

Changement Climatique au travers des inondations dans la ville de Bandundu (RDC).

KISANGALA M. M.^{1*}, NTOMBI K. M.¹, NKWESO M.A.²

Paper History

Received:
September 19, 2017

Revised:
November 03, 2017

Accepted:
January 17, 2018

Published:
March 30, 2018

Keywords:

Flood, Climate change,
Rainfall, Bandundu

ABSTRACT

Impact of Climate Change through Flooding in the City of Bandundu (DRC)

Since its creation in the beginning of the 1900s, the city of Bandundu was a fishing village and a transit port before becoming, in 1966, the capital of the province of Kwilu. It experiences many cases of overflowing of the Kwilu, Kwango and Kasai rivers. The morphological and topographical characteristics of this city cause floods in each rainy season. The spatial growth of this entity is closely linked to the exponential demographic growth due by the rural exodus of its population search for jobs.

Analysis of some climatic variables by statistical decision-making methods showed that rainfall at Bandundu station tends to decline. On the other hand, the floods caused by the three rivers have been amplified during the last three decades with as corollary the destruction of habitat and crops, the increase in vector and waterborne diseases, and the loss of life.

¹Département des Géosciences, Faculté des Sciences / Université de Kinshasa, B.P. KINSHASA XI

²Département de Géographie, Institut Supérieur Pédagogique de Kikwit, R.D. Congo

* To whom correspondence should be addressed.: fmodestkis@gmail.com

INTRODUCTION

Les risques naturels deviennent aujourd'hui l'une des catastrophes qui attirent l'attention et l'intérêt des chercheurs à la surface du globe. A cet effet, le risque hydrologique constitue une préoccupation majeure à cause des maladies hydriques qui s'ensuivent, notamment à travers les inondations, lesquelles s'avèrent les premiers risques naturels [BERZ, 2000 ; TCHOTSOUA, 2007 ; ADJAKPA, 2016].

Le changement climatique affectant la répartition des précipitations pourrait affecter l'environnement naturel en accentuant l'intensité ou la fréquence de certains phénomènes, particulièrement les inondations [VILLA et BELANGER, 2012].

La ville de Bandundu, située à la lisière de la forêt équatoriale et à la confluence de trois rivières, à savoir le Kasai, le Kwango et le Kwilu (Fig. 1) n'échappe pas à ce fléau ; elle est donc sujette à des inondations à chaque saison des pluies.

Les études sur le terrain révèlent que les inondations existaient depuis les années 1900 lors de la création de cette ville. Leurs conséquences qui sont la mortalité, les maladies hydriques et la destruction des cultures, de l'habitat et du matériel, expliquent les efforts qui sont aujourd'hui mis en œuvre pour analyser, comprendre et atténuer ces phénomènes [ESTUPINA, 2004 ; HOSTACHE, 2006].

L'accentuation des inondations dans la ville de Bandundu et ses environs au cours de ces trois décennies montre à suffisance qu'il y a influence de la variabilité climatique dans cette partie de la République Démocratique du Congo.

La présente étude voudrait répondre à une série de questions, à savoir, si les inondations récurrentes dans cette ville et ses environs sont l'œuvre du changement climatique et comment faire face à ces conséquences.

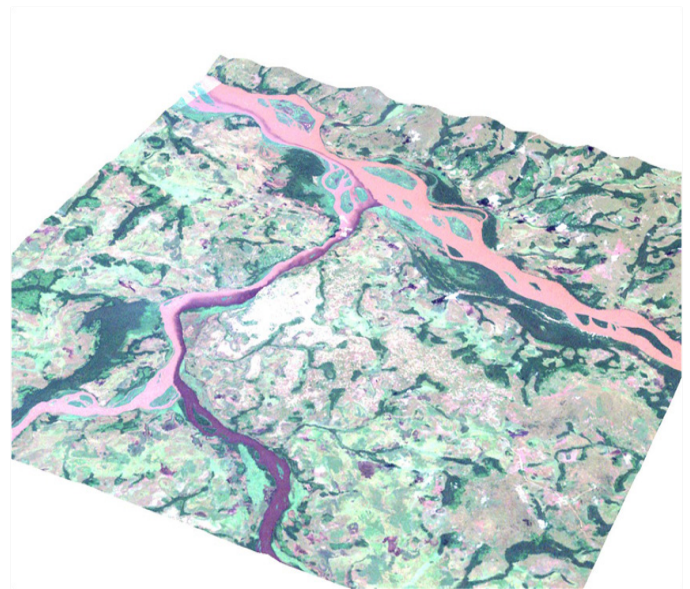


Figure 1| Vue en 3D de la confluence des trois rivières à Bandundu

La zone d'étude (Fig. 1) est circonscrite par les méridiens 17°20'E et 17°45'E et les parallèles 3°15'S et 3°23'S.

MÉTHODES

Pour réaliser la présente étude, nous avons eu recours à un certain nombre de méthodes et techniques utilisées dans la recherche scientifique.

La collecte des données

Les données climatiques de la ville ont été recueillies au service

météorologique de la ville situé dans l'enceinte de la RVA (Régie des Voies Aériennes), et donc à l'aéroport. Cette station météorologique est dotée d'instruments de type moderne, appartenant à la METTELSAT.

Les données ainsi obtenues permettent de voir l'évolution du climat durant les 3 décennies et d'évaluer le risque d'inondation dans la ville de Bandundu.

Ces données vont aussi permettre une analyse statistique aux fins d'établir leurs tendances.

Enquête sur le terrain et l'observation directe

L'enquête sur le terrain a consisté à faire une descente sur notre milieu d'investigation et plus particulièrement sur les sites inondables de la ville.

Cette démarche a permis d'observer de plus près le phénomène à étudier. Cela a permis aussi d'entrer en contact avec les habitants qui vivent dans ces zones inondables.

RÉSULTATS

L'analyse des données des précipitations s'avère nécessaire car elles influent sur les crues des rivières et sur les risques hydrologiques, notamment les inondations. De l'analyse des données pluviométriques, il se dégage le graphique de la **Figure 2** :

La **Figure 2** laisse paraître une évolution en dents de scie qui montre une alternance entre deux années hydrologiques, et la

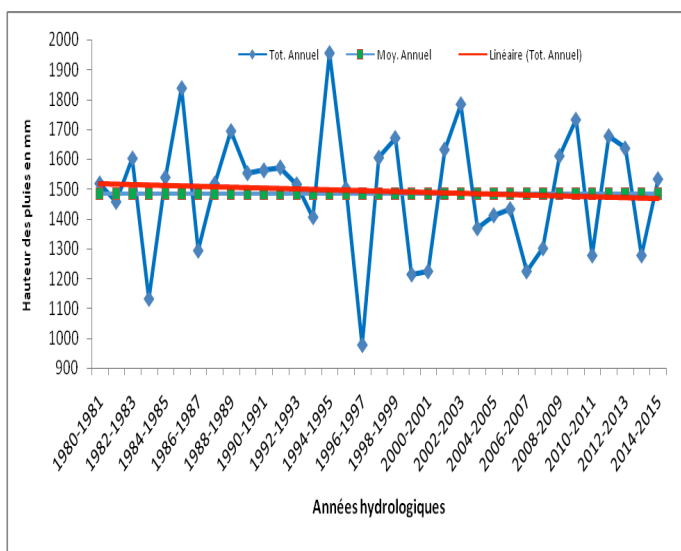


Figure 2| Evolution de la pluviométrie annuelle à la station de Bandundu de 1980-2015

courbe de tendance accuse une légère baisse de la pluviométrie. La décennie de 1980-1981 à 1989-1990 a connu des pluies abondantes. Les hauteurs de pluies ont varié entre 1800mm et 1100mm avec un pic de 1838,3 mm en 1985-1986. La deuxième décennie de 1990-1991 à 1999-2000 présente un pic de 1955,8 mm d'eau en 1994-1995 et l'année la moins pluvieuse de toutes les trois décennies (1996-1997) avec 977,2mm. Elle a d'ailleurs été déclarée année des incendies par l'Organisation Mondiale de Météorologie. La troisième décennie de 2000-2001 à 2009-2010 et la dernière en cours (2010-2019) connaissent une nette diminution de la pluviométrie avec une prédominance des hauteurs des pluies en deçà de la moyenne annuelle calculée et de la normale de la station de Bandundu qui est de 1600mm [KISANGALA, 2014 ; BULTOT, 1971]. Pour les trois décennies, l'année la plus humide correspond à 1994-1995 qui a atteint un total pluviométrique de 1955,8mm.

L'évolution générale des pluies dénote aussi une tendance à la baisse de la pluviométrie au fil de ces trente-cinq ans comme l'indique la courbe de tendance à la moyenne ajustée sur la **Figure**

2. Pour confirmer ou infirmer cette assertion tendancielle de la baisse des pluies à la station de Bandundu, nous avons fait appel à un test statistique.

Test statistique

Cette approche sera particulièrement appliquée sur la statistique décisionnelle. Dans cette optique, on a eu à recourir à des tests statistiques rien que pour la détermination de la région critique. Cette détermination se fait sans connaître le résultat de l'expérience, et donc à priori. Le test statistique est aussi un moyen rationnel de trancher un problème en optant pour une décision par rapport à une autre, et ce, en connaissance du risque encouru [KISANGALA, 2014 ; SAPORTA, 1990, DUBREUIL, 1974]. Pour tester l'évolution pluviométrique, nous considérons deux hypothèses :

- la première est H_0 , l'hypothèse nulle qui stipule que la distribution de la pluviométrie à la station de Bandundu n'a pas connu un changement significatif depuis 35 ans ;
- la deuxième est H_1 , l'hypothèse alternative qui dit le contraire.
- Nous avons choisi le test de Laplace-Gauss (L.G.) ou loi normale qui est un outil indispensable à l'analyse et à l'interprétation des données obtenues par l'observation ou l'expérience [SAPORTA, 1990 ; DONALD et al. 1992 ; KISANGALA, 2014].

Pour analyser ces données, nous considérons :

- H_0 : la normale ($\mu=1600\text{mm}$) établie par BULTOT en 1971;
- La moyenne calculée de 35 ans : $\bar{X}_C=1484,2\text{mm/an}$;
- L'écart-type $S = 236,7\text{mm}$.

Si H_0 est vrai, l'expérience ayant porté sur $n = 35$ est donc que : \bar{X}_C doit suivre une loi de L.G.

$$L.G.(\mu, \frac{S}{\sqrt{n}}) \text{ ou que } \bar{X}_C \in L.G.(1600, \frac{267,7}{\sqrt{35}})$$

A un seuil k qui n'a que 5 chances sur 100 d'être dépassée, En d'autres termes, on aura que

$$L.G.(\mu, \sigma) \text{ englobe } L.G.(\mu \pm \frac{S}{\sqrt{n}})$$

Avec :

- $\sigma_x = \frac{S}{\sqrt{n}}$: erreur - type de la moyenne
- $k(H_0) = \mu \pm \sigma_x * T_{\alpha/2}$
- $T_{\alpha/2}$: la valeur tabulée de la moyenne au seuil correspondant dans la loi normale réduite ($T_{\alpha/2} = 1,96$). Cette valeur tabulée est tirée de la table (A1.5bis) de la loi normale centrée réduite qui sert à déterminer les probabilités de n'importe quelle distribution normale [KISANGALA, 2014 ; SAPORTA, 1990].
- $\alpha =$ seuil de 5% ou 0,05

En comparant la moyenne calculée (1484,2mm /an) et les seuils des régions critiques de $K^+(H_0)$ 1678,6mm et $K^-(H_0)$ 1521,4 mm, nous constatons que est de loin inférieur à $K(H_0)$, donc nous sommes enclin à retenir H_1 qui confirme que la distribution de la pluviométrie a connu un changement significatif dans le sens de la baisse depuis 35 ans.

$$\text{Pour } L.G.(\mu + \frac{S}{\sqrt{n}}); k_{H_0}^+ = 1600 + \frac{236,7}{\sqrt{35}} * 1,96 = 1678,6\text{mm}$$

$$\text{Pour } L.G.(\mu - \frac{S}{\sqrt{n}}); k_{H_0}^- = 1600 - \frac{236,7}{\sqrt{35}} * 1,96 = 1521,4\text{mm}$$

Cette tendance à la baisse a été également confirmée par KISANGALA [2014].

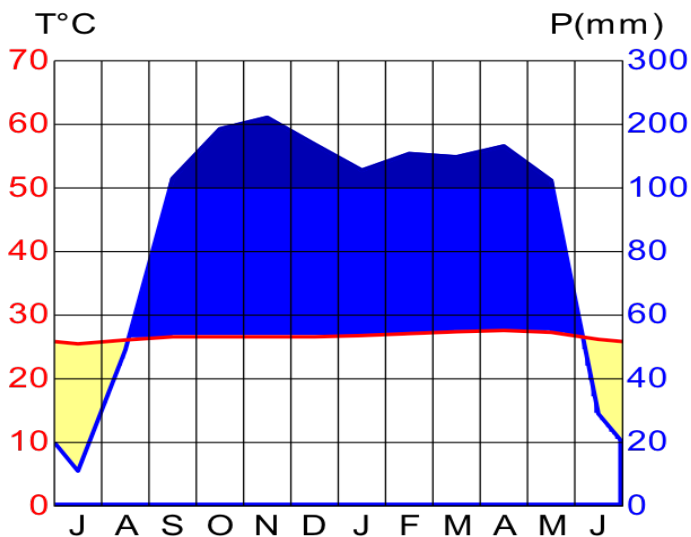


Figure 3| Diagramme ombrothermique de la ville de Bandundu

Analyse des pluies mensuelles

L'analyse des pluies moyennes mensuelles sert à connaître les mois les plus pluvieux. Nous l'utilisons sous forme de diagramme ombrothermique pour bien distinguer les mois pluvieux (Fig.3). Ce diagramme construit à partir des totaux mensuels des pluies et des moyennes des températures mensuelles va constituer un outil important permettant de déceler les mois qui apportent plus de pluies dans la ville de Bandundu.

L'observation de ce diagramme ombrothermique en années hydrologiques montre qu'à Bandundu les précipitations sont abondantes, pouvant atteindre un total annuel maximum de plus de 1900 mm d'eau par an. Le caractère saisonnier du climat régleme une irrégularité pluvieuse dans l'année, la saison des pluies se répartit de septembre à mai soit, neuf mois de saison pluvieuse et trois mois de saison sèche (juin, juillet, août). En réalité, cette saison sèche ne dure que deux mois, notamment les mois de juin et juillet, à cause de sa proximité avec la forêt dense équatoriale. Et les températures y sont élevées pendant toute l'année.

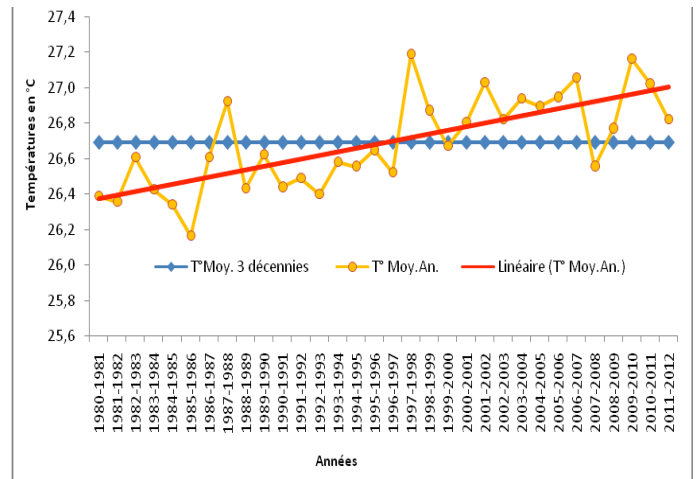


Figure 5| Evolution de température annuelle à la station de Bandundu de 1980-2012

Ce graphique révèle aussi que le mois le plus pluvieux est le mois de novembre avec 211 mm d'eau, suivi des mois d'octobre (193 mm), décembre (169 mm), avril (166 mm) et (mars (149 mm). KISANGALA et MAKANZU [2014] stipulent que c'est pendant ces mois les plus pluvieux qu'on a les pluies diluviennes et les crues des rivières, et que la ville est sujette aux inondations. Ces inondations sont observables dans les photos a à d.

Le phénomène d'inondation est toujours présent et récurrent dans la ville de Bandundu et ses environs. Quelques sites inondables ont été identifiés. Vingt six sites ont été répertoriés de la manière suivante : 17 dans la ville (centre) et 9 à Lumbu (Dima). Ces sites sont représentés dans la carte de la zone d'étude à la Figure 4.

Analyse des données brutes de température

Il nous est apparu intéressant d'analyser les données de température, car elles permettent d'observer l'évolution de ce paramètre climatique au cours des différentes décennies.

L'analyse de température à la station de Bandundu montre clairement une tendance à la hausse quasi continue pendant les trente-deux années avec une amplitude thermique de 1°C entre la valeur la plus élevée (27,2°C) et la moins élevée (26,2°C).



Photos | (a) Jardins et cultures noyés; (b) Inondation d'habitat à Lumbu; (c) Habitat abandonné suite à l'inondation; (d) Limite d'inondation (mi-hauteur de la maison d'habitation).

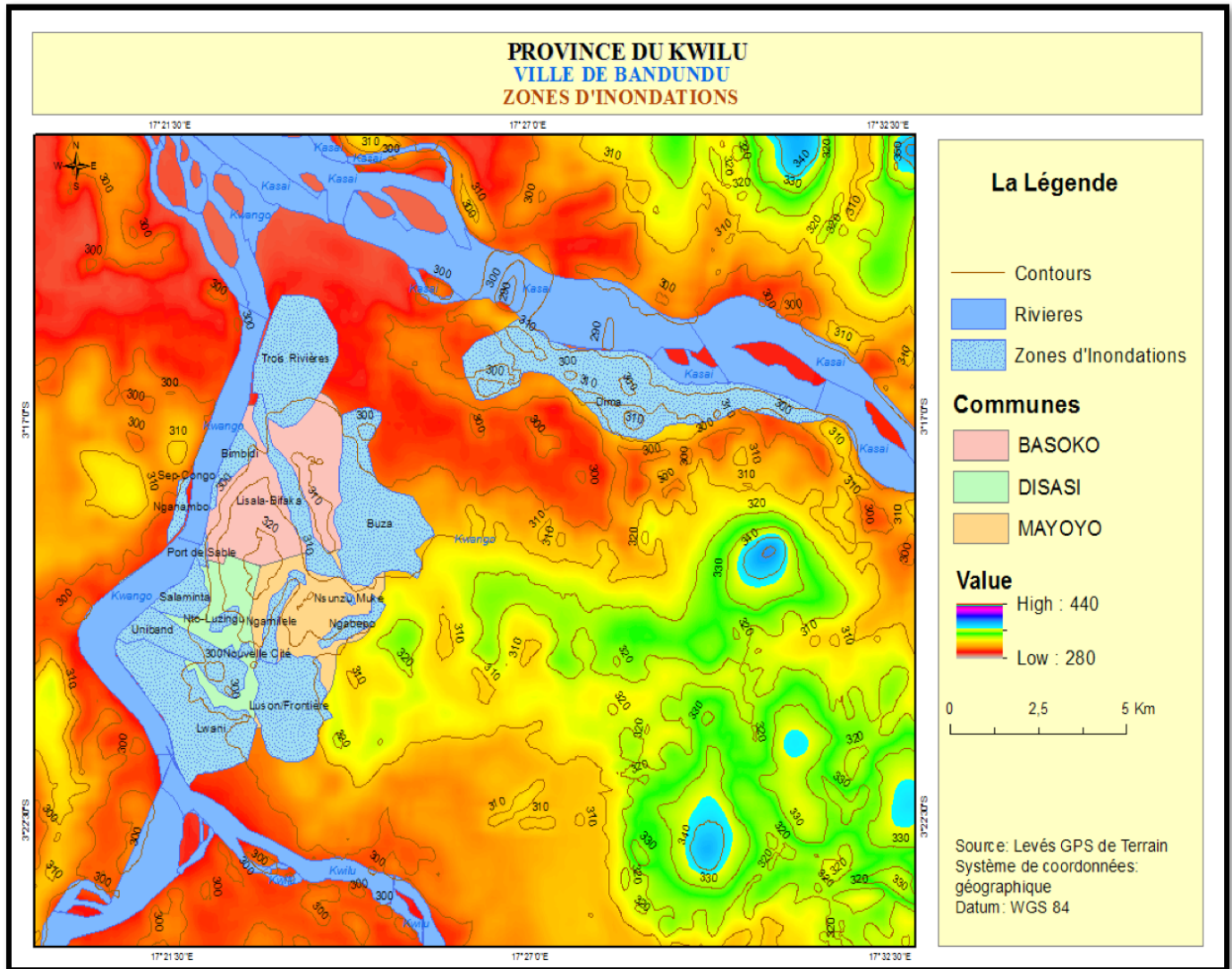


Figure 4| Carte des zones inondables

Pendant la décennie de 1980 à 1989, l'année 1987-1988 a été l'année la plus chaude avec une température moyenne annuelle de 26,9°C, suivie des années 1982-1983, 1986-1987 et 1989-1990 qui ont eu toutes une température moyenne annuelle de 26,6°C ; elles ont été suivies des années 1980-1981, 1981-1982, 1983-1984, 1988-1989 (26,4°C), 1984-1985 (26,3°C). L'année la moins chaude de la décennie était 1985-1986 avec une température moyenne annuelle de 26,2°C. La deuxième décennie de 1990 à 1999 a connu l'année 1997-1998 comme la plus chaude avec une température moyenne annuelle de 27,2°C suivie de 1998-1999 (26,9°C), 1995-1996 et 1999-2000 (26,7), puis des années 1993-1994, 1994-1995 (26,6°C), 1991-1992 et 1996-1997 (26,5°C).

Au cours de la troisième décennie (2000-2009), on a enregistré la température la plus chaude en 2009-2010 (27,2°C), suivie de l'année 2006-2007 (27,1°C), puis des années 2001-2002 et 2005-2006 (27,0°C), des années 2003-2004 et 2004-2005 (26,9°C), des années 2000-2001, 2002-2003 et 2008-2009 (26,8°C) ; enfin l'année la moins chaude de cette décennie a été 2007-2008 avec une température moyenne annuelle de 26,6°C. Pour la décennie en cours (2010-2019), la tendance à la hausse reste perceptible comme l'indique les données de deux années : 2010-2011 avec une température de 27,0°C et 2011-2012 (26,8°C).

Ces trois décennies, ont été marquées par des températures les plus élevées pendant la dernière décennie (2000-2009) avec une moyenne de 26,9°C en dix ans, suivie de la deuxième (1990-1999) dont la moyenne de dix ans s'élève à 26,6°C et de la première

(1980-1989) qui a une moyenne de 26,5°C en dix ans et où l'on rencontre l'année la moins chaude de toute la période de trente-deux ans (1985-1986) avec une moyenne annuelle de 26,2°C . Ceci prouve à suffisance la hausse de température et le réchauffement de la planète ces dernières décennies.

Conséquences des inondations et hausse de température
Les inondations, comme la hausse de température, ne sont pas toujours bienfaisantes, elles entraînent beaucoup d'effets néfastes dans le milieu de vie. Ces conséquences peuvent impacter négativement sur la vie de la population, sur la santé, l'économie, l'environnement, le relief côtier, la circulation urbaine, etc.

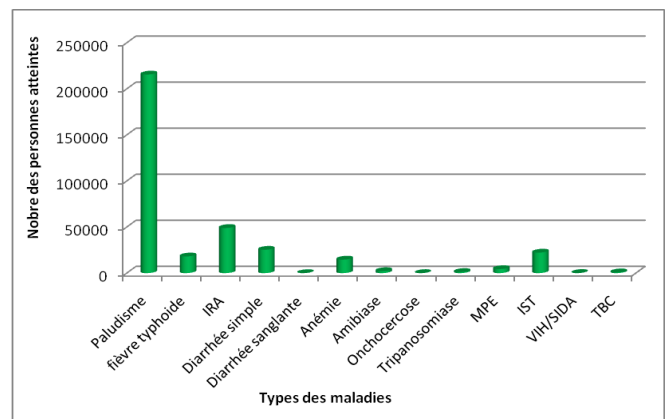


Figure 6| Effectif des personnes et types des maladies d'origine hydrique.

Lors de ce genre des calamités naturelles, la santé des habitants est souvent menacée par suite des intempéries et dégradation des conditions de vie. La **Figure 6** montre le nombre des personnes atteintes et le type des maladies d'origine hydrique.

La **Figure 6** illustre la réalité du terrain. La zone de santé de Bandundu, enregistre beaucoup de cas de paludisme – maladie liée à la prolifération des moustiques qui se reproduisent davantage dans les eaux de stagnation que les autres types des maladies.

DISCUSSION

Les caractéristiques typiques du climat équatorial prouvent à suffisance que la ville de Bandundu, en raison de sa position latitudinale (3°19'00 ") jouit d'un climat du type équatorial ou mieux sa variante Afi selon la classification de Köppen. D'après KASAY [1988] et MUHINDO [2011], ces caractéristiques seraient similaires à celles du climat Colombien selon la classification de De Vries. Par ailleurs, la présence de la saison sèche et sa végétation (forêt galerie et savane boisée) la rapproche du milieu tropical humide (Aw).

L'analyse des données climatiques (précipitations et températures) montre les oscillations climatiques observées et déplorées ces dernières décennies à la surface du globe, avec des précipitations en baisse et des températures élevées de l'ordre de 0,8°C depuis les années 1980. Cependant, à Bandundu, cette élévation de température est de 1°C de 1980 à 2012, ce qui montre une augmentation significative.

Cette situation est générale en RDC, car depuis le début de la dernière décennie du millénaire passé, la pluviosité accuse des changements notoires, surtout dans les régions des plateaux. Ces modifications se traduisent non pas forcément par une péjoration du volume d'eau annuelle, mais bien à la fois par une nette diminution du nombre de jours de pluies, un rallongement de la saison sèche, et surtout, par une nette augmentation de la température.

Le pays connaît des changements climatiques dont le cycle des saisons en terme de pluies ainsi que le flux de chaleur sensible constitue la pierre angulaire, et ce tant dans la perception de la population en général que d'un point de vue scientifique [KABWE, 2005].

Par ailleurs, la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) considère que ces modifications, différentes de la variabilité climatique naturelle, sont liées à l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère [GIEC, 2007]. Les indicateurs de tels changements climatiques sont l'augmentation et la multiplication d'événements météorologiques extrêmes : sécheresses, précipitations, etc. [PNUD, 2008 ; WALLEZ, 2010].

Certains auteurs admettent que divers facteurs sont à l'origine des changements climatiques, notamment l'augmentation de l'émission des gaz à effet de serre (GES), tels que le méthane (CH₄), le dioxyde de carbone (CO₂), le dioxyde d'azote (NO₂), suite à la déforestation et les essais nucléaires [DORMOY et KUYU, 2012].

CONCLUSION

Les résultats de l'analyse des différents paramètres climatiques et les renseignements recueillis prouvent une évolution régressive des inondations dans la ville de Bandundu, qu'on pouvait attribuer aux éventuels changements climatiques déplorés à la surface du globe ces dernières décennies.

L'impact du changement climatique sur les inondations dans la ville de Bandundu se fait remarquer par leur ampleur. En effet, les aires d'action de la catastrophe sont réduites dans le temps et dans l'espace. Les mêmes renseignements témoignent que les surfaces

inondables ont diminué d'un tiers. Cependant, elles peuvent aussi, à cause des pluies diluviennes et des crues éclair, déborder même les anciennes limites. En outre, on signale la présence d'un vent violent, « dépression tropicale » dénommée « Youmbi » à Bandundu, qui prendrait naissance dans le lac Mai-Ndombe (nord-est) et qui cause de dégâts innombrables dont le coût peut varier entre cinq millions et dix millions de dollars américains par an.

RÉSUMÉ

Depuis sa création au début des années 1900, la ville de Bandundu fût un village des pêcheurs, et un port de transit, avant de devenir le chef lieu de la province du Kwilu en 1966. Il connaît beaucoup de cas de débordement des eaux des rivières Kwilu, Kwango et Kasaï. Les caractéristiques morphologiques et topographiques de cette ville occasionnent des inondations à chaque saison des pluies. La croissance spatiale de cette entité est étroitement liée à la croissance démographique exponentielle causée par l'exode rurale et la recherche d'emploi.

L'analyse de quelques variables climatiques par des méthodes statistiques décisionnelles a montré que la pluviométrie, à la station de Bandundu, tendait vers la baisse, par contre les inondations causées par les crues des trois rivières se sont amplifiées au cours de ses trois dernières décennies avec comme corollaire la destruction de l'habitat et des cultures, l'augmentation des maladies vectorielles et hydriques, ainsi que des pertes en vies humaines.

Mots clés

Inondations, changement climatique, Pluviométrie, Bandundu

RÉFÉRENCES ET NOTES

ADJAKPA T, [2016]: Gestion des risques hydro-pluviométriques dans la vallée du Niger au Bénin: Cas des inondations des années 2010, 2012 et 2013 dans les communes de Malanville et de Kirimama, Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Bénin.

BERZ G, [2000]: *Flood disasters: lessons from the past - worries for the future*, Actes de colloque, Water and Maritime Engineering, Proceedings of the institution of Civil Engineers, London, Vol. 142.

BULTOT F, [1971]: Atlas climatique du bassin Congolais, deuxième partie ; les composantes du bilan d'eau, Publ. INEAC, hors série, Bruxelles.

DORMOY D. et KUYU C, [2012] : *Changements Climatiques et droits humains, Espérance, Mariembourg*, 309pages.

DONALD H. et ALLARD F, [1992] : *les statistiques, une approche nouvelle*. 2^{ème} édition. Ed. Chenelière / McGraw-Hill, Montréal / Quebec, 498pages.

DUBREUIL P, [1974] : *Introduction à l'analyse hydrologique*, Masson-ORSTOM, Paris, 216 pages.

ESTUPINA V, [2004] : *Vers une modélisation hydrologique adaptée à la prévision opérationnelle des crues éclair. Application à de petits bassins versants du sud de la France*, Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 254 pages.

GIEC, [2007] : *Bilan 2007 des changements climatiques : rapport de synthèse*. Contribution des groupes de travail I, II et III au quatrième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. GIEC, Genève, Suisse, 103 pages.

HOSTACHE R, [2006] : *Analyse d'images satellitaires d'inondations pour la caractérisation tridimensionnelle de l'alea et l'aide à la modélisation hydraulique*, Thèse de doctorat, Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts, CEMAGREF, ENGREF, Montpellier, 256 pages.

KABWE C, [2009] : *rapport des activités réalisées dans le cadre du programme « african climate change programm »*, Université Cadi Ayyad de Marakech, Maroc, 55 pages.

KASAY K.L., [1988] : *Dynamique démo-géographique et mise en valeur de l'espace en milieu équatorial d'altitude : cas du pays Nande au Kivu*

Septentrional, Zaïre, Thèse de doctorat, Université de Lubumbashi, 404pages.

KISANGALA M, [2014] : *Impacts du changement climatique sur la navigabilité de la rivière Kasai : approches morphométrique, hydrométrique, climatologique et écologique du bassin du Kasai dans sa partie congolaise, Thèse de doctorat, Université de Kinshasa, 206 pages.*

MAKANZU F, [2014] : *Etude de l'érosion ravinante à Kinshasa : Dynamique Pluvio-Morphogénique et développement d'un Outil de Prévion, Thèse de*

doctorat, Université de Kinshasa, 193pages.

MUHINDO S, [2011] : *Le contexte urbain et climatique des risques hydrologiques de la ville de Butembo (Nord-Kivu /RDC),Thèse de doctorat, Université de Liège, 275pages.*

PNUD, [2007] *Rapport mondial sur le développement humain 2007/2008. La lutte contre le changement climatique : un impératif de solidarité humaine dans un monde divisé. Ed. La découverte, Paris, 382pages.*

SAPORTA G., [1990] : *Probabilité. Analyse de données et statistiques. Ed. Technip. Paris, 493pages.*

TCHOTSOUA M, [2007] : *Les risques morpho-hydrologiques en milieu urbain tropical : cas de Yaoundé au Cameroun, Actes des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 novembre 2007.*

VILLA J. et BELANGER D, [2012] : *Perception du risque d'inondation dans un contexte de changements climatiques : recension systématique des articles scientifiques sur sa mesure (1990-2011), centre de Recherche Université Laval, Québec, 175pages.*

WALLEZ L, [2010] : *Inondations dans les villes d'Afrique de l'ouest : diagnostic et éléments de renforcement des capacités d'adaptation dans le grand Cotonou, Maîtrise et master, Université de Sherbrooke, 78 pages.*



This work is in open access, licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in the credit line; if the material is not included under the Creative Commons license, users will need to obtain permission from the license holder to reproduce the material. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>