
Évolution récente et détermination de la saison de pluies dans la région de Kinshasa (RDC) de 1961 et 2010

Fils Makanzu Imwangana^{1,2}, Blaise Kamosi Zola¹, Bonaventure Lele Nyami³, Marcellin Munongo Iyabidila³, Médard Ntombi Muen Kabeya¹, Giscard Phuati Phuati¹, Pierre Ozer⁴

⁽¹⁾Université de Kinshasa. Faculté des Sciences et Technologie. Mention Géosciences. Unité de Recherche et Formation en Gestion des Risques Naturels (URF-GRN). BP 190 Kinshasa XI (RDC). E-mail : filmakanzu@yahoo.fr

⁽²⁾Centre de Recherches Géologiques et Minières (CRGM). Laboratoire de Géomorphologie et Télédétection. BP.898 Kinshasa I Gombe, Kinshasa (RDC)

⁽³⁾Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques. Département de Gestion des Ressources Naturelles. BP 117 Kinshasa XI (RDC)

⁽⁴⁾Université de Liège-Arlon Campus Environnement. Faculté des Sciences. Département des Sciences et Gestion de l'Environnement (DSGE). B-6700 (Belgique)

Reçu le 17 septembre 2022, accepté le 26 avril 2023, publié en ligne le 30 juin 2023

doi : <https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v6i2.7>

RESUME

Description du sujet. La prévision du démarrage de la saison de pluies est une question cruciale en République Démocratique du Congo (RDC) en général et dans l'hinterland de la ville de Kinshasa en particulier ; étant donné que l'agriculture y est pluviale. Ainsi, plusieurs producteurs s'en préoccupent. C'est dans ce contexte qu'une étude sur la variation de la saison de pluies de 1961 à 2010 est menée.

Objectif. L'objectif de cette recherche est d'analyser la variabilité interannuelle et décennale de la saison de pluies à partir de deux séries chronologiques de Kinshasa.

Méthodes. Une enquête qualitative et quantitative a été conduite auprès de 200 agriculteurs dont 60 % de femmes et 40 % des hommes de l'hinterland de Kinshasa. Les indices de pluies ont été utilisés pour l'analyse des événements extrêmes des pluies journalières ≥ 1 mm. La longueur de la saison de pluies est la différence en jours entre les dates de fin et de début des pluies. Les observations ont porté sur les impacts d'un éventuel changement climatique sur les activités agricoles.

Résultats. Les résultats obtenus ont montré que les dates de démarrage, de fin et la durée de la saison de pluies sont en variation à Kinshasa. La saison de pluies arrive soit de façon tardive en octobre, soit de façon hâtive en septembre. Cette instabilité de démarrage de la saison de pluies perturbe la planification agricole et le développement des cultures dans la région. Sur le plan spatial, les indices de pluies montrent une faible augmentation à l'Ouest et une nette augmentation à l'Est par rapport à la normale pluviométrique calculée de 1961 à 1990. L'évolution de jour de pluies est oscillatoire comme celle des quantités mais la tendance générale montre une diminution de la fréquence de pluies.

Conclusion. Aucun des indices pluviométriques analysés n'a montré une tendance évolutive qui soit statistiquement significative au point d'induire des changements sur la pluviosité de la région ; le début annuel des pluies à Kinshasa est variable.

Mots clés : Saison de pluies, changement climatique, indices de pluies, planification agricole, Kinshasa

ABSTRACT

Recent changes and determination of the rainy season at Kinshasa region (DRC) from 1961 to 2010

Description of the subject. Forecasting the start of the rainy season is a crucial issue in the Democratic Republic of Congo (DR Congo) in general and in the hinterland of the city of Kinshasa in particular; since agriculture is rain-fed. Thus, many producers are concerned about it. It is in this context that a study on the variation of the rainy season from 1961 to 2010 is carried out.

Objective. The objective of this research is to analyze the interannual and decadal variability of the rainy season from two chronological series of Kinshasa.

Methods. A qualitative and quantitative survey was conducted among 200 farmers, 60% of whom were women and 40% of men in the Kinshasa hinterland. The rainfall indices were used for the analysis of extreme events for daily rainfall ≥ 1 mm. The length of the rainy season is the difference in days between the end and start dates of the rains. The observations focused on the impacts of a possible climate change on agricultural activities.

Results. The results obtained showed that the start and end dates and the duration of the rainy season vary in Kinshasa. The rainy season comes either late in October or early in September. This unstable start to the rainy season disrupts agricultural planning and crop development in the region. On the spatial level, the rain indices show a slight increase in the West and a clear increase in the East compared to the rainfall normal calculated from 1961 to 1990. The evolution of rainy days is oscillatory like that of the quantities but the general trend shows a decrease in the frequency of rains.

Conclusion. None of the rainfall indices analyzed has shown an evolutionary trend that is statistically significant to the point of inducing changes in the rainfall of the region; the annual onset of rains in Kinshasa is variable.

Keywords : Rainy season, climate change, rainfall indices, agricultural planning, Kinshasa

1. INTRODUCTION

Le GIEC (2007 et 2013) pense que les événements extrêmes devraient devenir plus fréquents suite au réchauffement climatique et les recherches devraient donc être menées pour en savoir plus. Pour le moment, Naveau *et al.* (2005) considèrent qu'il existe un fort intérêt scientifique pour le domaine de l'analyse des extrêmes climatiques. Ces derniers témoignent de certaines non-linéarités importantes et leurs conséquences économiques et sociales sur l'activité humaine sont potentiellement énormes. En plus, l'évolution des précipitations dans le sens d'une contribution croissante des grandes averses (Ntombi *et al.*, 2004) fait croire que les intensités de pic vont aussi en augmentant. En effet, bien que la fréquence, l'intensité et les impacts d'événements climatiques extrêmes soient bien documentés dans la plupart des régions du monde, il y a eu un manque d'informations sur les tendances des événements quotidiens des précipitations extrêmes en Afrique (New *et al.*, 2006). Le manque de données climatiques quotidiennes appropriées sur une longue série pour l'analyse des extrêmes est le plus grand obstacle à quantifier si les événements extrêmes ont changé au cours des dernières décennies, tant à l'échelle continentale que régionale (Easterling *et al.*, 1999). Il semble que les événements extrêmes devraient devenir plus fréquents suite au réchauffement climatique (Ntombi *et al.*, 2004) et qu'il est grand temps de s'y mettre.

Makanzu Imwangana (2014) a donné certaines réponses à ces préoccupations de manière à caractériser les événements qui structurent et modulent les cycles annuel et quotidien des précipitations à Kinshasa. Cette analyse minutieuse s'est focalisée plus sur les événements extrêmes et les anomalies. Aussi, a-t-il répondu au manque d'informations sur les tendances des variables pluviométriques et des extrêmes climatiques dans beaucoup de régions à travers les pays en développement en général et l'Afrique centrale en particulier dont font allusion New *et al.* (2006) et Aguilar *et al.* (2009). D'ailleurs, Solomon *et al.*

(2007) et Ozer *et al.* (2009) estiment également que les indices pluviométriques sont encore trop peu étudiés en Afrique sub-saharienne. Par ailleurs, la situation socio-économique que connaît la République Démocratique du Congo expose déjà sa population aux multiples problèmes parmi lesquels, l'insécurité alimentaire. Cette situation préoccupe non seulement la population, les décideurs tant au niveau national qu'international mais aussi les chercheurs. En effet, sans croissance économique soutenue par des études solides, la pauvreté ne disparaîtra pas et l'insécurité alimentaire persistera en République Démocratique du Congo.

Ainsi, à la suite des travaux débutés par Makanzu Imwangana (2014), la présente investigation porte sur les dates de début, fin et la longueur de la saison de pluies dans la région de Kinshasa de 1961 à 2010. Cette étude devra scruter la variation ou non des dates de début, fin et la longueur des saisons de pluies dans la région. Au cas échéant, l'étude devrait nous dégager les impacts de cette variation sur la vie socio-économique des populations dépendantes. En effet, la détermination et la prévision des dates de début, de fin et la longueur de la saison de pluies sont des questions cruciales en RDC en général et en particulier dans la ville-province de Kinshasa étant donné que l'agriculture y est pluviale. Elles permettent de déterminer le calendrier agricole et influence le rendement des cultures. La date du début des pluies est importante dans la planification des opérations agricoles, particulièrement le semis (Ozer *et al.*, 2009).

A l'ère des changements climatiques à l'échelle mondiale, la question qui reste posée à Kinshasa est celle de savoir : la pluviosité dans la région de Kinshasa est-elle restée la même ? Cette étude pose la question de savoir s'il y a eu un changement climatique dans la région de Kinshasa qui se serait traduit par la variation de la saison de pluies de 1961 à 2010. Et si c'est le cas, quels en sont les impacts sur l'activité agricole et autres ?

L'objectif principal de cette étude est d'analyser la variabilité interannuelle et décennale des dates de début, de fin et la longueur de la saison de pluies à partir de deux séries chronologiques dans la région de Kinshasa. Spécifiquement, l'étude vise à déterminer la variabilité temporelle des dates de démarrage et de fin des saisons de pluies ainsi sa longueur dans la région de Kinshasa, d'identifier les méthodes qui correspondent mieux à la caractérisation de la saison de pluies à Kinshasa ainsi que les impacts qui découlent de cette variabilité sur la production agricole.

L'étude peut aider à prédire le démarrage de la saison de pluies, sa fin et sa durée dans la région de Kinshasa. Cette maîtrise du « calendrier » permettra d'améliorer les rendements en évitant les pertes des semences dues à un semi hâtif d'une part, et d'autre part, la maîtrise du démarrage de la saison de pluies peut épargner la ville de Kinshasa d'autres dégâts environnementaux auxquels elle est confrontée.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Contexte physique de la région

La ville province de Kinshasa (Figure 1) couvre près de 10.000 km² (De Saint Moulin, 2001) dont 600 km² sont urbanisés (Lelo et Tshimanga, 2004 ; Kayembe *et al.*, 2009 et 2012 ;). L'espace urbain a évolué de 4,7 fois entre 1957 et 2007 (Makanzu *et al.*, 2012). Le site où est construite la ville de Kinshasa ressemble à un gigantesque amphithéâtre dont les collines sont orientées de l'Ouest-Est, installé sur une vaste dépression et s'étend sur un fond émergé d'une ancienne cuvette développée à l'époque où le pool s'étendait jusqu'au pied des collines du Sud, de l'Ouest et du plateau de l'Est. Au Sud, dans les zones des collines, il s'est formé un réseau hydrographique des vallées profondément encaissées dans une surface ancienne des collines dont l'altitude s'abaisse à 350 m environ près du fond des collines.

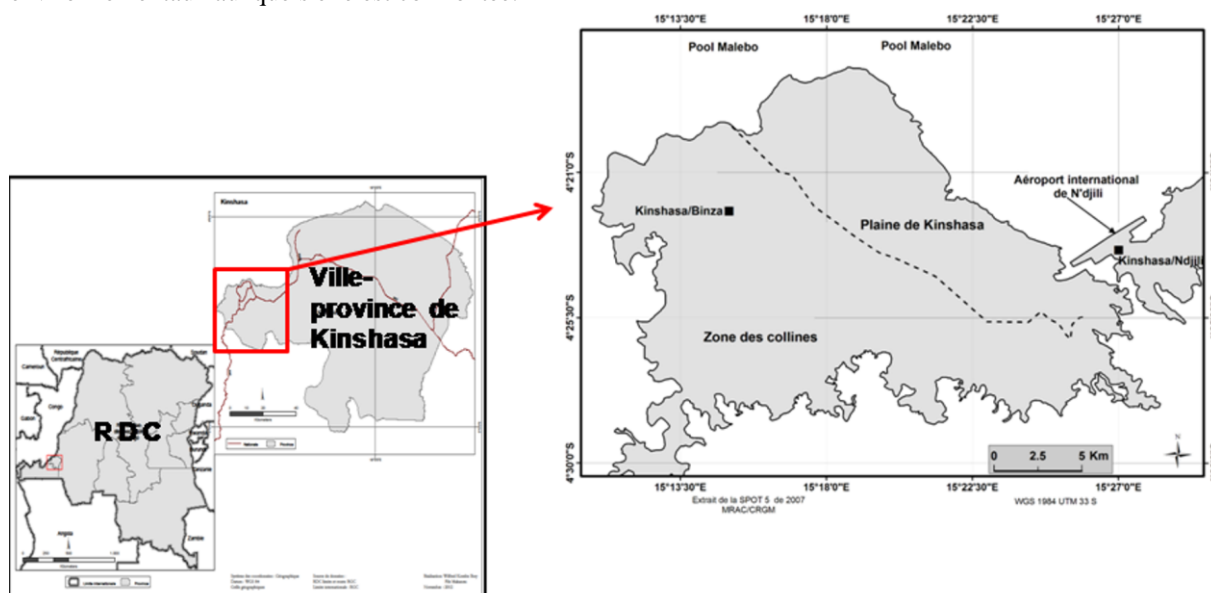


Figure 1. Délimitation de la zone d'étude : à gauche, la ville-province de Kinshasa extraite de la RDC. A droite, localisation de deux stations synoptiques dans la principale zone urbaine de Kinshasa, représentées ici par des petits carrés noirs. La ligne noire discontinuée représente la limite nord de la zone de collines. Il y a la station de Kinshasa/Binza à l'ouest dans la zone de collines et la station de Kinshasa/N'djili à l'est dans la zone de la plaine.

Kinshasa connaît un climat de type AW₄, il s'agit d'un climat chaud et humide. D'après Bultot (1971), le régime pluvial de la région de Kinshasa jouit d'une double périodicité : le mois de novembre, le plus pluvieux, enregistre plus de 200 mm. Les valeurs moyennes extrêmes soit 20 et 27 °C sont enregistrées respectivement en juillet et novembre. Dans cette région, l'humidité de l'air est à la fois élevée et constante. Les taux moyens sont d'au moins 80 % pour les huit mois humides, contre 70 % pour le minima en août et septembre. La végétation de la région de Kinshasa se compose de forêts, de savanes et de formations semi-aquatiques et aquatiques des vallées du Pool Malebo (Pain, 1984 ; Kikufi et Lukoki, 2008). Sur ce qui reste encore du paysage

naturel des collines, on peut trouver des graminées : *Laudetiademeusi* et *Schyzochysiumsemiberle* qui sont des hémicryptophytes cespiteux. Tshibangu *et al.* (1997) conclue en ces termes : la superficie des forêts a diminué, passant de 46 % en 1960 à 36 % en 1982 et à 15 % en 1987.

2.2. Aperçu sur les stations météorologiques de Kinshasa et données de l'étude

Pour analyser les tendances récentes de précipitations extrêmes, les données ont été acquises à la METTELSAT pour les deux stations synoptiques de Kinshasa (Figure 1). Il s'agit de la station de : (i) Kinshasa/Binza (OMM ID : 64220 ; Latitude : 4,37°S ; Longitude : 15,25°E ; Altitude:

445 m) située à l'ouest et gérée par la METTELSAT ; (ii) Kinshasa/N'djili (OMM ID : 64210 ; Latitude : 4,38°S ; Longitude : 15,43°E ; Altitude : 309 m) située à l'est et gérée au quotidien par la Régie de Voies Aériennes.

La base de données collectées porte sur les relevés pluviométriques journaliers allant de janvier 1961 à décembre 2010, mais avec toutefois l'absence de données de l'année 1964 à la station de Kinshasa/N'djili.

2.3. Analyse des données pluviométriques annuelles et quotidiennes

Les indices de pluies qui ont servi à cette étude sont présentés au Tableau 1. Il s'agit des indices utilisés pour l'analyse des événements extrêmes (Manton *et al.*, 2001 ; Griffiths *et al.*, 2003 ; Haylock *et al.*, 2006 ; New *et al.*, 2006 ; Solomon *et al.*, 2007 ; Aguilar *et al.*, 2009 ; Hountondji *et al.*, 2011 ; Sahani *et al.*, 2012). Les premiers indices, partant de la PTOT à la P50 mm, peuvent être obtenus ou déduits des relevés pluviométriques. Par contre, les percentiles sont calculés à partir des données journalières de précipitations au cours de la période 1971-2000, ce qui correspond à 30 ans d'observations qui sont une exigence qui permet de se conformer aux normes de l'OMM.

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

ID	Nom de l'indice	Définition	Unité
PTOT	Précipitation annuelle	Précipitation totale annuelle	[mm]
JP	Jour de pluie	Nombre total de jours humides (≥ 1 mm)	[jours]
SDII	<i>Simple day intensity index</i>	Lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie	[mm/jour]
JCP	Jours humides consécutifs	Nombre total de jour humides consécutifs (≥ 1 mm)	[jours]
JCS	Jours secs consécutifs	Nombre total de jours secs consécutifs (< 1 mm)	[jours]
Px1J	Pluie maximale quotidienne	Précipitation maximale quotidienne	[mm]
Px5J	Pluie maximale en 5 jours	Précipitation maximale en 5 jours	[mm]
Px30J	Pluie maximale en 30 jours	Précipitation maximale en 30 jours	[mm]
P10mm	Fréquence des pluies ≥ 10 mm	Nombre de jours avec des précipitations ≥ 10 mm	[jours]
P20mm	Fréquence des pluies ≥ 20 mm	Nombre de jours avec des précipitations ≥ 20 mm	[jours]
P50mm	Fréquence des pluies ≥ 50 mm	Nombre de jours avec des précipitations ≥ 50 mm	[jours]
P95p	Fréquence des pluies intenses	Nombre de jours avec des précipitations $\geq 95^{\text{ème}}$ percentile calculé sur la période 1971-2000	[jours]
P99p	Fréquence des pluies extrêmes	Nombre de jours avec des précipitations $\geq 99^{\text{ème}}$ percentile calculé sur la période 1971-2000	[jours]
P99,5p	Fréquence des pluies très extrêmes	Nombre de jours avec des précipitations $\geq 99,5^{\text{ème}}$ percentile calculé sur la période 1971-2010	[jours]
P95pSOM	Intensité des pluies intenses	Précipitation annuelle de jours avec des précipitations $\geq 95^{\text{ème}}$ percentile calculé sur la période 1961-2000	[mm]
P99pSOM	Intensité des pluies extrêmes	Précipitation annuelle de jours avec des précipitations $\geq 99^{\text{ème}}$ percentile calculé sur la période 1971-2000	[mm]
P99,5pSOM	Intensité des pluies très extrêmes	Précipitation annuelle de jours avec des précipitations $\geq 99,5^{\text{ème}}$ percentile calculé sur la période 1971-2000	[mm]

Les coefficients de tendance des précipitations ont été déterminés en utilisant un modèle de régression linéaire qui représente le taux de croissance (hausse)

ou de diminution (baisse) de l'indice donné au cours de la période 1971-2000. Chaque pente (positive ou négative) a été classée dans trois catégories, à

savoir : très significative, significative ou non significative. La procédure de régression fournit un test statistique « t » de Student et sa probabilité « p-niveau de signification » résultante pour analyser l'hypothèse selon laquelle, la pente est égale à 0. Ce niveau-p a été utilisé comme critère pour définir les limites de la classe. Les tendances, pour chaque indice ont été étiquetées comme « très significatives » si la probabilité p a dépassé 0,01 pour le test t unilatéral, « significatives » si le niveau p a varié entre 0,01 et 0,05 et « non significatives » si p est \geq 0,05.

Pour caractériser les périodes de retour des précipitations extrêmes auxquelles on doit s'attendre dans la région de Kinshasa, la méthode d'ajustement graphique de Gumbel (1958) a été appliquée. Cette application a été retenue aux seuils de 6 ans (anormal), 10 ans (très anormal), 30 ans (exceptionnel) et 100 ans (très exceptionnel) conformément à la classification internationale des événements extrêmes proposée par l'IRMB (Sene et Ozer, 2002). Mohymont et Demarée (2006) sont très sceptiques quant à l'utilisation de la distribution de Gumbel pour les précipitations extrêmes lorsque les séries analysées sont trop courtes. Ils montrent que cette distribution peut, dans une certaine mesure, sous-estimer sérieusement les valeurs extrêmes de pluies pour de très longues périodes de retour. Pour lever cette indétermination, il a été considéré dans cette étude, des périodes de retour inférieures à la longueur des séries chronologiques. Malgré cela, il n'y a aucun problème à considérer ces récurrences dans la détermination des événements pluvieux anormaux, très anormaux et exceptionnels.

2.4. Détermination de la saison de pluies : début, fin, longueur

Erpicum *et al.* (1988) disent que selon les critères climatiques, la saison de pluies commence au moment où la probabilité d'avoir un jour de pluie au cours d'une « pentade » (période de 5 jours) déterminée est supérieure à celle d'avoir un jour sec appartenant à un épisode de plus de sept jours. Dans le même ordre d'idées, la fin de la saison de 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 ». Cette méthode a été développée au Sénégal avant d'être appliquée au Niger (Ozer, 1993 ; Ozer et Erpicum, 1995). Ozer *et al.* (2009) ont indiqué qu'au moment où la saison de 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 de pluies, nommée amplitude de la saison de pluies. Selon Sivakumar (1987), le début de la saison de pluies correspond à la date où l'on observe un cumul pluviométrique de

20 mm de pluies qui sont recueillis dans trois jours consécutifs, sans période sèche supérieure à sept jours dans les trente jours qui suivent. La fin de la saison de pluies est fixée au jour où, il n'y a plus de pluies durant une période de 20 jours. Cette méthode a été développée avec des séries chronologiques des stations sahéliennes et soudanaises. Selon Stern *et al.* (1981), le début de la saison de pluies est évident 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 pluies durant une période de 15 jours. Pour les trois méthodes, la longueur de la saison de pluies est la différence en jours entre les dates de fin et de début des pluies. Pour éviter d'éventuelles variations qui pourraient provenir de la prise en compte de petites pluies, seules les pluies journalières \geq 1 mm sont considérées.

2.5. Estimation de la récurrence des événements pluvieux extrêmes

Pour confronter les pluies érosives et leur exceptionnalité, les valeurs caractérisant les précipitations « anormales » (période de retour de 6 ans), « très anormales » (10 ans), « exceptionnelles » (30 ans) et « très exceptionnelles » (100 ans) seront recherchées selon la loi de Gumbel (1958).

2.6. Enquêtes sur les impacts relatifs aux activités agricoles

Dans l'hinterland de la ville de Kinshasa où se pratiquent les activités agricoles, une enquête a été conduite auprès des agriculteurs. L'objectif de cette enquête était de découvrir si les paysans avaient remarqué des signes sinon des preuves d'un changement climatique qui se serait traduit sur la pluviosité, le début et la durée de la saison de pluies, sur le rendement agricole. Toutes les deux cents personnes enquêtées dont 60 % des femmes et 40 % des hommes pratiquent l'agriculture comme activité principale génératrice des revenus.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Evolution des précipitations saisonnières par rapport à la normale pluviométrique et spécificités des zones d'observation

Les précipitations ont été généralement faibles durant les deux premières décennies des observations à Kinshasa Ouest, soit de 1961 à 1980 puis, elles se sont relevées depuis lors, malgré quelques années exceptionnelles dans les deux cas (Figure 2). La courbe de tendance montre une situation d'une faible augmentation par rapport à la normale. Toutefois, les études antérieures dans la région ont conclu sur une augmentation statistiquement non significative (Makanzu Imwangana, 2014).

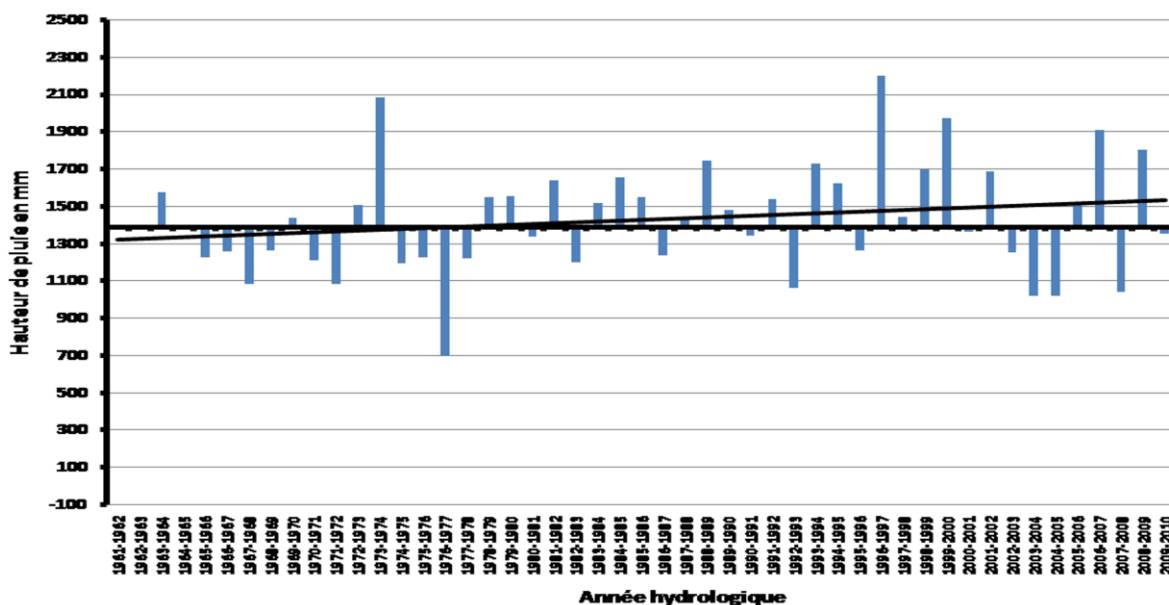


Figure 2. Evolution des précipitations annuelles exprimée en fonction de la normale pluviométrique (1389 mm, 1961-1990) à Kinshasa/Binza de 1961 à 2010

A l'Est de la ville de Kinshasa, la situation montre une augmentation très nette ces deux dernières décennies (**Figure 3**) malgré l'inflexion de la dernière année comme à Kinshasa Ouest. Mais dans le cas de l'Est, les pluies sont généralement abondantes les quinze premières années et ont connu une décroissance dès lors jusqu'à la fin de la troisième décennie. Comme à l'Ouest, les études précédemment menées concluent sur une augmentation des précipitations non statistiquement

significatives (Mulumba, 2002) pouvant induire des changements.

Les pluies semblent être abondantes à Kinshasa Ouest qu'à l'Est. Cette situation serait due à l'effet de foehn que subit l'Ouest de Kinshasa notamment à la station de Kinshasa/Binza. Les pluies sont vraiment moins abondantes avant la bidécennie 1961-1980 dans l'ensemble de la ville et ce, à partir de 1973-1974 que des précipitations ont augmenté.

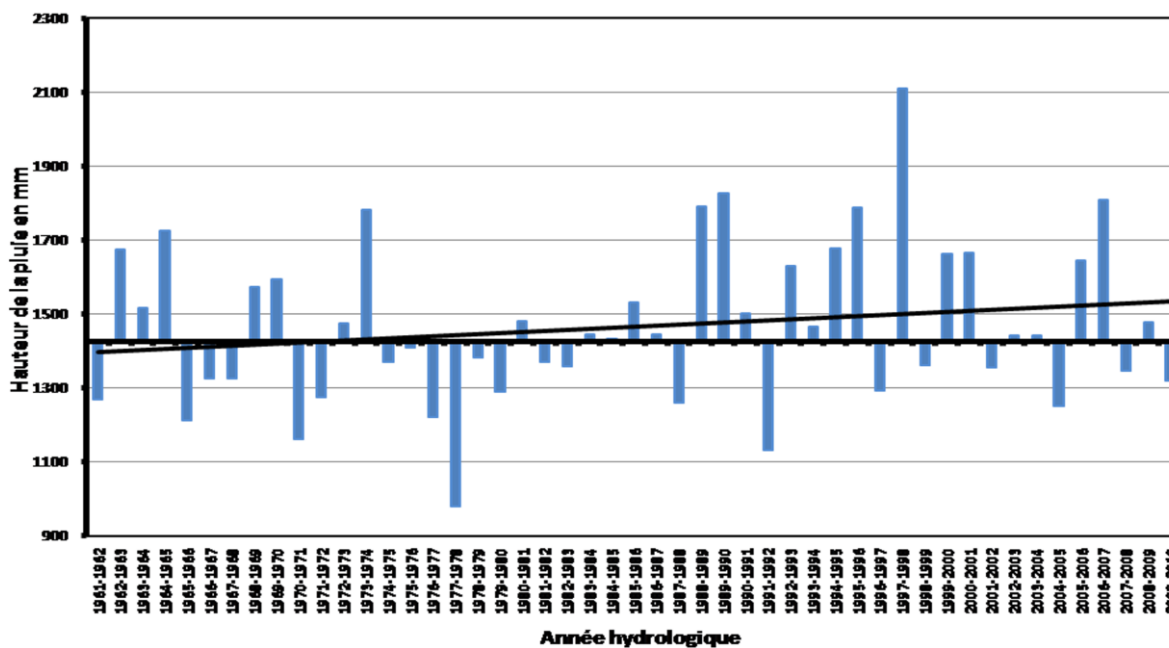


Figure 3. Evolution des précipitations annuelles exprimée en fonction de la normale pluviométrique (1426 mm, 1961-1990) à Kinshasa/N'djili de 1961 à 2010

3.2. Tendances des indices pluviométriques et analyse des variations temporelles

Pour les tendances des indices de pluies, les seuils calculés à partir des percentiles sont 57,2 ; 85,2 et 97,0 mm à Kinshasa/Binza et 56,0 ; 84,4 et 100,6 mm à Kinshasa/N'djili respectivement pour définir une journée très humide, une pluie extrême et une pluie très extrême. Sur les 17 indices analysés, neuf sont à la baisse et huit ont une tendance à la hausse à Kinshasa/N'djili tandis que quatre sont à la baisse, 12 à la hausse et un indice qui serait constant à Kinshasa/Binza. Deux indices sont en baisse dans les deux stations, il s'agit de Jours humides consécutifs et de la pluie maximale quotidienne. Les autres indices en baisse sont le jour de pluies, les jours secs consécutifs, la pluie maximale en 5 jours, la Pluie maximale en 30 jours, les Fréquences des pluies extrêmes et des pluies très extrêmes, l'Intensité des pluies extrêmes pour Kinshasa/N'djili. Il y a la Fréquence des pluies supérieures ou égales à 50 mm, l'Intensité des pluies très extrêmes pour Kinshasa/Binza. La pluie maximale en 5 jours a une tendance presque constante à Kinshasa/Binza. Pour

ce qui est de la tendance croissante, six indices évoluent de la même manière dans les deux stations, il s'agit de la précipitation totale annuelle, de la lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie SDII, des Fréquences des pluies supérieures ou égales à 10 mm et 20 mm, de la Fréquence des pluies intenses, de l'Intensité des pluies intenses. Les autres indices qui marquent une tendance haussière sont la Fréquence des pluies supérieures ou égales à 50 mm et l'Intensité des pluies très extrêmes à Kinshasa/N'djili. À Kinshasa/Binza, on a le Jour de pluie, les Jours secs consécutifs, la Pluie maximale en 30 jours, les Fréquences des pluies extrêmes et très extrêmes ainsi que l'Intensité des pluies extrêmes. Ces indices montrent une nette démarcation entre ces deux stations en ce qui concerne la pluviogenèse dans cette région. Le nombre de jours de pluie semble être généralement constant à l'Est de la ville (Figure 4), un peu plus faible à l'Ouest (Figure 5) par rapport à leurs normales mais ça se relève depuis trois décennies à l'Ouest.

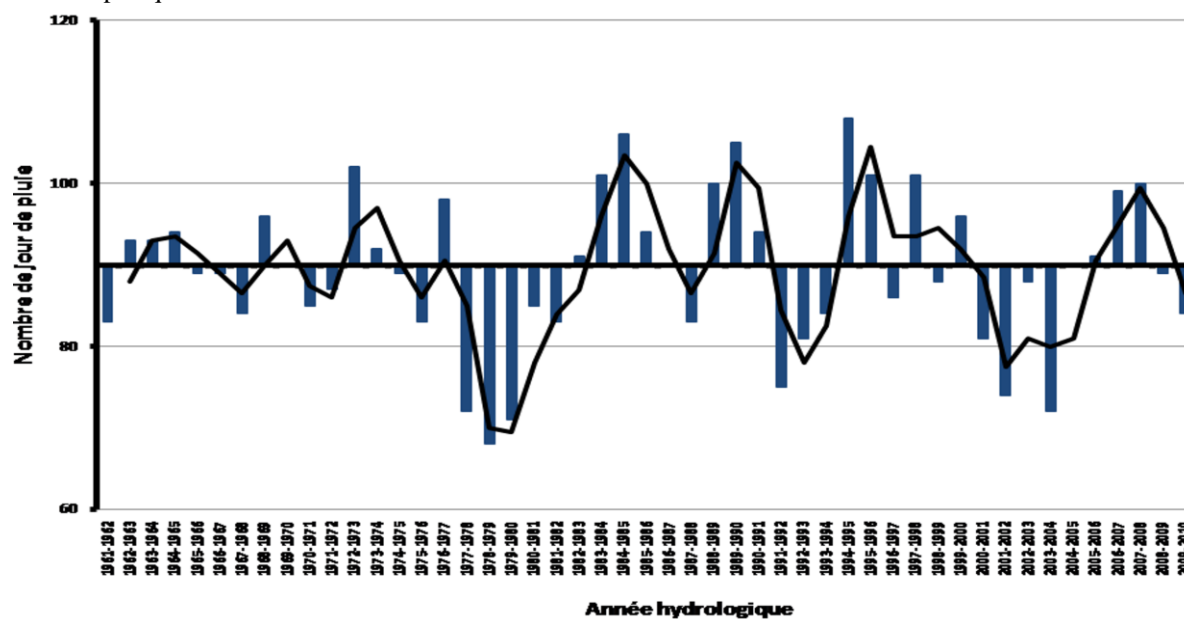


Figure 4. Evolution du nombre de jours de pluies (JP) à Kinshasa/N'djili de 1961 à 2010 par rapport à la normale rangée en année hydrologique (90 jours par an)

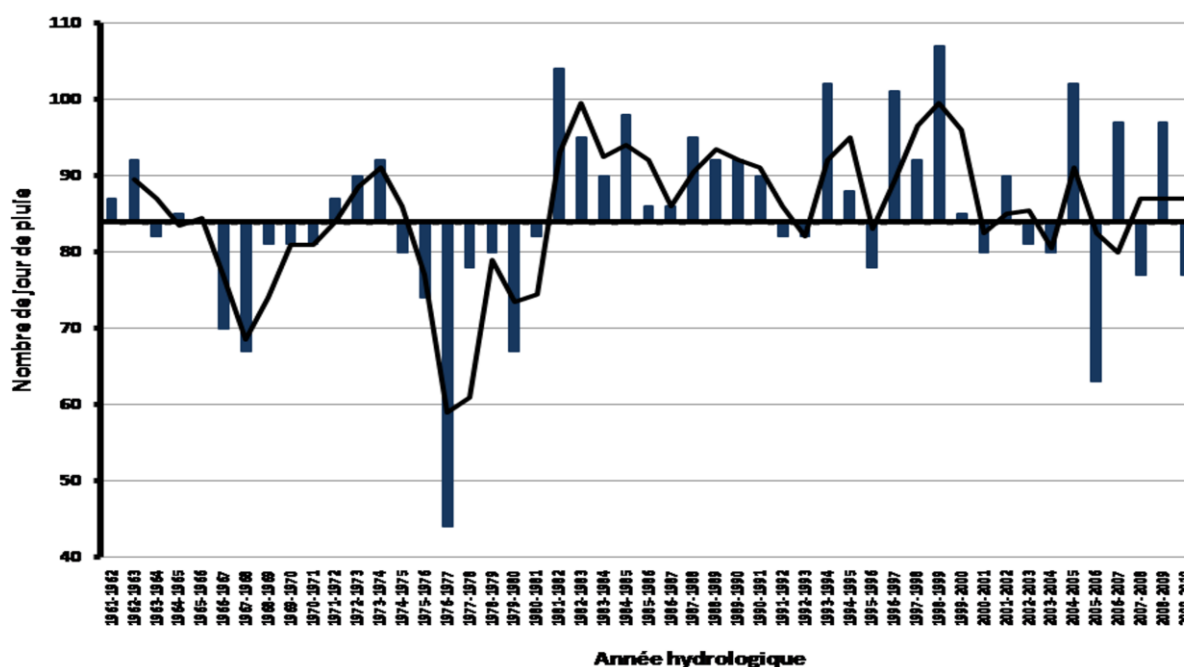


Figure 5. Evolution du nombre de jours de pluies (JP) à Kinshasa/Binza de 1961 à 2010 par rapport à la normale rangée en année hydrologique (84 jours par an)

Il est connu que l'Est de Kinshasa subit les influences pluviogénétiques de l'alizé du NW des régions proches de l'équateur pendant que le secteur Ouest subit de plein fouet les influences de la subsidence de l'orographie de Mbanza-Ngungu, en plus du courant marin froid de Benguela qui balaie la région du Kongo central et y apporte la sécheresse. Ainsi, il pleut plus dans la partie Est de la ville qu'à l'Ouest. La sécheresse qu'il y a eu dans la région de Mbanza-Ngungu (Makanzu Imwangana *et al.*, 2015) s'est faite sentir jusqu'ici car on remarque dans les deux stations de Kinshasa qu'il y avait très peu de pluie à la fin de la décennie 1970.

Néanmoins, il se dégage qu'aucun de ces indices n'a une tendance évolutive qui soit statistiquement significative au point d'induire des changements sur l'érosivité des pluies et/ou l'érodabilité des sols sans qu'il y ait une dégradation du paysage (Tableau 2). La baisse du nombre de jours de pluies qui serait souvent significative dans certaines régions de

l'Afrique (Daouda *et al.*, 1998 ; Sane *et al.*, 2008 ; Frappart *et al.*, 2009 ; Lebel & Ali, 2009 ; Ozer *et al.*, 2010) ne l'est pas à Kinshasa qui présente au contraire des valeurs légèrement croissantes. Tous les autres paramètres physiques et morphométriques de la région restant inchangés au cours de la moitié du siècle dernier, les causes de l'érosion ravinante dans ce paysage sont à rechercher également dans le changement de l'utilisation des sols. En effet, il suffit d'une ou de deux pluies de longue durée – sans même être intenses qui tomberaient sur une surface nue et imperméable pour qu'elles occasionnent du ruissellement (Moeyersons *et al.*, 2015). Dans le cas d'espèce, cette concentration de ruissellement sur les versants sableux, bien qu'à faible pente, qui a provoqué l'érosion ravinante. Ainsi, il advient qu'il y ait des catastrophes même avec peu de pluies dès qu'elles tombent sur un environnement dégradé et même de faible pente.

Tableau 2. Caractéristiques et tendances linéaires de 17 indices des pluies dans la ville de Kinshasa de 1961 à 2010

Indices des pluies	Unités	N'Djili			Binza		
		Moyennes ± écart- type	p- niveau	Valeur de a	Moyennes ± écart- type	p- niveau	Valeur de a
PTOT	[mm]	1474± 242	0,19	3,1832	1434 ±264	0,11	4,1526
JP	[jours]	90 ± 10	0,94	- 0,0081	86 ± 12	0,13	0,1784
SDII	[mm/jour]	16 ± 2	0,05	0,0403	17 ± 2	0,60	0,0129
JCP	[jours]	6 ± 2	0,50	- 0,0116	5 ± 2	0,73	- 0,0059
JCS	[jours]	82 ± 26	0,90	0,0388	87 ± 25	0,21	0,3053
Px1J	[mm]	95 ± 24	0,80	- 0,0701	98 ± 29	0,69	- 0,1161
Px5J	[mm]	148 ± 30	0,72	- 0,1111	147 ± 36	0,91	0,0407
Px30J	[mm]	375 ± 65	0,85	- 0,1246	380 ± 86	0,43	0,6695
P10mm	[jours]	44 ± 7	0,05	0,1281	42 ± 8	0,03	0,1652
P20mm	[jours]	25 ± 5	0,11	0,0781	25 ± 5	0,10	0,0869
P50mm	[jours]	6 ± 2	0,11	0,0366	6 ± 3	0,99	- 0,0003
P95p	[jours]	5 ± 2	0,40	0,051	4 ± 2	0,85	0,008
P99p	[jours]	1 ± 1	0,65	0,011	1 ± 1	0,27	- 0,004
P99,5p	[jours]	0,4 ± 1	0,53	-0,002	0,4 ± 1	0,92	0,012
P95pSOM	[mm]	343 ± 144	0,47	3,228	329 ± 158	0,95	1,075
P99pSOM	[mm]	98 ± 109	0,60	- 0,55	91 ± 103	0,33	1,354
P99,5pSOM	[mm]	55 ± 73	0,56	1,315	51 ± 86	0,97	-0,328

3.3. Durée de la saison des pluies et variabilité interannuelle

A l'Ouest de la ville de Kinshasa, la saison de pluies commence plus tôt avec la méthode d'Erpicum *et al.* (1988) (Figure 6) qu'avec les deux autres méthodes (Figures 7 et 8). Tandis que la fin de la saison est plus tôt avec les méthodes de Sivakumar (1987), (Fig.7) et de Stern *et al.* (1981), (Fig.8) qu'avec Erpicum *et al.* (1988) (Figure 6). Ce qui fait que la saison de pluies est plus courte avec les méthodes de Sivakumar (1987) et de Stern *et al.* (1981) puisqu'elle débute plus tard et se termine plus tôt. Les deux dernières méthodes sont plus proches que celle d'Erpicum *et al.* (1988).

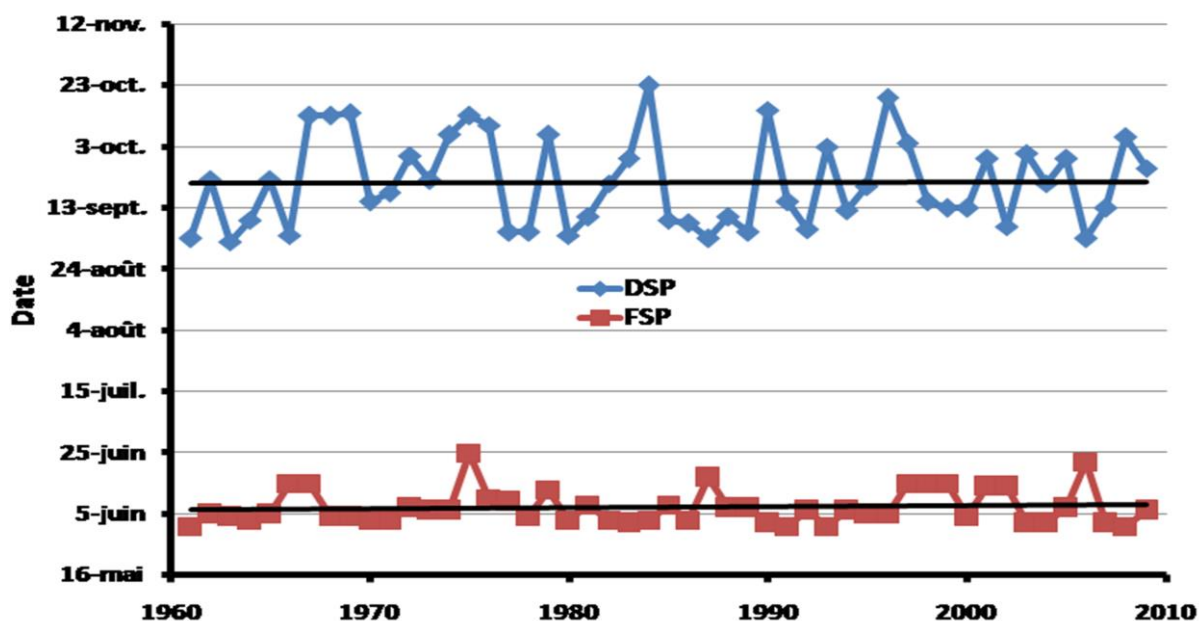


Figure 6. Durée de la saison de pluies à Kinshasa/Binza de 1961 à 2010 selon la méthode d'Erpicum *et al.* (1988)

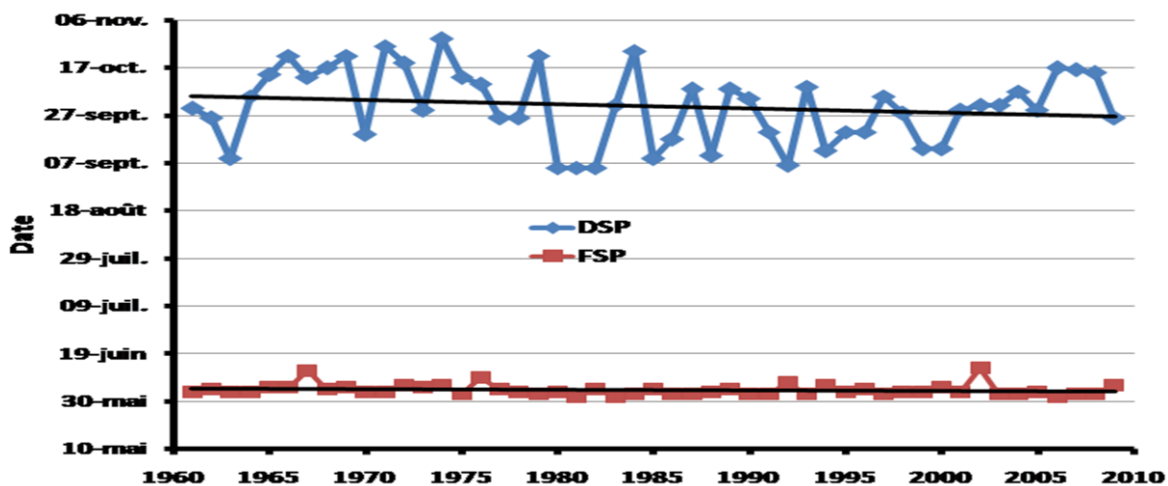


Figure 7. Durée de la saison de pluies à Kinshasa/Binza de 1961 à 2010 selon la méthode selon Sivakumar (1987)

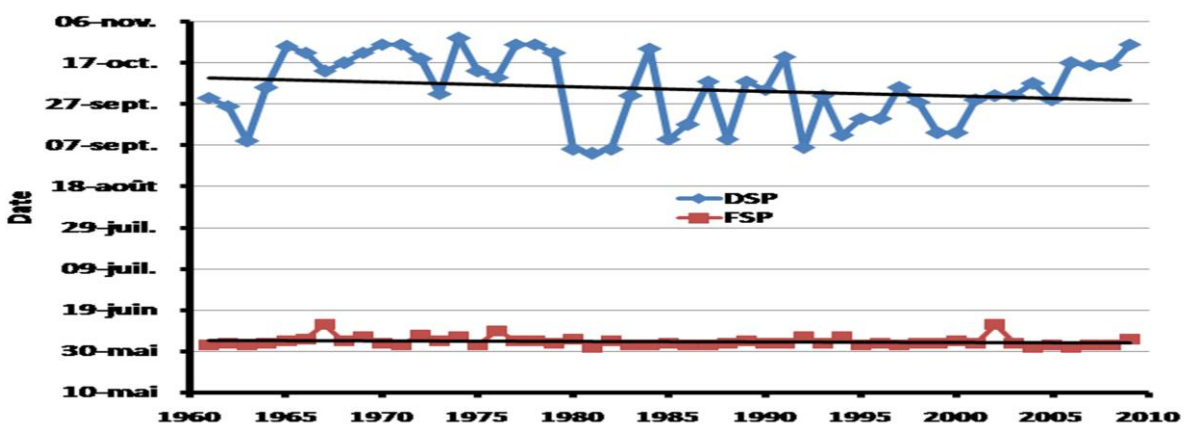


Figure 8. Durée de la saison de pluies à Kinshasa/Binza de 1961 à 2010 selon la méthode de Stern et al. (1981)

Dans cette zone, la méthode qui serait plus réaliste pour déterminer la saison de pluies est plus proche d'Erpicum *et al.* (1988) pour la date de début et Stern *et al.* (1981) pour la date de la fin. Ce qui revient à dire que la saison de pluies commence au moment où la probabilité d'avoir un jour de pluie au cours d'une « pentade » (période de 5 jours) déterminée est supérieure à celle d'avoir un jour sec appartenant à un épisode de plus de sept jours. La fin de la saison de pluies peut être déclarée lorsqu'il n'y a plus de pluies durant une période de 15 jours.

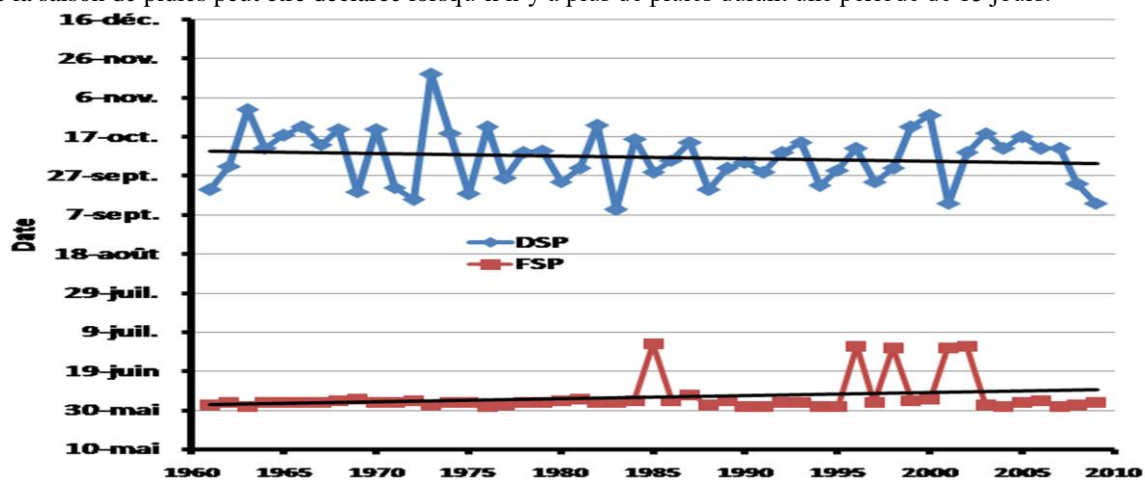


Figure 9. Durée de la saison de pluies à Kinshasa/N'djili de 1961 à 2010 selon la méthode d'Erpicum *et al.* (1988)

A Kinshasa Est, la saison de pluies commence plus tard qu'à l'Ouest (Figure 9) selon la méthode

d'Erpicum *et al.* (1988). Aussi, les deux autres méthodes donnent toujours les mêmes résultats pour

la date de début de la saison de pluie et à quelques exceptions près, pour la date de la fin (Figures 10 et 11). D'une manière générale, la pluie commence exactement aux mêmes dates (Figures 9 et 11) et la

longueur de la saison de pluies est la même selon les trois méthodes.

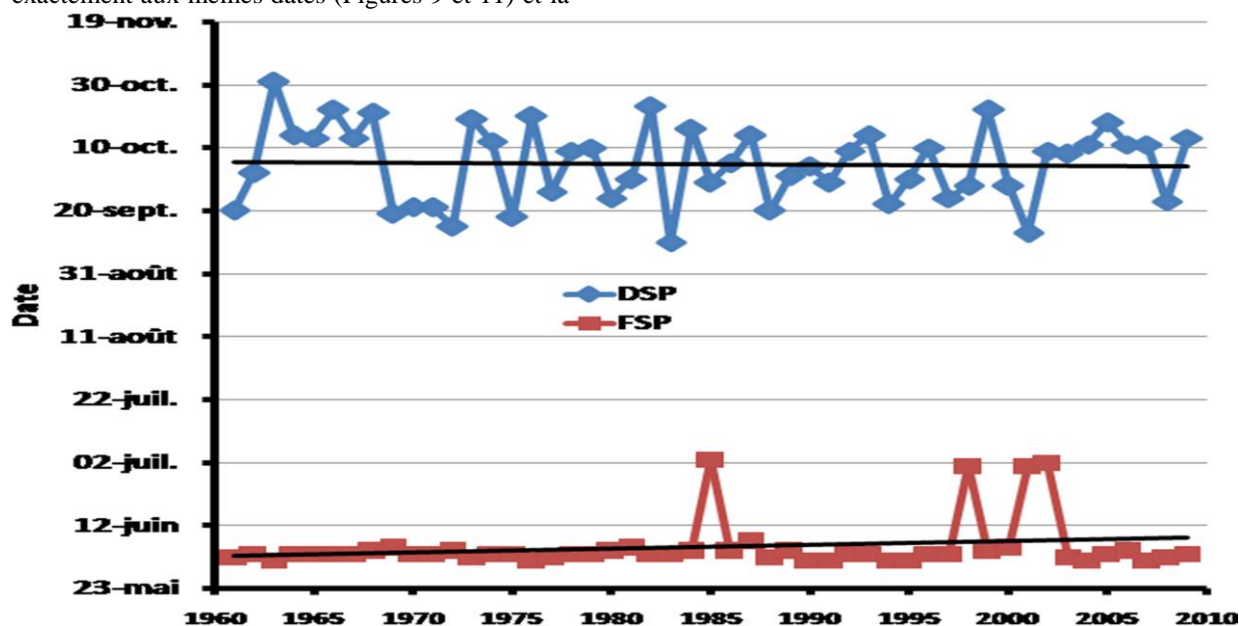


Figure 10. Durée de la saison de pluies à Kinshasa/N'djili de 1961 à 2010 selon la méthode de Sivakumar (1987)

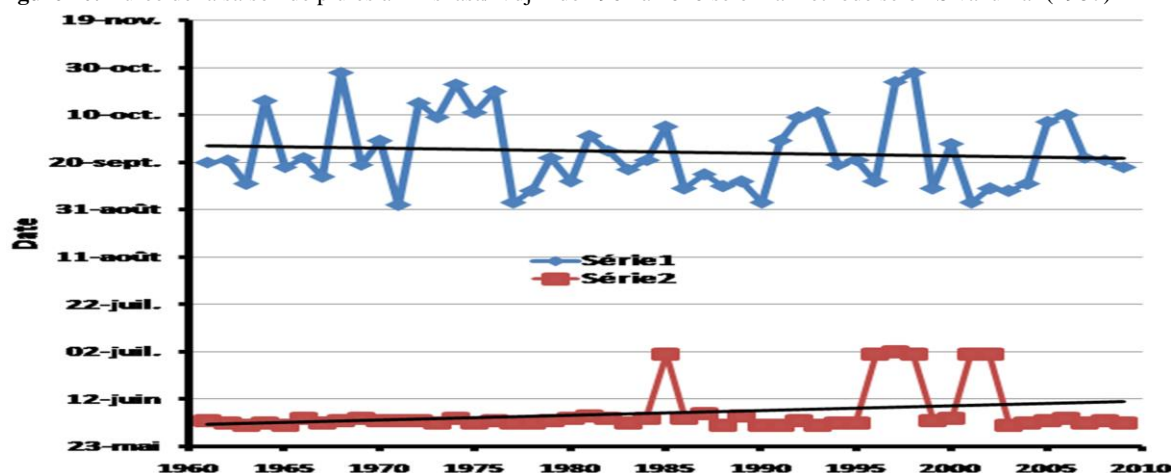


Figure 11. Durée de la saison de pluies à Kinshasa/N'djili de 1961 à 2010 selon la méthode de Stern et al. (1981)

3.4. Récurrence des événements pluvieux extrêmes dans la région de Kinshasa

Les valeurs caractérisant les précipitations « anormales » (période de retour de 6 ans), « très anormales » (10 ans), « exceptionnelles » (30 ans) et « très exceptionnelles » (100 ans) sont respectivement de 117, 127 ; 149 et 172 mm à Kinshasa/N'djili (Figures 12A et B) et respectivement de 124, 136, 162 et 190 mm pour Kinshasa/Binza (Figures 13A et B).

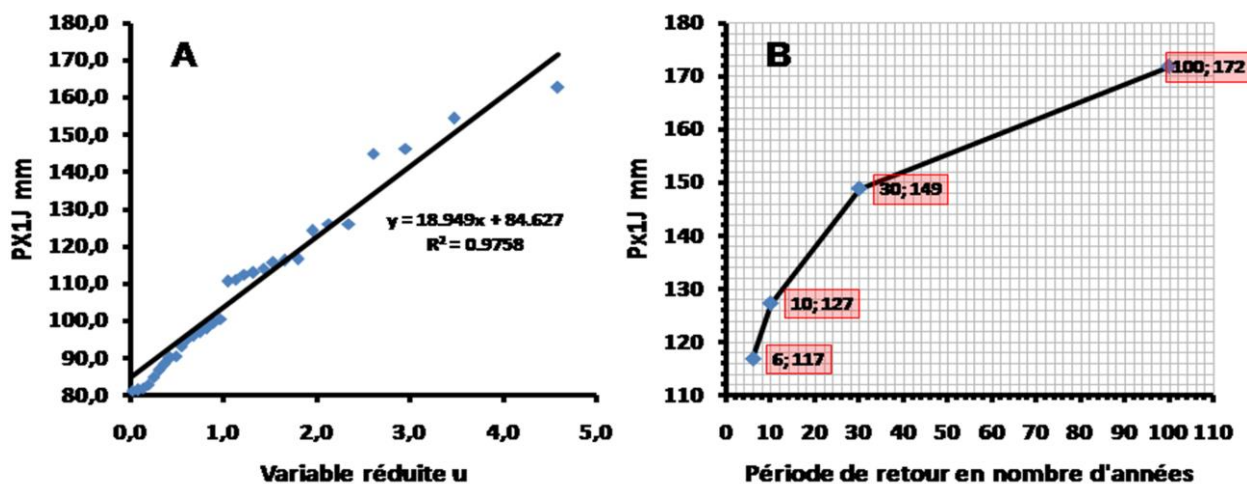


Figure 12A. Analyse fréquentielle des pluies extrêmes à Kinshasa/N'djili. Figure 12B: Ajustement des pluies extrêmes à Kinshasa/N'djili par la méthode de Gumbel (1958)

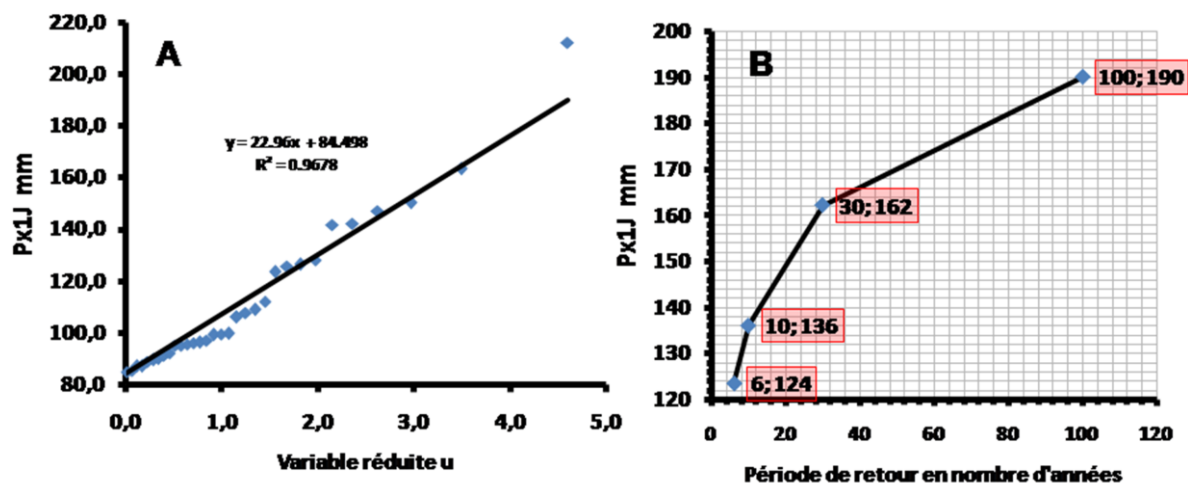


Figure 13A : Analyse fréquentielle des pluies extrêmes à Kinshasa/Binza. Figure 13B: Ajustement des pluies extrêmes à Kinshasa/Binza par la méthode de Gumbel (1958)

Au terme de l'analyse de la pluviosité de la région, il vient d'être consolidé le fait que même les faibles pluies y créent des catastrophes. Et la situation s'empire dès que la lame d'eau augmente. Par exemple, pour la station de Kinshasa/Binza, où l'occurrence de l'érosion ravinante est plus prononcée qu'à l'Est, une pluie anormale y est d'environ 124 mm. Or, la pluie catastrophique de 96,7 mm tombée le 20 mai 1990 y produit des dégâts importants. La situation s'empire évidemment en cas d'une pluie plus abondante. C'était notamment le cas de la pluie du 17 mai 2001 qui a endeuillé la ville avec la mort de 33 personnes et une vingtaine des disparus (Kodiawila, 2009). Cette pluie avait déversé 212 mm ; cette hauteur marque un temps de retour d'environ 260 ans ; la pluie séculaire et donc, très exceptionnelle, est de 190 mm dans cette partie de la ville.

3.5. Pré-évaluation des impacts du démarrage de la saison des pluies dans le secteur agricole

En RDC en général et la région de Kinshasa en particulier connaissent une agriculture essentiellement pluviale jusqu'à une proportion de 70 %. Le constat fait après l'analyse des données pluviométriques de la période allant du 1^{er} janvier 1961 au 31 décembre 2010 montre que certaines années sont caractérisées par le retour tardif des pluies à Kinshasa. Cette situation serait à la base de la perturbation du calendrier agricole. L'instabilité

interannuelle de pluies pose des problèmes pour la planification des activités agricoles.

Les résultats de l'enquête menée montrent que 94 % d'agriculteurs affirment percevoir un changement climatique dans la région. Ils constatent une certaine perturbation de saisons qui se fait sentir sur les dates de démarrage et de fin de la saison de pluies lors de leurs activités agricoles. En effet, seuls 6 % de personnes enquêtées pensent qu'il n'y a pas perturbation de saisons. Aussi, 97 % affirment s'accoutumer au changement climatique parce qu'ils constatent qu'il pleut rarement mais abondamment et

qu'il y ait aussi une augmentation de la chaleur. Les pluies ne commencent pas normalement et prennent fin tardivement. Les femmes pratiquant l'agriculture principalement (70 %) d'entre elles, évaluent entre 25 et 50 % la baisse de rendement ou la perte due aux changements climatiques dans l'hinterland de Kinshasa. Elles pensent que cette baisse serait due au manque de fertilité du sol, à des fortes pluies et à l'ensoleillement intense. Dans la région, non seulement qu'on constate une certaine rareté des pluies et de la baisse de la productivité agricole, mais il y a aussi des tempêtes de sables et des épisodes de sécheresse. Malheureusement, il est difficile de confirmer à ce stade que ces faits soient les conséquences immédiates du changement climatique sans se poser les questions sur la part probable de la qualité des semences, du sol, de courtes périodes de jachère, de la culture itinérante sur brûlis, etc. Ainsi, il serait mieux que les observations et analyses soient poursuivies encore dans les décennies qui viennent afin de donner une explication plus plausible entre les perceptions des paysans et les résultats scientifiques.

En effet, si les semis s'effectuent à la période de floraison sans qu'il y ait suffisamment d'eau, par conséquent, il y aura une baisse sensible de rendement agricole. Par contre, lors d'une saison de pluies hâtive, il y a une tendance à rallonger la saison qui induit des conséquences pendant la maturation de fruits qui demandent moins d'eau. Plus d'eau entraîne une pourriture de fruits ou de grains. Aussi, une saison de pluies hâtive qui ne s'installerait pas dans la durée, et qui amènerait les agriculteurs à semer plus tôt que d'habitude, entraîne la mort des semences et ainsi l'insécurité alimentaire.

Par ailleurs, les résultats de cette enquête révèlent qu'une pluie légère mouille les sols dans l'hinterland de Kinshasa ; une pluie utile y crée le ruissellement. Tandis que la pluie orageuse crée l'érosion des sols, des glissements de terrain dans les amphithéâtres de sources et la cassure des branches d'arbres. Pourtant, les prévisions indiquent que les pluies subiront une augmentation en termes de leur hauteur et de leur intensité, ce qui amplifierait la situation catastrophique dans cette région.

4. CONCLUSION

La présente étude a été consacrée à l'analyse de la variabilité interannuelle et décennale des dates de début, de fin et la longueur de la saison de pluies à partir de deux séries chronologiques dans la région de Kinshasa de 1961 à 2010. Les données de pluies journalières de deux stations ; à savoir : Kinshasa/Binza et Kinshasa/N'djili ont été analysées en vue de faire sortir des tendances des certaines caractéristiques pluviométriques telles que la lame annuelle, le nombre de jours de pluies, les dates de démarrage, de fin et la durée de saison de pluies.

Des résultats obtenus, il en ressort que la courbe de tendance montre une situation d'une faible augmentation par rapport à la normale dans la zone de Kinshasa Ouest. Dans la partie Est, l'étude conclue sur une augmentation des précipitations non statistiquement significatives. Il se dégage qu'aucun des indices pluviométriques analysés n'a révélé une tendance évolutive qui soit statistiquement significative au point d'induire des changements sur la pluviosité de la région voire l'érosivité des pluies et/ou l'érodabilité des sols sans qu'il y ait une dégradation du paysage. Les pluies qui causent des dégâts ne sont pas anormales ni encore exceptionnelles mais elles tombent sur un environnement dégradé, ce qui expose le sol sans défense face au ruissellement. La baisse du nombre de jours de pluies qui serait souvent significative dans certaines régions de l'Afrique sub-saharienne ne l'est pas à Kinshasa qui présente au contraire des valeurs légèrement croissantes. Sur le plan spatial, la partie Ouest reçoit des grandes quantités de pluies que la partie Est de la ville de Kinshasa. Par contre, en termes de jours de pluies, il pleut plus à l'Est qu'à l'Ouest de la ville. Ce paradoxe trouve ses explications dans la géomorphologie de la région. Les analyses détaillées de ces 50 dernières années ont montré d'après les méthodes d'Erpicum, Sivakumar et Stern que les dates de démarrage, de fin et la durée de la saison de pluies sont en variation dans la région de Kinshasa. En ce qui concerne le démarrage de la saison de pluies, la méthode d'Erpicum qui indique que la saison de 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 de plus de sept jours, est proche de Kinshasa. La fin de la saison de pluies peut être déclarée lorsqu'il n'y a plus de pluies durant une période de 15 jours, ce qui est proche de la méthode de Stern. Le début annuel des pluies à Kinshasa est donc variable. Elles débutent tantôt tardivement au mois d'octobre, tantôt précocement au mois de septembre. Cette situation d'instabilité de démarrage de la saison de pluies perturbe la planification d'activités agricoles dans la région.

L'approche méthodologique utilisée a permis d'obtenir des résultats qui pourraient être pris en compte dans la prévision météorologique appliquée au secteur agricole afin d'élaborer des calendriers agricoles dynamiques. La déconnexion entre l'analyse statistique qui ne montre pas de changement significatif en termes de précipitations, et la perception qu'en ont les agriculteurs (94 % affirment percevoir un changement climatique), est peut-être une piste à creuser dans l'avenir ?

Références

- Aguilar A., Aziz Barry A., Brunet M. *et al.*, 2009. Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry and Zimbabwe, 1955-2006. *Journal of Geophysical Research*, 114, 11p. DO2115. doi:10.1029/2008JDO11010, 2009.
- Bultot F., 1971. *Statistiques des pluies intenses en un point dans une aire du Congo belge et du Ruanda – Urundi*. B.C.C.V 11, Bruxelles, 136 p.
- 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, pp. 497-506.
- De Saint Moulin, L., 2001. Evolution de la population urbaine de la RDC. In: *Actes du Séminaire national de concertation sur le plan d'action national pour l'habitat*. PNUD/CNUEH-Habitat, Ministère des TPAT-UH, pp. 31-48.
- Easterling D.R., Diaz H.F., Douglas A.V. *et al.*, 1999. Long-term observations for monitoring extremes in the Americas. *Climatic Change*, 42, 285-308.
- Erpicum M., Binard M., Peters J.P. & Alexandre J., 1988. *Une méthode d'analyse des géographiques*. Liège, Université de Liège, 193 p.
- Frappart F., Hiernaux P., Guichard F. *et al.*, 2009. Rainfall regime across the Sahel band in the Gourma region, Mali. *Journal of Hydrology*, 375, pp.128-142.
- GIEC, 2007. *Equipe de rédaction, R. K. Pachauri et A. Reisinger, Changement Climatique 2007 : Rapport synthèse*. Contribution des Groupes de Travail I, II et III au Quatrième Rapport d'évaluation du Groupe Intergouvernemental d'Experts en Changement Climatique, GIEC, Genève, Suisse, 168 p.
- GIEC, 2013. *Changement Climatique 2013. Les Bases des Sciences Physiques*. Contribution du Groupe de Travail I au Cinquième Rapport d'évaluation du Groupe Intergouvernemental d'Experts en Changement Climatique, GIEC., Genève, Suisse. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>, 222 p.
- 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.
- Gumbel E.J., 1958. *Statistics of extremes*. Columbia University Press, New York.
- Haylock M.R., Peterson T., Abreu de Sousa J.R. *et al.*, 2006. Trends in total and extreme South American rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of climate*, 19, pp.1490-1512.
- Hountondji Y.C., De Longueville F. & Ozer P., 2011. Trends in extreme rainfall events in Benin (West Africa), 1960-2000, in, "Proceedings of the 1st International Conference on Energy, Environment and Climate Change, August 26-27, 2011, Ho Chi Minh City, Vietnam, 7 p. <http://hdl.handle.net/2268/96112>
- Kayembe M., De Maeyer M. & Wolff EL., 2012. The Mapping of the urban growth of Kinshasa (DRC) through high resolution remote sensing between 1995 and 2005. In: Boris Escalante-Ramirez (Ed.). *Remote Sensing - Applications*. In Tech, pp. 463-478. ISBN 978-953-51-0651-7
- Kayembe M., De Maeyer M. & Wolff EL., 2009. Cartographie de la croissance urbaine de Kinshasa (RD. Congo) entre 1995 et 2005 par télédétection satellitaire à haute résolution. *Belgeo*, 3(4), 439-455.
- Kikufi B.A. & Lukoki F.L., 2008. Etude floristique et écologique des marais de Masina. *Revue congolaise des sciences nucléaires*, 23, 1-20.
- Kodiawila Y., 2009. Analyse par hydrogramme unitaire des crues dévastatrices du bassin versant de Lubudi/Makelele à Kinshasa. In *Rapport général des travaux commémoratifs de la journée mondiale de la Science au service de la paix et du développement durable tenue à Kinshasa du 10 au 13 novembre 2009*, 5 p.
- Lebel T. & Ali A., 2009. Recent trends in the Central and Western Sahel rainfall regime (1990-2007). *Journal of Hydrology*, 375, 52-64.
- Lelo NZ.F. & Tshimanga MB.C., 2004. *Pauvreté urbaine à Kinshasa*. La Haye, éd. Cordaid, 166 p.
- Makanzu Imwangana F., 2014. *Etude de l'érosion ravinante à Kinshasa. Dynamisme pluvio-morphogénique et développement d'un outil de prévision*. Thèse de doctorat en sciences, Université de Kinshasa, 193 p.
- Makanzu Imwangana F., Vandecasteele I., Ozer P., Trefois P. & Moeyersons J., 2015. The origin and control of mega-gullies in Kinshasa (DR. Congo). *Catena*, 125, 38-49. DOI 10.1016/j.catena.2014.09.019
- Manton M.J., Della-Marta P.M., Haylock *et al.*, 2001. Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pasific: 1961-1998. *International Journal of Climatology*, 21, 269-284.
- Moeyersons J., Makanzu Imwangana F. & Dewitte O., 2015. Site-and rainfall-specific runoff coefficients and mega-gully development in Kinshasa (DR Congo). *Natural Hazards*, 79 (1), 203-233. DOI10.1007/s11069-015-1870-z.
- 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-des Sciences Hydrologiques*, 51, 239-253.
- Mulumba M., 2002. *Les inondations du bassin de la N'djili à Kinshasa (République Démocratique du Congo) : Analyse des données climatiques et photo interprétation*. Mémoire de DES, FUL, Campus d'Arlon, Belgique, 53 p.
- Naveau P., Nogaj M., Ammann C., Yiou P., Cooley D. & Jomelli V., 2005. Statistical methods for the analysis of climate extremes. *C.R. Geosciences*, 337, 1013-1022.
- New M., Hewiston B., David B. *et al.*, 2006. Evidence of trends in daily climate extremes over southern and west Africa. *Journal of Geophysical Research*, 111, D14102, doi. 10.1029/2005JD006289.

- Ntombi M.K, Yina N., Kisangala M. & Makanzu Imwangana F., 2004. Evolution des précipitations supérieures ou égales à 15 mm durant la période 1972-2002 à Kinshasa. *Rev. Congolaise des Sc. Nucl.*, 20, 30-40.
- 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. & Ercicum M., 1995. Méthodologie pour une meilleure représentation spatio-temporelle des fluctuations pluviométriques observées au Niger depuis 1905. *Sécheresse*, 6, 103-108.
- Ozer P., Hountondji Y.C. & Laminoumanzo O., 2009. Evolution des caractéristiques pluviométriques dans l'est du Niger de 1940 à 2007. *Geo-Eco-Trop*, 33, 11-30.
- Ozer P., Hountondji Y.C., Niang A.J., Karimoune S., Laminoumanzo O. & Salmon M., 2010. Désertification au Sahel: Historique et perspectives. *BSGL*, 54, pp. 69-84.
- Pain M., 1984. *Kinshasa – la ville et la cité, études urbaines*. ORSTOM/Paris. Mémoires, 267 p.
- Sahani M., Moeyersons J., Vandecasteele I., Trefois P. & Ozer P., 2012. Evolution des caractéristiques pluviométriques dans la zone urbaine de Butembo (RDC) de 1957 à 2010. *Geo-Eco-Trop*, 36, 121-136.
- 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.
- Solomon S., Qin D., Manning M. *et al.*, 2007. *Climate change 2007. The physical sciences 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.
- Tshibangu K.W.T, Engels P. & Malaisse F., 1997. Evolution du couvert végétal dans la région de Kinshasa (1960-1987) selon une approche cartographique. *Geo-Eco-Trop*, 21, 95-103.