inondations, et ce, bien que le nombre de jours pluvieux et les précipitations connaissent une tendance à la baisse sur la période 1950-2012. Dans ce contexte, les mutations rapides dans l'occupation des sols dues à la forte demande en parcelles d'habitation liée à l'augmentation de la population et, la faible densité du réseau d'assainissement pluvial sont des facteurs favorisant les inondations en cas de précipitations supérieures ou égales à la normale. En effet, des cas d'inondation n'ont pas été rapportés avant 1976 (fin de la période humide 1950-1976) où, des précipitations journalières atteignaient 120 mm. Mise à part l'année 1991, ce constat est valable pour la décennie 1990 durant laquelle des épisodes pluvieux supérieurs au seuil de la normale (62 mm) n'ont guère provoqué des inondations. En conséquence, les causes naturelles expliquent moins le risque d'inondation à Ouagadougou. Les inondations sont plutôt liées à un développement urbain mal maîtrisé et au détriment des orientations décrites dans les documents de planification urbaine.

La croissance urbaine de Ouagadougou mal maîtrisée augmente sa vulnérabilité au risque d'inondation. En effet, la population de Ouagadougou est passée de 465.969 à 1.915.102 habitants entre 1985 et 2012. Cet accroissement démographique s'est matérialisé par un étalement urbain –le plus souvent spontané– remarquable puisque la superficie de la capitale du Burkina Faso est passée de 12 600 ha en 1987 à 51 800 ha en 2008 (Cf. figure 7 ci-dessous).

De récentes études sur le Sahel (Tarhule, 2005), les villes de Bangui et de Dakar (Bangui, 2005) et au Sénégal (Sene et Ozer, 2002) ont montré une augmentation du risque d'inondation ces dix dernières années dans ces zones malgré une diminution des extrêmes pluviométriques à partir des années 1970. Elles concluent, elles aussi, qu'il s'agit d'une déficience de l'aménagement urbain face au risque d'inondation liée à une augmentation de la population suivie d'une urbanisation intensive et non organisée.



Figure 7. Etalement urbain dans la ville de Ouagadougou

La ville de Ouagadougou –à l’instar de nombreuses villes africaines– doit donc urgemment revoir en profondeur sa politique de planification urbaine, d’abord, pour résoudre la problématique actuelle des inondations et, ensuite, pour pouvoir s’adapter aux potentielles modifications des précipitations extrêmes à venir.

Références bibliographiques

- Ardoin-Bardin S., 2004 : Variabilité hydro climatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne, Thèse de doctorat en sciences de la terre et de l’eau de l’université Montpellier II, 440 p.
- Bangui P., 2005 : La « métropolisation » des pays d’Afrique subsaharienne et les inondations de Bangui et de Dakar d’août 2005. Eléments de compréhension et plaidoyer pour une politique volontariste d’urbanisme, pp : 12-25 in *pôle d’excellence régionale « espaces et sociétés en Afrique noire »*, 2006 EAMAU, AUF, 25 p.
- Hountondji Y.C., De Longueville F., Ozer P., 2011 : Trends in extreme rainfall events in Benin (West Africa), 1960-2000. *Proceedings of the 1st International Conference on Energy, Environment and Climate Change*, 26-27 August 2011, Ho Chi Minh City, Vietnam. <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/96112>.
- Ibrahim B., 2012 : Caractérisation des saisons des pluies au Burkina Faso dans un contexte de changement climatique et évaluation des impacts hydrologiques sur le bassin du Nakanbé, Thèse de doctorat en sciences de la terre de l’université Pierre et Marie Curie, 245 p.
- Mohymont B., Demarée G.R., 2006 : Courbes intensité-durée-fréquence des précipitations à Yangambi, Congo, au moyen de différents modèles de type Montana. *Hydrological Sciences Journal*, **51**, 239-253.
- Ozer P., Perrin D., 2014 : Eau et changement climatique. Tendances et perceptions en Afrique de l’Ouest. In A., Ballouche & N.A. Taïbi (Eds.), *Eau, milieux et aménagement. Une recherche au service des territoires*. Angers, France: Presses de l’Université d’Angers, 227-245.
- Sene S., Ozer P., 2002 : Évolution pluviométrique et relation inondations-événements pluvieux au Sénégal. *Bulletin de la société géographique de Liège*, **42**, 27-43
- Tarhule A., 2005: Damaging rainfall and flooding. The other Sahel hazards. *Climatic Change*, **72**(3), 355-377.