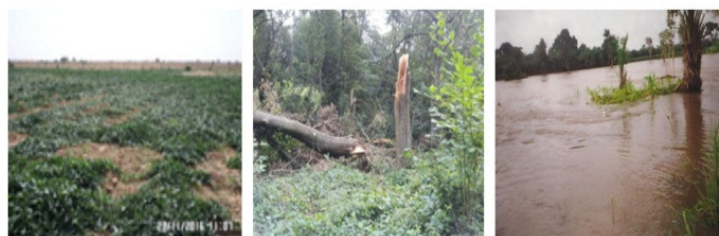


Climat, ville et environnement

Actes du colloque



**3-6 juillet 2017
Sfax (Tunisie)**



Editeurs scientifiques
Salem DAHECH et Sami CHARFI

Colloque de l'AIC organisé par l'université de Sfax (FLSH, lab SYFACTE) en collaboration avec l'Association Tunisienne de Climatologie

Climat, ville et environnement

**XXX^e COLLOQUE DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE
DE CLIMATOLOGIE**



Climat, ville et environnement

Actes du colloque de Sfax

Hôtel BorjDhiafa

3-6 juillet 2017

Éditeurs scientifiques

Salem DAHECH et Sami CHARFI

**Colloque organisé par l'Université de Sfax (FLSHS et lab SYFACTE)
en collaboration avec l'Association Tunisienne de Climatologie**

Participation à la finalisation de l'ouvrage :

Mounir Jarraya, Riadh Bouaziz, Mohamed Féki et Abdelkarim Boujelben

Photos de la couverture :

Auteurs d'articles tirés de cet ouvrage

*Les opinions défendues dans cet ouvrage
n'engagent que les auteurs ;
elles ne sauraient être imputées
aux institutions auxquelles ils appartiennent
ou qui ont financé leurs travaux*

SYFACTE, 2017

ISBN : 978-2-907696-23-4

Coordinateurs

Salem Dahech et Sami Charfi

Comité scientifique

Amoussou Ernest Université d'Abomey-Calavi, Bénin	Karrouk Mohammed-Saïd Université Hassan II, Maroc
Ben Boubaker Habib Université de La Manouba, Tunisie	Kastendeuch Pierre Université de Strasbourg, France
Bigot Sylvain Université de Grenoble-Alpes, France	Kermadi Saida Université de Lyon 2, France
Bonnardot Valérie Université Rennes 2, France	Madelin Malika Université Paris 7, France
Bridier Sébastien université d'Aix-Marseille, France	MaherasPanagiotis Université de Thessalonique, Grèce
Camberlin Pierre Université Bourgogne Franche-Comté, France	Marie José Alcoforado Université de Lisbonne, Portugal
Cantat Olivier Université de Caen Basse-Normandie, France	Martin Nicolas Université de Nice, France
Carrega Pierre Université de Nice, France	MedjerabAbderrahmen Houari Boumediene, Alger, Algérie.
ChkirNajiba Université de Sfax, Tunisie	Mendonça Francisco Université Fédérale de Parana, Brésil
Dahech Salem Université de Sfax, Tunisie	Morel Béatrice Université de La Réunion, France
Daoud Abdelkarim Université de Sfax, Tunisie	Norrand Caroline Université Lille 1, France
Douguédroit Annick université d'Aix-Marseille, France	Paul Patrice Retraité Université de Strasbourg, France
Droque Gilles Université de Lorraine, France	Planchon Olivier Université Rennes 2, France
Dubreuil Vincent Université Rennes 2, France	Quénol Hervé Université Rennes 2, France
El Melki Taoufik Université de La Manouba, Tunisie	Richard Yves Université Bourgogne Franche-Comté, France
Endlicher Wilfried Université de Berlin, Allemagne	Rome Sandra Université de Grenoble-Alpes, France
Epicum Michel Université de Liège, Belgique	Sagna Pascal Université de Cheick Anta Diop, Sénégal
Fallot Jean-Michel Université de Lausanne, Suisse	Soubeyoux Jean-Michel Météo France Toulouse, France
Fortin Guillaume Université de Moncton, Canada	Traboulsi Myriam Université Libanaise, Liban
Fратиanni Simona Université de Turin, Italie	Ullman Albin Université Bourgogne Franche-Comté, France
Gammar Amor Université de La Manouba, Tunisie	VissinExpédit Université d'Abomey-Calavi, Bénin
Henia Latifa Université de Tunis, Tunisie	ZahariaLiliana Université de Bucarest, Roumanie
Joly Daniel Université Bourgogne Franche-Comté, France	

Comité d'organisation

Riadh BOUAZIZ, Mohamed FEKI

Mounir JARRAYA, Zouhair HELAOUI

Mohamed SOUISSI, Abdelkarim BOUJELBEN

Marwen GHRIBI Hamdi EUCHI

EXTREMES HYDROLOGIQUES ET INONDATIONS DANS LA COMMUNE D'ATHIEME AU BENIN : DIAGNOSTICS ET GESTION

BESSAN M. V.¹, VISSIN E. W.¹, OGOUWALE E.¹, AGBOSSOU E. K.², OZER P.³

¹Laboratoire Pierre Pagny Climats, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi, 03 BP 1122, Jéricho, Bénin. modesbessan@yahoo.fr

¹Laboratoire Pierre Pagny Climats, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi, 03 BP 1122, Jéricho, Bénin. exlaure@yahoo.fr, ogkelson@yahoo.fr

²Institut National de l'Eau (INE), Université d'Abomey-Calavi Bénin, 01BP 526, euloge.agbossou@gmail.com

³Département 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 : Autrefois qualifiées de naturelles, les inondations dans la Commune d'Athiémé semblent survenir à un rythme accéléré et sont plus dévastateurs. Cette étude analyse les véritables causes des inondations et évalue leurs modes de gestion. La méthodologie utilisée est focalisée sur l'examen des pluies et débits quotidiens de 1960 à 2012, la caractérisation des événements extrêmes à partir d'indices hydrologiques et la détermination des périodes de retour des inondations par la distribution de Gumbel. Des entretiens auprès des personnes ressources des institutions ont permis d'évaluer les politiques publiques de réduction des inondations. Il ressort que les pluies et débits qui ont engendré des inondations sont souvent normaux avec des périodes de retour de moins de 6 ans. Les inondations sont alors amplifiées par des facteurs anthropiques, la dégradation de l'environnement et surtout l'inefficacité voire l'inexistence de mesures publiques de réduction.

Mots-clés : Extrêmes hydrologiques, inondation, politiques publiques, Athiémé

Abstract : *Hydrological extremes and flooding in the commune of Athieme in Benin: diagnostics and management*

Once described as natural, the flooding in the Commune of Athieme seem to occur at an accelerated rate and are more devastating. This research analyzes the real causes of the floods and evaluates their management systems. The methodology used focuses on examining daily rainfall and flows from 1960 to 2012, characterizing extreme events from hydrological indices, and determining the periods of flooding return by Gumbel distribution. Interviews with resource persons of the institutions enabled the assessment of public policies of reduce flooding. It is clear that the rains and flows that have caused flooding are often normal with a return period below 6 years. Flooding are then amplified by anthropogenic factors, environmental degradation and, above all, the inefficiency or even the lack of public policies to reduce them.

Keywords : *Hydrological extremes, flooding, public policies, Athieme*

Introduction

La commune d'Athiémé au Bénin est confrontée aux inondations annuelles dont la fréquence et l'ampleur des dégâts commencent à effrayer les populations et même les décideurs politiques (Houessou, 2009). Selon l'UNDAC (2010), ces inondations ont engendré d'énormes dégâts en 2010 telles la perte de 60% des produits agricoles et d'élevage, la destruction des routes et des habitations, des incidences sanitaires, des pertes en vies humaines, etc. Les causes de ces inondations font de plus en plus objet de discussions entre les acteurs. Pour la majorité des autorités politiques et même des populations, les crues du fleuve Mono et le barrage de Nangbéto en seraient les principaux responsables. Par contre, pour la Communauté Electrique du Bénin (CEB) et Coyne et Bellier (1998), les variabilités climatiques en seraient l'origine. Pour Ago *et al.*, (2005), les pressions anthropiques et la poussée démographique expliquent mieux l'ampleur et la fréquence élevée des inondations. Face à cette polémique sur les causes des inondations, cette étude vise à déterminer les facteurs amplificateurs des inondations dans la commune d'Athiémé.

1. Présentation du milieu d'étude

La commune d'Athiémé est située au sud-ouest du Bénin entre 6°25' et 6°43' de latitude nord et entre 1°32' et 1°48' de longitude est (figure 1). Elle couvre une superficie de 238 km² et regorge de cours et plans d'eau (fleuve Mono, Lac Toho, etc.). Sa population est en pleine croissance et est passée de 39.481 habitants en 2002 à 56.247 habitants en 2013 (RGPH4).

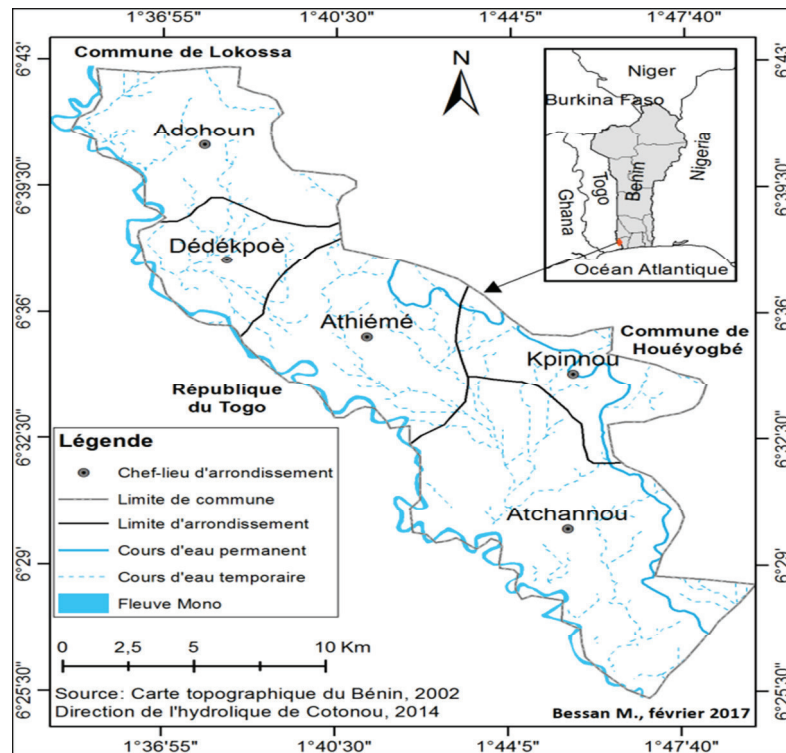


Figure 1. Situation géographique de la commune d'Athiémé

2. Données

Les données utilisées sont les hauteurs de pluies quotidiennes et les débits journaliers des stations pluviométrique et hydrométrique d'Athiémé sur la période de 1960 à 2012. Ces données ont été obtenues à l'ASECNA Bénin (pluies) et à la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE Bénin) pour les débits. Elles sont complétées par des données socio-économiques collectées dans la Commune pour l'analyse de la gestion des inondations.

3. Méthodes

3.1. Analyse des évènements hydrologiques (pluviométriques et hydrométriques)

La détection des anomalies pluviométriques et hydrométriques a été réalisée grâce au calcul de l'indice normalisé (I_n) qui traduit un excédent ou un déficit hydrologique. L'indice (I_n) est une variable centrée réduite qui peut être positif ou négatif et s'exprime par la formule (Servat *et al.*, 1999) : $I_n = \frac{X - \bar{X}}{\sigma(x)}$ avec X = la valeur de la variable ; \bar{X} = la moyenne de la série ; $\sigma(x)$ = Ecart-type de la série. Si $I_n \geq 2$, on est en période extrêmement humide ; si $1,5 < I_n \leq 1,99$, la période est fortement humide ; si $1 < I_n < 1,49$, la période est modérément humide et si $0 < I_n < 0,99$ la période est normalement humide (McKee *et al.*, 1993).

Les événements pluvieux extrêmes ont été analysés sur la base d'indices que sont : le total pluviométrique (PTOT), le nombre total de jours humides (pluies journalières ≥ 1 mm, PJ), la pluie maximale enregistrée en 1 jour (P_{x1J}) et les quantiles : 95^{ème}, 99^{ème} et 99,5^{ème} percentiles (Hountondji *et al.*, 2011). Pour les débits, le total hydrométrique (DTOT), les débits caractéristiques de crue (DCC) et les débits maximaux (Dmax) ont été calculés. Des tests d'homogénéité de Pettitt (1979) et de Buishand (1984) ont été ensuite appliqués sur ces séries pour mettre en évidence d'éventuelles ruptures. Enfin, l'existence d'une tendance linéaire (à la hausse ou à la baisse) et sa significativité sont déterminées à partir de la statistique t de Student.

3.2. Identification des périodes de retour (PR)

La distribution de Gumbel a été appliquée aux pluies et aux débits journaliers pour caractériser les périodes de retour (PR) des inondations. Un événement est qualifié de très exceptionnel si sa PR est au-delà de 100 ans, d'exceptionnel si la PR est 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 moins de 6 ans (Vandiepenbeeck, 1997).

3.3. Enquête de terrain

Une enquête a été conduite au près des institutions aux niveaux national et communal pour évaluer les politiques publiques de gestion des inondations. A cet effet, un choix raisonné basé sur les données des Plateformes Nationale et Communale de Réduction des Risques de Catastrophes et d'Adaptation aux Changements Climatiques a permis de sélectionner 22 institutions actives et d'interviewer 50 personnes ressources, membres des dites institutions.

4. Résultats

4.1. Evolution des précipitations et des débits annuels

La figure 2 montre une légère tendance à la baisse des pluies de 1960 à 2012 et une légère tendance à la hausse des débits de 1960-2011. Soumises au test *t* de Student, aucune de ces tendances n'est significative. Mais l'étude des indices a permis d'identifier 19 années humides sur chaque série. Ainsi, on distingue pour les pluies, 3 années (1963, 1968, 2000) extrêmement humides, une année fortement humide (2007), 5 années modérément humides (1962, 1978, 1991, 1999, 2010) et 12 années normalement humides. Les périodes de hauts débits sont les décennies 1960-1968 et 1998-2008, caractérisées respectivement par des pluies excédentaires et une fluctuation de périodes pluvieuses humides et sèches.

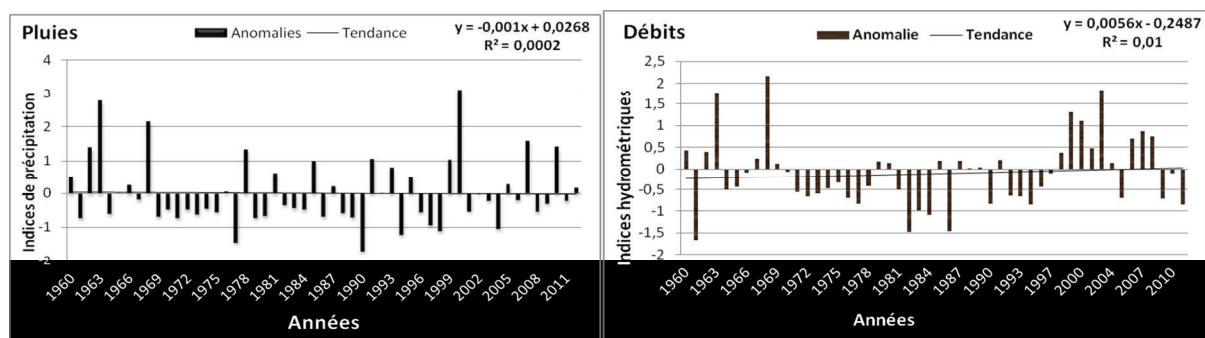


Figure 2. Evolution des indices annuels de pluies (1960-2012) et de débits (1960-2011) à Athiémé

Les tests d'homogénéité de Pettitt (1979) et Buishand (1984) appliqués à ces deux séries n'ont détecté aucune rupture.

4.2. Tendances de quelques événements pluviométriques extrêmes

La figure 3 présente la tendance des pluies maximales enregistrées en un jour (P_{x1J}) et des événements pluvieux extrêmes (pluies $\geq 99^{\text{ème}}$ percentile : P_{99p}). Elle révèle une tendance générale à la baisse qui est statistiquement non significative ($p > 0.05$) pour les pluies maximales journalières ($p=0.656$) de même que pour les jours de pluies extrêmes ($p=0.242$). La pluie maximale quotidienne sur la période 1960-2012 à Athiémé est de 151 mm. Elle a été enregistrée le 18/09/1986, qui correspond à une année normalement sèche ($0 \leq In \leq -0,99$). D'après les enquêtes de terrain, aucune inondation n'a été enregistrée en cette année.

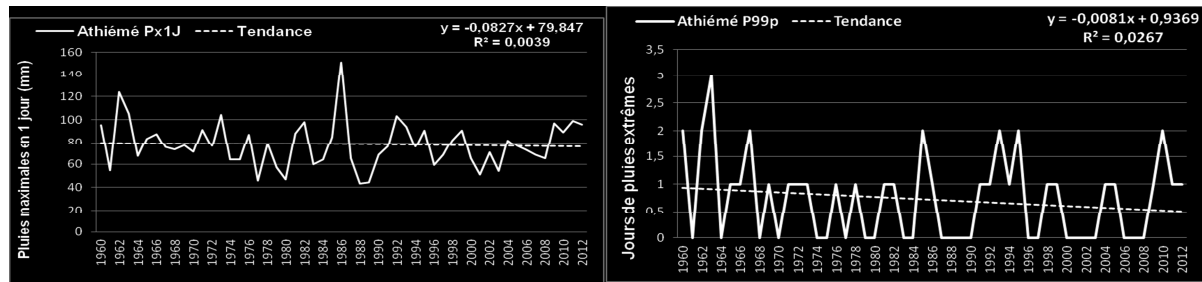


Figure 3. Tendance des pluies maximales journalières et des jours de pluies extrêmes de 1960 à 2012 à Athiémé

Les événements extrêmes quant à eux, ont été définis à partir du seuil de 73.8 mm de pluies et la fréquence de pluies extrêmes la plus élevée a été enregistrée en 1963 (3), année extrêmement humide ayant causé d'inondations destructrices.

4.3. Tendance de quelques événements hydrométriques extrêmes

La figure 4 montre l'évolution des débits maximaux annuels et des débits caractéristiques de crue de 10 jours (DCC_10j) de la période 1960 à 2011 à Athiémé.

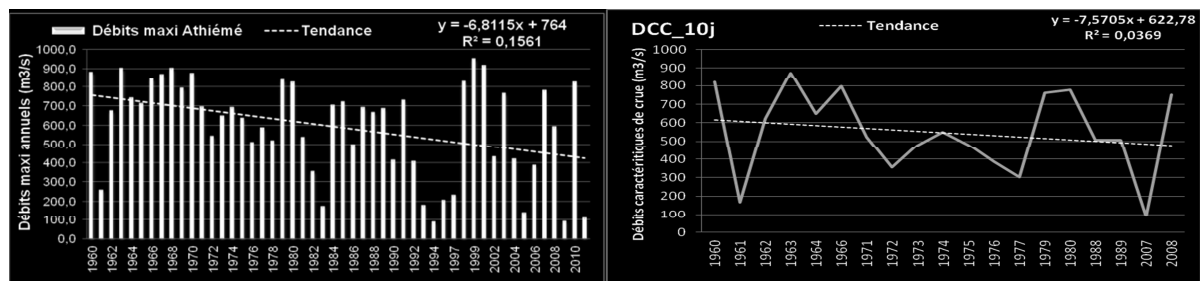


Figure 4. Variation des débits maximaux et des débits caractéristiques de crue de 10 jours (DCC_10j) à Athiémé

Les débits maximaux annuels présentent une tendance importante à la baisse qui est significative car la probabilité p du test t de Student est de 0,0049. Par contre, la baisse observée au niveau des débits caractéristiques de crue au bout de 10 jours d'accumulation des eaux de ruissèlement est aussi prononcée mais n'est pas statistiquement significative. Les débits les plus élevés ont été enregistrés en 1963 (899.9 m³/s), 1999 (951 m³/s), 2000 (915.3 m³/s), et 1968 (899.3 m³/s) et les crues les plus élevées ont été observées en 1960, 1963, 1968, 2008. Ces années correspondent à celles humides, qui ont enregistré des inondations ; ce qui signifie que les débits et les crues participent à l'enclenchement des inondations. Par ailleurs, les débits caractéristiques de crue ont connu une baisse de 1970 à 1980 qui correspond à une période déficitaire sur le plan pluviométrique. Ce qui démontre l'existence d'une corrélation entre pluies et débits.

4.4. Périodes de retour (PR) des pluies et débits maximaux

Dans l'objectif de vérifier si les inondations destructrices enregistrées sur la période 1960-2012 à Athiémé grâce aux enquêtes de terrain (1963, 1995, 1999, 2000, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012) sont dues aux pluies et aux débits maximaux, les dates exactes (jours, mois et années) de ces événements hydrologiques et leurs périodes de retour ont été identifiés. Le résultat est présenté dans le tableau 1 ci-dessous.

Il ressort qu'aucune des années ayant connu d'inondations destructrices n'a enregistré de pluie à caractère exceptionnel. Outre l'année 1963, ayant connu une pluie de 105 mm (très normale, PR=10.5ans), les autres années d'inondation présentent des pluies pour la majorité normales (PR<6ans). Une analyse analogue effectuée avec les débits indique que les inondations dévastatrices à Athiémé sont causées par des pluies et débits majoritairement

anormaux (PR entre 6 et 10 ans). On retient que les inondations destructrices enregistrées n'ont pas pour causes majeures les pluies et débits maximaux.

4.5. Politiques publiques de gestion des inondations

Les politiques publiques de réduction des inondations au niveau communal prennent en compte un cadre juridique constitué de la loi N°97-029 du 15 janvier 1999 portant organisation des communes en République du Bénin et ses décrets et arrêtés d'application. Le cadre institutionnel comprend la plateforme Communale de Réduction des Risques de Catastrophe et d'Adaptation au Changement Climatique (PCRRC-ACC) dont la présidence est assurée par le maire. Pour être opérationnel, ce cadre institutionnel s'appuie sur des stratégies telles la prévision, les mesures normatives et réglementaires pour l'occupation des zones à risques, l'information-sensibilisation-éducation et alerte des populations, les outils de planification (le plan de contingence communal et le Schéma Directeur d'Aménagement Communal).

Tableau 1. Période de retour (PR) des pluies et débits maximaux des années d'inondations recensées

Années d'inondations	Px1J (mm)	PR (années)	Qualification de l'évènement	Dates exactes	Catégorie d'années
1963	105	10.5	Très anormale	17/06/1963	Extrêmement humide $I_n \geq 2$
1995	91	5	normale	22/04/1995	Normalement humide $0 < I_n < 0,99$
1999	91	5	normale	24/04/1999	Modérément humide: $1 \leq I_n \leq 1,49$
2000	65	1	normale	23/08/2000	Extrêmement humide $I_n \geq 2$
2004	82	3	normale	21/06/2004	Modérément sèches $-1 \leq I_n \leq -1,49$
2005	76	2.5	normale	14/09/2005	Normalement humide $0 < I_n < 0,99$
2006	72	2	normale	28/03/2006	Normalement sèches $0 \leq I_n \leq -0,99$
2007	68	1	normale	12/05/2007	Fortement humides: $1,5 \leq I_n \leq 1,99$
2008	65	1	normale	26/01/2008	Normalement sèches $0 \leq I_n \leq -0,99$
2009	97	6.5	anormale	29/09/2009	
2010	89	4	normale	05/08/2010	Modérément humide: $1 \leq I_n \leq 1,49$
2011	99.2	7.5	anormale	10/07/2011	Normalement sèches $0 \leq I_n \leq -0,99$
2012	96.1	6	Anormale	20/06/2012	Normalement humide $0 < I_n < 0,99$

Mais les enquêtes de terrain ont révélé que ce dispositif communal est défaillant et totalement déséquilibré à Athiémé. En effet, le mécanisme de prévention actuel est précaire et théorique (système d'observation du climat vétuste, non application et ignorance des textes juridiques, mauvaise politique d'aménagement du territoire, etc.). Pour preuve, la commune ne dispose que de 1200 mètres linéaires de caniveaux non entretenus et de 600 mètres de pavés concentrés au centre, ce qui ne suffit pas à drainer les eaux de pluie. La gestion des urgences est caractérisée par une insuffisance du mécanisme de coordination et de communication et par le déplacement de quelques sinistrés dans les écoles, églises, etc., la distribution de vivres et autres. Enfin la gestion post-catastrophe est quasi-inexistante. Cette situation qui révèle l'inefficacité des politiques publiques s'ajoute à la précarité des stratégies endogènes des populations pour mieux justifier l'accroissement de la vulnérabilité des populations de Athiémé face aux inondations.

Discussion

Les résultats révèlent que les extrêmes pluviométriques et hydrométriques sont en baisse alors que les inondations dévastatrices sont en nette augmentation à Athiémé. Or la pluie et l'effet conjugué des débits constituent les facteurs naturels sans lesquels on ne saurait parler d'inondation. On constate aussi qu'à Athiémé, les débits ont un effet déclencheur des inondations plus prononcé que les pluies. Ceci est lié à la topographie de la commune (située à basse altitude entre 10 et 25 m, elle reçoit et concentre les eaux de pluies provenant du

bassin supérieur du fleuve Ouémé situé à plus de 600 m d'altitude). Mais, ces facteurs naturels ne sont pas les véritables causes de la fréquence élevée des inondations et de l'intensité des dégâts observée de nos jours. En effet, ces facteurs sont accentués par des paramètres physiques tels le réseau hydrographique dense avec un système de drainage très faible, des sols hydromorphes quasi-imperméables, etc. qui prédisposent le milieu aux inondations. A ces derniers, s'additionnent des éléments socio-économiques et politiques (croissance démographique, forte destruction du couvert végétal, accroissement des terres agricoles, occupation des zones humides, précarité des mesures endogènes de lutte contre les inondations, insuffisance et inefficacité des politiques publiques de gestion des inondations, système d'aménagement du territoire inapproprié, etc.) qui accentuent les inondations et amplifient les dégâts observés. Tout ceci est couronné par les impacts des lâchers du barrage de Nangbéto érigé en amont du fleuve Mono au Togo qui favorise un écoulement permanent en période d'étiage. Des auteurs (Sene et Ozer, 2002 ; Hangnon *et al.*, 2015) sont parvenus à la même conclusion en ce qui concerne les véritables causes des inondations ces dernières décennies en Afrique de l'Ouest.

Conclusion

Les extrêmes hydrologiques (pluies et débits maximaux) ne sont pas les causes majeures de la fréquence élevée des inondations et de l'amplification de leurs dégâts dans la commune d'Athiémé. Celles-ci sont plutôt dues aux actions humaines, aux défaillances dans l'aménagement du territoire et dans les politiques de gestion.

Bibliographie

- Ago E. E., Petit F. et Ozer P. 2005 : Analyse des inondations en aval du barrage de Nangbetto sur le fleuve Mono (Togo et Bénin). *Geo-Eco-Trop*, **29**, 1-14
- Buishand T. A. 1984 : Tests for detecting a shift in the mean of hydrological time series. *Journal of Hydrology*, vol. 73, **1**, 51-69.
- Coyne et Bellier 1998: Etude d'environnement de l'aménagement hydroélectrique d'Adjarala (Togo-Bénin) : Impacts hydrobiologiques sur le système fluvio-lagunaire. *Résumé. CEB, Banque Mondiale*, 59 p.
- Hangnon H. Y., De Longueville F. et Ozer P. 2015: Précipitations extrêmes et inondations à Ouagadougou : quand le développement urbain est mal maîtrisé. *Actes du 28e Colloque de l'AIC*. Liège, Belgique, 497-502
- Houessou A. P. V. 2009 : Conséquences de la non maîtrise des eaux des bassins hydrographiques du Bénin: Athiémé disparaît sous les eaux du Mono. *INFO Magazine d'information sur l'eau et l'environnement*, 6-7
- 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>.
- Mckee T. B. Doesken N. J., Kleist J. 1993 : The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Preprints, 8th Conference on Applied Climatology*. 17-22 January, Anaheim, CA, 179-184.
- Pettitt A.N. 1979 : A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, **28**, **2**, 126-135.
- Sene S., Ozer P., 2002 : Évolution pluviométrique et relation inondations-événements pluvieux au Sénégal. *Bulletin de la société géographique de Liège*, **42**, 27-43
- Servat É., Paturel J. E., Lubès-Niel H., Kouamé B., Masson J. M., Travaglio M. et Marieu B. 1999 : De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale. *Revue des Sciences de l'Eau*, vol. 12, **2**, 363-387
- Undac, 2010 : *Rapport de la mission d'évaluation rapide des effets de l'inondation par l'équipe UNDAC dans le Mono*. Bénin. PNUD. 50 p.
- Vandiepenbeeck M. 1997 : Bilan climatologique saisonnier. Hiver 1997 : Une période de froid remarquable. *Cielet Terre*, **113**, 65-66.