



Cartographie des Risques d'Inondations dans la Commune d'Abomey-Calavi

Charles Cômplan HOUNTON¹, Iboukoun Eliézer BIAO², Imorou OUOROU BARRE FOUSSINI¹; Jean-Bosco VODOUNOU¹; P. B IRENKATCHE AKPONIKPE

¹ Laboratoire des Géosciences de l'Environnement et Cartographie (LaGeCa)/Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications (CIPMA-Chaire UNESCO) 072 BP 50 Cotonou, République du Bénin.

² Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA), Institut National de l'Eau (INE), Université d'Abomey-Calavi, 01BP: 526 Cotonou (Benin)

³ Laboratoire d'hydraulique et de Modélisation Environnementale (HydroModE-Lab) Université de Parakou, Bénin

Email :

¹chacoli2001@yahoo.fr

²biaoeliezer@yahoo.fr

³oubarre@yahoo.fr

Résumé — Les dernières décennies ont été caractérisées par des inondations cycliques qui menacent les populations et les biens. A l'instar des grandes villes du Bénin, la Commune d'Abomey-Calavi souffre des inondations dues aux pluies extrêmes et quelques fois, des débordements du lac Nokoué. Il est donc nécessaire de réaliser une cartographie des risques d'inondation pluviale pour une meilleure gestion des inondations dans la Commune d'Abomey-Calavi. La méthodologie adoptée a consisté à (i) une analyse fréquentielle des précipitations extrêmes pour différentes périodes de retour T (2 ans, 5 ans, 10 ans, 20 ans et 30 ans); (ii) une étude hydraulique de la propagation des pluies extrêmes à l'aide du logiciel HEC-RAS; (iii) une cartographie des risques d'inondable avec le logiciel QGIS. Les résultats de la simulation montrent que la Commune d'Abomey-Calavi est une commune à risque potentiel élevé d'inondation. Les cartes obtenues indiquent une stagnation des eaux pluviales menaçant les routes, les constructions, et les activités agricoles au niveau de la commune plus précisément dans les arrondissements de Godomey, Abomey-Calavi, Togba et kpanrou. L'étendue des zones inondables varie selon la période de retour, soit 35,13% lors d'une inondation pluviale pour $T=2$ ans contre 38,36% pour une inondation pluviale pour $T=10$ ans. Les cartes des zones inondables réalisées constituent de véritables outils de délimitation des zones non recommandées pour l'urbanisation d'une part et d'autre part elles aideront à mettre en place une politique cohérente de réalisation et d'entretien des réseaux d'assainissement et d'évacuation des eaux pluviales.

Abstract — The last decades have been characterized by cyclical floods that threaten people and property. Like the big cities of Benin, the Commune of Abomey-Calavi suffers from floods due to extreme rains and sometimes overflows from Lake Nokoué. It is therefore necessary to map the risks of rainfall flooding for better flood management in the Municipality of Abomey-Calavi. The methodology adopted consisted of (i) a frequency analysis of extreme precipitation for different return periods T (2 years, 5 years, 10 years, 20 years and 30 years); (ii) a hydraulic study of the propagation of extreme rainfall using the HEC-RAS software; (iii) flood risk mapping using QGIS software. The results of the simulation show that the Municipality of Abomey-Calavi is a municipality at high potential risk of flooding. The maps obtained indicate a stagnation of rainwater threatening roads, buildings, and agricultural activities at the commune level, more specifically in the districts of Godomey, Abomey-Calavi, Togba and kpanrou. The extent of the flood zones varies according to the return period, i.e. 35.13% during a pluvial flood for $T=2$ years against 38.36% for a pluvial flood for $T=10$ years. The maps of the flood zones produced constitute real tools for delimiting the zones not recommended for urbanization on the one hand and on the other hand they will help to put in place a coherent policy for the construction and maintenance of sanitation networks and rainwater drainage.

Keywords: Abomey-Calavi, mapping, HEC-RAS, flooding, risk, management.

Mots-clés : Abomey-Calavi, cartographie, HEC-RAS, Inondation, risque, gestion.

1. INTRODUCTION

Au cours de ces dernières décennies, plusieurs pays du monde ont été gravement affectés par des événements météorologiques extrêmes tels que les sécheresses, les précipitations extrêmes (Wallez, 2010). La multiplication de ces événements extrêmes peut être considérée comme des indicateurs du changement climatique. 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). Le réchauffement climatique que connaît le monde actuellement est à l'origine de l'accroissement des phénomènes extrêmes responsables des risques hydro climatiques dont les inondations. Ces risques constituent une préoccupation majeure en matière d'aménagement et de gestion du territoire (Krill, 2007). Ils devraient à l'avenir se multiplier et gagner en intensité avec des conséquences qui pourraient se révéler catastrophiques pour les sociétés humaines (GIEC, 2007).

Parmi ces risques, les inondations représentent un danger pour les biens et les personnes dans la plupart des régions du globe. Les inondations au sens large regroupent plusieurs types de phénomènes. Ces événements météorologiques extrêmes s'avèrent désastreux pour les communautés urbaines dépourvues de solutions durables de lutte contre ces phénomènes (Gaye, 2009). Les coûts engendrés par ces catastrophes naturelles ont doublé ces dix dernières années (Bruschweiler, 2003). L'Afrique de l'Ouest connaît des inondations de plus en plus intenses ces dernières années (Gaye, 2009). Le Bénin, un pays de l'Afrique de l'Ouest est caractérisé également par des événements pluvieux très distingués, le plongeant dans des situations d'inondations particulières, non seulement liées à la récurrence de ces dernières, mais aussi par rapport au niveau de vie de la population touchée. En 2010, 42 communes sur les 77 que compte le Bénin sont inondées avec des dégâts importants : 43 morts, 97815 sans-abris, 55575 maisons et 276 écoles inondées (Rapport des Nations Unies, 2010). L'ensemble des dommages occasionnés par les inondations sur l'économie béninoise s'élève à près de 78,3 milliards de FCFA et environ 680 000 personnes étaient touchées par cette catastrophe et 46 ont perdu la vie selon le Rapport d'Evaluation des Besoins Post Catastrophique (Banque Mondiale, 2011). On retient donc que les inondations représentent le risque naturel le plus prépondérant et le plus dévastant à l'échelle du Bénin. C'est donc dire que l'eau assure la vie mais qu'elle est aussi la source la plus fréquente et la plus préjudiciable de multiples problèmes que connaissent la plupart des populations béninoises, et plus précisément celle de la Commune d'Abomey-Calavi. Cette dernière qui est une ville côtière du Bénin est l'une des communes les plus touchées par les inondations avec une fréquence et une intensité qui ne cessent d'augmenter. La Commune d'Abomey-Calavi considérée comme la cité dortoir est

aujourd'hui l'une des grandes communes au regard de sa densité en terme de population. En 10 ans (2002-2013), la population d'Abomey-Calavi a quasiment doublée avec un taux d'accroissement inter censitaire de 6,7% (RGPH-4 ; 2013). Cette croissance rapide est notable surtout en milieu urbain où on note l'émergence de grandes villes et même de quelques mégapoles (Tabutin et al., 2004). Plusieurs déficits de développement se pointent donc à l'horizon pour que les habitants puissent vivre dans un cadre idéal.

En effet, vu la répétition des inondations et l'ampleur des dommages liés à ce fléau ces dernières années au Bénin et plus particulièrement à Abomey-Calavi, il est impératif de développer un plan de gestion global. Une voie d'amélioration de la gestion du risque lié à ces phénomènes naturels passe par une meilleure compréhension des processus mis en jeu (Gbaguidi, 2011). Ainsi, la méthode cartographique qui constitue un des moyens privilégiés pour l'analyse et la communication des événements géographiques, est mise en œuvre dans cette étude. Cette méthode est utilisée dans plusieurs études pour la prévention et la lutte contre l'inondation (Gbaguidi, 2011 ; Assogba, 2010 ; Wallez, 2010 ; Marion, 2012). Au regard de ces statistiques, il urge d'assigner une meilleure protection pour garantir l'avenir et la sécurité de la population de la Commune d'Abomey-Calavi. Le but de cette étude est de réaliser une cartographie des risques d'inondation dans la Commune d'Abomey-Calavi à travers une analyse fréquentielle et une modélisation de la propagation des ondes de crues pour une meilleure gestion des inondations.

2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE ET DES DONNEES UTILISEES

2.1 SECTEUR D'ETUDE

La Commune d'Abomey-Calavi, située dans la partie sud de la République du Bénin et du département de l'Atlantique, est limitée au Nord par la commune de Zè, au sud par l'océan Atlantique, à l'est par les communes de Sô-Ava et de Cotonou, et à l'ouest par les Communes de Tori-Bossito et de Ouidah. Située entre 06°18' 36" et 06°41' 24" de latitude Nord et entre 2° 12' et 2°18' 12" de longitude Est (Léopold, 2017), Abomey-Calavi est la commune la plus vaste du département de l'Atlantique dont elle occupe plus de 20% comme l'indique la figure ci-dessous (figure 4).

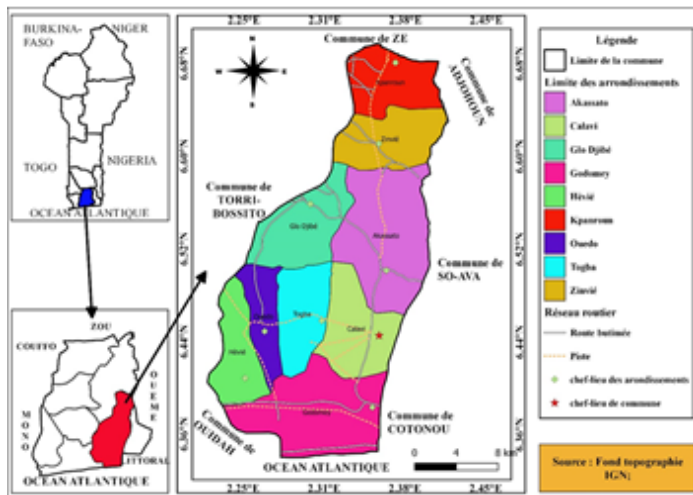


Figure 1 Situations géographiques et administratives de la Commune d'Abomey-Calavi (source : font topographique, IGN)

Pendant les saisons de pluie, les habitants des quartiers de Cocotomey et de Hêvié dans la Commune de d'Abomey Calavi sont souvent confrontés à de nombreux problèmes dûs aux inondations. Comme le témoigne la photo 1, l'accès aux écoles par les élèves devient très difficile.

De même, le transport des marchandises et des personnes dans ces milieux sont très difficile voire impossible (Photo 2). Les conditions de vie des populations sinistrées sont très mauvaises et nécessite beaucoup de soins. En Octobre 2019, à la suite des pluies intenses et successives enregistrées à Calavi, la Route National Inter-Etat reliant Godomey et Calavi était complètement submergée.



Photo 1 : Elèves pendant la saison des pluies.



Photo 2 : Transport en période d'inondation à Calavi en octobre 2019

2.2 COLLECTE DES DONNEES

Les données topographiques, cartographiques, et hydro-pluviométriques ont été collectées. Les données pluviométriques ont été acquises à IITA (International Institute Of Tropical Agriculture). Il s'agit des hauteurs maximales journalières de pluie à Abomey-Calavi couvrant la période de 1987 à 2018. Le Modèle numérique de terrain (MNT) exploité est téléchargé via le lien <https://earthexplorer.usgs.gov/> à partir des limites géographiques de la zone d'étude avec une résolution de 30 m. A ces données de cartographie s'ajoutent des données topographiques de l'Institut National de la Géographie (IGN) et du Centre National de Télédétection et du suivi écologique (CENATEL) du Bénin.

3. METHODES

3.1 CARACTERISATION DES EVENEMENTS EXTREMES PLUVIOMETRIQUES

La caractérisation des pluies extrêmes est nécessaire pour la détermination des précipitations journalières maximales annuelles susceptibles d'être observées. Souvent, l'avènement des inondations est constaté à la suite d'une pluviométrie extrême. L'analyse des précipitations maximales s'est faite en utilisant la méthode de l'analyse fréquentielle à l'aide du logiciel HYFRAN, 2003 (St-Hilaire, 2005). Il est conçu de façon à simplifier les tâches liées à l'ajustement d'une distribution statistique à un échantillon aléatoire.

Cette analyse fréquentielle à l'aide du logiciel HYFRAN consiste à identifier la loi qui ajuste au mieux les événements extrêmes du milieu d'étude et à estimer les périodes de retour correspondant aux pluies maximales. La loi GEV (Generalized Extreme Value), c'est-à-dire loi de Valeur Extrême Généralisée est une loi de probabilité à trois paramètres (paramètre de position μ , paramètre d'échelle α et paramètre de forme κ) souvent utilisée pour modéliser les maximas annuels de pluies journalières. Parmi les lois GEV, la loi de Gumbel est la mieux adaptée

dans l'estimation des crues extrêmes dans la partie Sud du Bénin où le régime subéquatorial est dominant d'après les études réalisées par Lawin et al. (2011). Cependant, de nombreux chercheurs préfèrent la loi des valeurs extrêmes (GEV) à la loi de Gumbel pour modéliser les pluies journalières maximales annuelles (Wilks, 1993; Chaouche A. et al., 2002; Koutsoyiannis, 2004; Onibon H. et al., 2004). La différence entre les quantiles estimés par la loi Gumbel et les quantiles par la loi GEV peut être considérable (Muller A., 2006). Pour une fréquence donnée, les quantiles d'une loi GEV peuvent être deux à trois fois plus grands que les quantiles d'une loi Gumbel (Muller, A., 2006). De ce fait, les lois de distribution suivantes sont retenues dans la présente étude :

- Loi de Valeur Extrême Généralise (GEV)
- Loi de Gumbel (Loi doublement exponentielle)

TABLEAU 1: Récapitulatif des fonctions de densité

Loi	Fonction de densité de probabilité	Paramètres
GEV	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left[1 - \frac{k}{\alpha} (x-u) \right]^{\frac{1}{k}-1} \exp \left\{ - \left[1 - \frac{k}{\alpha} (x-u) \right]^{\frac{1}{k}} \right\}$	α, u, k
Gumbel	$f(x, \alpha, u) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[- \frac{x-u}{\alpha} - \exp \left(- \frac{x-u}{\alpha} \right) \right]$	α, u

3.2 SIMULATION DE LA PROPAGATION DES EVENEMENTS PLUVIEUX EXTREMES

Cette simulation à base du logiciel HEC-RAS consiste à visualiser la propagation de l'eau lors d'une crue pluviale. Cette modélisation hydraulique est principalement fonction des valeurs de pluies et des conditions aux limites du modèle.

Equation de base entre deux cellules

Les profils de la surface de l'eau sont calculés entre deux cellules en résolvant l'équation d'énergie décrite sous la forme suivante :

$$Y_2 + \frac{\alpha_1 V_2^2}{2g} + Z_2 = Y_1 + \frac{\alpha_2 V_1^2}{2g} + Z_1 + h_e \quad (1)$$

Où :

- Y : Profondeur de l'eau au niveau des cellules
 - Z1, Z2 : Côte principale
 - V1, V2 : Vitesses moyennes (débit total/surface totale d'écoulement)
 - α_1, α_2 Coefficients de pondération de vitesse égale à 1
 - g : Accélération de la gravité
 - he : Perte totale d'énergie
- La perte totale d'énergie (he) entre deux cellules du maillage est liée aux pertes de frottement et aux pertes ou d'expansion. Elle est définie par la formule suivante:

$$h_e = L * Sf + \left| \frac{\alpha V_2^2}{2g} - \frac{\alpha V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

Où

- L : Longueur de la distance entre deux cellules,
- Sf: Angle de frottement représentatif deux cellules,

C : Coefficient de pente d'expansion

En dehors du Modèle Numérique de Terrain (MNT) du secteur, sous HEC-RAS, il est primordial d'élaborer des fichiers de la géométrie lui permettant de connaître les différentes valeurs caractérisant la surface d'écoulement, comme les valeurs de Manning caractérisant l'occupation du sol, le réseau routier, la pente, etc. Suite à ces fichiers s'ajoutent des fichiers de données d'écoulement, permettant l'introduction des valeurs de pluies dans le modèle.

➤ Elaboration de fichier de la géométrie

L'évolution du logiciel HEC-RAS a permis une amélioration et des apports significatifs tant dans la performance que dans la facilité d'utilisation de ce dernier. En conséquence, l'intégration de la nouvelle fenêtre RAS MAPER permet une aisance pour la conception de la géométrie 2D.

La transformation du fichier MNT en TIN s'effectue directement par le logiciel, pour faciliter la computation pour une analyse par élément fini. A partir des outils du RAS MAPPER, il est possible de concevoir des fichiers de géométrie pour la modélisation : c'est la conception de la surface d'écoulement (flow areas)

La conception des surfaces d'écoulement (flow areas) se fait, grâce à des outils incorporés dans RAS MAPPER en occurrence le 2D flow areas. Il permet de générer une surface sur laquelle s'effectuera la simulation. Sur cette surface sera appliquée une grille de maille de 50*50, dans le but d'engendrer des cellules nécessaires pour le calcul. Cette surface est un polygone et est définie par le contour du secteur d'étude.

➤ Elaboration des fichiers d'écoulements

Comme exprimés dans les équations, les algorithmes exploités par HEC-RAS requièrent un certain nombre de paramètres hydrauliques importants pour la simulation. Les plus essentiels sont les valeurs de rugosité de Manning Strickler, de la précipitation, et le normal depth. Dans notre cas, les valeurs de précipitations sont celles estimées avec la loi de GEV.

Les valeurs de rugosité n de Manning : la valeur de la rugosité ou le coefficient de Manning Strickler est indiqué pour les différents types d'occupation de sol. Elles permettent de prendre en considération l'aspect rugueux de la surface d'écoulement. Plusieurs études ont été menées pour pouvoir connaître la valeur équivalente et spécifique du coefficient de frottement selon le type d'occupation. Au nombre de ces résultats de recherche, le Tableau 2 présente, les valeurs usuelles de la rugosité de Manning selon le type d'occupation du secteur d'étude.

TABEAU 2 : Coefficient de rugosité (K) de Manning.

Color	Value	Name	Default Manning's n
	0	nodata	
	1	agglomeration	0.028
	2	formation marceageuse	0.03
	3	fort dense	0.15
	4	mosaque de culture et jachre	0.035
	5	mosaque de culture et jachr...	0.04
	6	plage sablonneuse	0.028
	7	plan d'eau	0.1
	8	plantation	0.04

Source : coordonnées (occupation) HEC-RAS Reference Manuel PDF foxt. Reader

❖ Conditions aux limites du modèle

Les conditions aux limites permettent de fournir aux modèles toutes les informations arithmétiques nécessaires pour la modélisation. Elles permettent de définir le régime d'écoulement, les conditions d'écoulement, la durée (24h) et l'intervalle de simulation (1h).

Les conditions aux limites de la modélisation sont ; un écoulement non permanent avec des précipitations de chaque période de retour en entrés sous l'onglet Unsteady flow data (données d'écoulement transitoire) dans HEC-RAS.

De façon spécifique, pour la simulation, trois (03) lignes de conditions aux limites (Boundary conditions lines) ont été ajoutés. L'une à l'ouest du secteur d'étude, l'autre à l'est et la dernière au Sud. Ces trois (03) conditions aux limites permettent d'insérer des valeurs et nécessaires pour la bonne marche du modèle. En conséquence, il s'agira des séries de valeurs de précipitations extrêmes évaluées d'une part et d'autre part des valeurs de pente moyenne de nord au sud, de l'ouest à l'est et de l'est à l'ouest qui serviront des valeurs d'entrées pour les 04 conditions aux limites. Cependant, l'hétérogramme de crue (unité en millimètre) est d'ordre horaire, donc le data time interval est de 1heure (60 minute).

Pour une bonne adéquation avec le bilan hydrologique et d'une approche vers la réalité, des hypothèses de la modélisation ont été formulées. Il s'agit entre autres :

- une répartition homogène de la précipitation sur toute l'étendue de la surface de la commune d'Abomey-Calavi
- un sous-sol est plus ou moins saturé à l'avènement de ces crues ;
- une averse intense et instantanée ;

Le modèle HEC-RAS permet de spatialiser la couverture de zones immergée lors d'une averse. Les résultats de sortie après simulation, seront utilisés pour cartographier les zones inondables, les zones à risque et les dommages dus aux inondations.

1.1. Cartographie des zones inondables et du risque des dommages dû aux inondations

Deux types de cartographie sont prévus dans le cadre de ce travail :

- la cartographie des zones soumises à l'aléa d'inondation (cartes des zones inondables relatives à 5 scénarios de probabilité)
- la cartographie du risque de dommages dûs aux inondations qui comprend la carte des risques d'inondation et la carte du risque de dommages.

Les cartes des risques des dommages d'inondation présentent les dommages potentiels associés aux inondations sur les récepteurs de risques suivants :

- Population potentiellement touchée ;
- Activités économiques potentiellement touchées ;
- Installations susceptibles de provoquer une pollution accidentelle en cas d'inondation
- Zones protégées potentiellement touchées

En effet, la réalisation de la carte d'occupation du sol de la zone d'étude s'avère indispensable.

❖ Traitement des images satellitaires

Les traitements thématiques permettent de produire de nouvelles informations à partir des données préparées à l'aide des prétraitements. Le logiciel utilisé ici pour ces traitements est le logiciel payant ENVI 4.5 de la firme EXELIS. Ce traitement se fait suivent six étapes que sont:

- Création des métadonnées ;
- Création d'un indice de végétation NDVI
- Composition colorée des bandes
- Classification de l'image
- Evaluation et validation de la classification
- Filtrage de l'image classifiée
- Vectorisation et production cartographique

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 AJUSTEMENT DES DISTRIBUTIONS

Le Tableau 3 présente les paramètres estimés pour la loi GEV et la loi Gumbel par la méthode de maximum de vraisemblable. Ces deux lois ont respectivement trois et deux paramètres. Les valeurs de la moyenne obtenue pour les deux distributions sont 90,79 mm et 87,09 mm pour respectivement les lois GEV et Gumbel. Ceci indique une différence d'environ 3 mm entre les moyennes des deux distributions. Les valeurs obtenues pour le paramètre d'échelle sont aussi très proches, soit respectivement 30,50 pour GEV et 29,67 pour Gumbel.

TABEAU 3: Valeurs des paramètres estimés par la méthode du Maximum de Vraisemblance de la loi GEV et de la loi Gumbel.

Lois	Nombre de paramètres	Paramètres calculés
		$\mu = 90,7865$

GEV	03	$\alpha = 30,5014$ $k = 0,199887$
Gumbel	02	$\mu = 87,0949$ $\alpha = 29,6747$

La figure 2 presente les courbes d'ajustement des lois GEV et Gumbel pour les pluies extrêmes d'Abomey Calavi. De l'analyse de ces figures, on remarque que toutes les observations sont comprises dans l'intervalle de confiance 95% par les deux lois. On peut donc dire que les deux lois sont susceptibles de bien caractériser l'occurrence des pluies extrêmes de la Commune d'Abomey-Calavi. Cependant, ces deux lois ont été comparées afin d'identifier celle qui caractérise au mieux les pluies extrêmes du secteur d'étude.

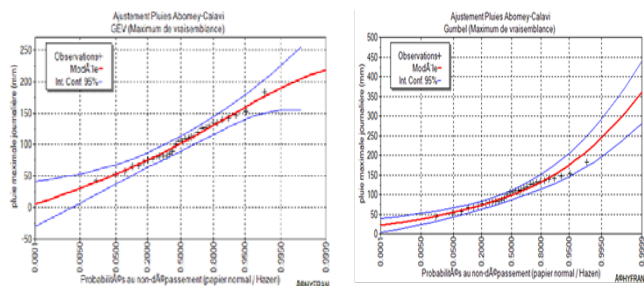


Figure 2 : Ajustement des pluies de la Commune

Périodes de retour (ans)	Fréquences (%)	Fréquences calculées	Pluies Journalières (mm)	Intervalle de confiance (mm)
2	50	0.5	101	89.3 - 113
5	20	0.8	130	116 - 144
10	10	0.9	146	130 - 162
20	5	0.95	159	140 - 178
30	3	0.96	166	144 - 187

d'Abomey Calavi par la loi GEV avec intervalle de confiance 95%.

Critères de sélection des lois de distributions statistiques
La validité des résultats d'une analyse fréquentielle réside dans le choix du modèle fréquentiel. Ainsi après ajustement à la série constituée, deux moyens peuvent être mis en œuvre pour choisir la loi statistique qui s'ajuste au mieux à la série. Il s'agit de la méthode d'observation graphique et celle basée sur les critères AIC et BIC. D'après Montanary (2009) et Alamou (2011), la méthode graphique est la façon la plus efficace pour visualiser la série de données et vérifier si les distributions ajustées sont en accord avec les données. La figure 3 permet l'observation graphique des lois GVE et Gumbel.

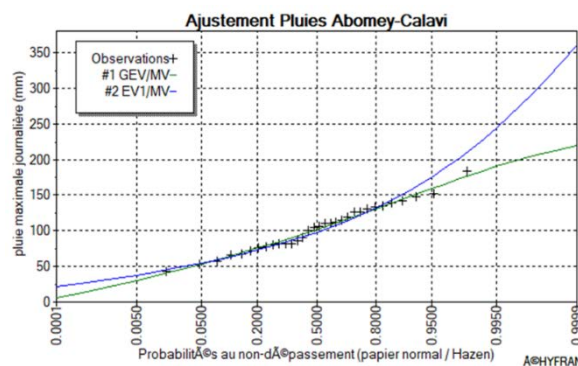


Figure 3 : Comparaison graphique des lois de probabilités appliquées à la série des données de pluie d'Abomey-Calavi.

Dans l'axe des observations, on remarque que les courbes sont confondues. Cependant on peut observer des comportements plus ou moins distincts vers les valeurs extrêmes ; elles ont tendance à avoir un comportement asymptotique pour des probabilités de non-dépassement très grandes propres aux lois de valeurs extrêmes. Il ressort donc que la loi de GEV s'adaptait mieux à des séries des précipitations journalières maximales observées dans la Commune d'Abomey-Calavi. En revanche, l'application de la loi de Gumbel peut conduire à une mauvaise estimation du risque par une sous-estimation des plus grandes valeurs extrêmes de pluies.

De l'examen du Tableau 4, une averse de 101 mm pourrait se produire à la fréquence d'une fois tous les deux ans. Cette averse a une probabilité de 50% de se produire chaque année. Cependant, il y a une chance de 10% pour observer chaque année, une pluie décennale (146 mm) dans la Commune d'Abomey-Calavi.

TABLEAU 4 : Pluies extrêmes de la Commune d'Abomey-Calavi pour différentes périodes de retour.

4.2 SIMULATION DE LA PROPAGATION DES EVENEMENTS PLUVIEUX EXTREMES

Les résultats des simulations hydrauliques des pluies estimées permettent de concevoir les différentes cartes de zone inondable pour différentes périodes de retour. La figure 4 présente la carte des zones inondables pour une pluie de période de retour 2 ans. De cette carte, il ressort que lors d'une inondation de période de retour 2 ans, 35% de la superficie totale de la commune est susceptible d'être inondée. Cette averse d'intervalle de confiance 89.3 mm et 113mm, pourrait se produire à la fréquence d'une fois tous les deux ans. Cette averse a une probabilité de 50% de se produire chaque année.

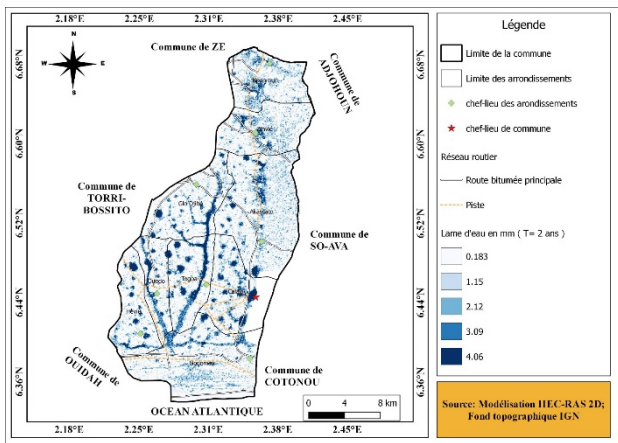


Figure 4 : Inondation pluviale de période de retour de 2 ans.

Les résultats de la simulation des précipitations dans la Commune d'Abomey-Calavi sont hétérogènes. L'analyse de l'ensemble des cartes obtenues révèle l'existence de plusieurs points menacés par des eaux pluviales à partir des tronçons étudiés. On note :

- Les routes principales bitumées : les tronçons Godomey et Abomey-calavi ; Missessinto et Glodji...
- Les pistes : les tronçons reliant Abomey-Calavi et Togba ; kokokodji et Oudo ; Agassa-Godomey et Zinvé ; zoungbo et kpanrou...
- Les agglomérations, les plantations et les biens des localités sont aussi touchés dans plusieurs zones.
- Dans les zones humides, la profondeur des eaux atteint 3 m au niveau du centre-ville et 1 à 2 m dans les zones inondables.

Les régions les plus touchées sont toujours les arrondissements d'Abomey-Calavi, Togba, Godomey et Kpanrou (Figure 5). Par ailleurs, il est constaté que la superficie de zone inondée augmente avec la période de retour.

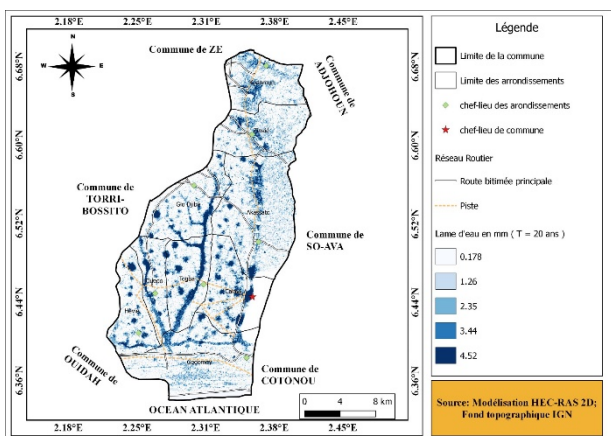


Figure 5: Inondation pluviale de période de retour 20 ans

4.3 Carte des risques d'inondation

La compilation des diverses cartes résultantes des simulations des pluies extrêmes dans la Commune

d'Abomey-Calavi, permet de générer une carte des zones inondable à différents niveaux de risque. Les zones à risque fort d'inondation représentent environ 32,31% de la superficie totale de la zone d'étude. Les zones à risque moyen constituent 19,75% tandis que les zones à risque faible représentent 47,94% (Figure 6).

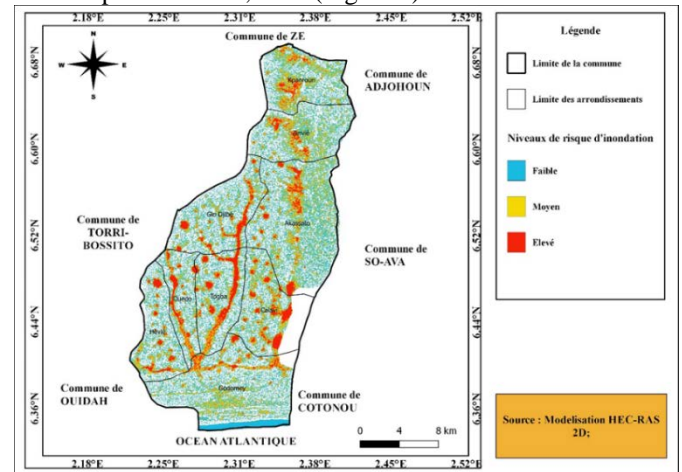


Figure 6 : Cartographie des zones à risques d'inondation dans la Commune d'Abomey-Calavi

- Les zones à risques faible concernent les secteurs pour lesquels l'établissement humain usuel permanent est conseillable ;
- Les zones à risques moyen regroupent les secteurs où l'établissement humain permanent reste possible, mais des précautions spécifiques sont recommandées ;
- Les zones à risques fort délimitent les secteurs sur lesquels l'établissement humain permanent est déconseillé sauf si des précautions importantes sont prises.

4.4 Carte des dommages

La photographie aérienne, qui permet d'obtenir des images de haute résolution de la zone inondée, est considérée comme une source de données de qualité pour la délimitation et l'analyse des zones inondées (Schumann et al., 2009). La carte de l'occupation 2017 de la Commune d'Abomey-Calavi (Figure 7) nous a permis de mettre en exergue les dommages causés par les inondations dans la commune

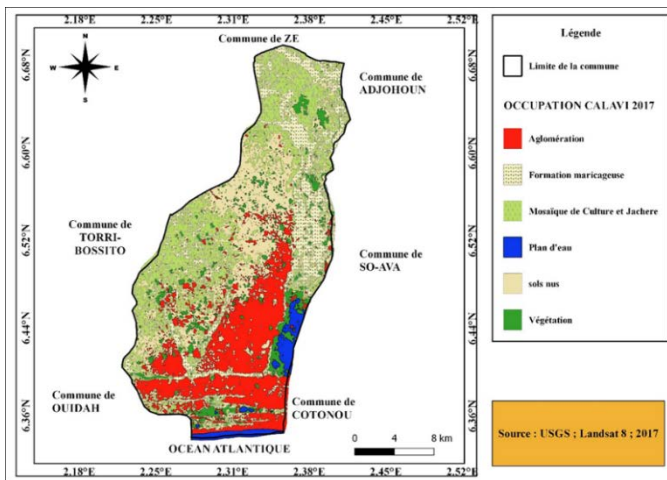


Figure 7: Occupation du sol dans la commune d'Abomey-Calavi (USGS ; Landsat 8 ; 2017).

De cette carte, il en ressort que la partie Sud de la Commune d'Abomey-Calavi est dominée par des habitations. L'ensemble des récepteurs de risque sont regroupé dans la classe des agglomérations. En effet, l'extraction des polygones de l'agglomération et la compilation de ces derniers avec la carte des risques d'inondation, révèlent qu'une très bonne partie de la population de la commune vive dans des zones humides qui sont des zones à risque d'inondation comme l'indique la Figure 8 ci-dessous.

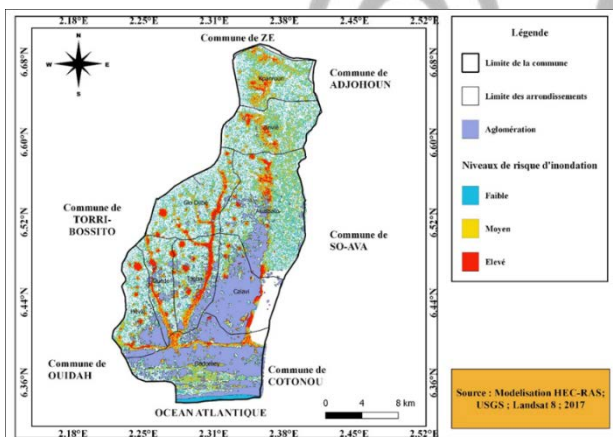


Figure 8 : Cartographie des dommages dus aux inondations

Les arrondissements d'Abomey-Calavi, de Togba et de Godomey sont les zones les plus urbanisées dans la commune. Ces trois zones ont été potentiellement décrites comme inondables à l'avènement de toutes formes de pluie extrême. Ainsi, cette répartition spatiale, met en exergue les pertes et dommages enregistrés lors des inondations dues aux pluies extrêmes.

5. DISCUSSION

Les résultats obtenus sont relativement appréciables et refléteraient la réalité des faits sur diverses dimensions. D'après l'examen visuel, la loi GEV a donné le meilleur ajustement des séries pluviométriques maximales

journalières de la station de IITA. Tandis que la loi Gumbel surestime ces valeurs. Ces résultats sont conformes à ceux de Brahi, et al (2011) qui pense que les lois Gumbel, Log normale, et de Pearson type III ont tendance à surestimer les valeurs fortes.

Les résultats de la simulation basée sur le MNT de la commune, montrent l'influence du relief très plat sur les inondations observées dans la zone d'étude en accord avec les observations de Gaguidi (2011). Selon lui, le relief relativement plat de la ville de Cotonou n'est pas favorable à un drainage naturel.

La superficie inondée pour une période de retour de 2 ans est estimée à 35,14%. Celle de 10 ans est estimée à 38,36% de la superficie totale de la zone d'étude. Il est constaté donc que la superficie des zones inondées augmente avec la période de retour et que les zones à grand risque de dommage sont les arrondissements de Godomey et Abomey-Calavi qui constituent les arrondissements les plus peuplés de la commune. Ceci est en corrélation avec l'étude de Mama et al (2017).

La cartographie de ces inondations nécessite des données planimétriques de très grandes résolutions quelle que soit l'approche de cartographie adoptée. Le manque, l'insuffisance et la qualité de certaines données utilisées dans la présente recherche méritent d'être soulignés car ils peuvent limiter la portée des résultats obtenus. Les MNT utilisés dans la réalisation de l'étude (30 m de résolution)

CONCLUSION

Cette étude portant sur la cartographie et l'analyse des inondations dans la Commune d'Abomey-Calavi, est basée essentiellement sur les différents outils et données cartographiques, sur des données hydro-climatiques et sur l'utilisation d'un modèle hydraulique. La méthodologie repose sur l'exploitation des diverses sources d'information, des analyses statistiques, de la modélisation hydraulique et de la cartographie. L'exploitation des pluies extrêmes dans une étude hydraulique permet de décrire la propagation de ces pluies dans la zone d'étude. Ces informations constituent la base de la délimitation des zones menacées par les inondations.

Les études réalisées ont permis de délimiter les zones inondables dans la Commune d'Abomey-Calavi. Les quatre zones fortement menacées par les inondations sont les arrondissements de Godomey, Abomey-Calavi, Togba et kpanrou. On note également les routes RNIE2 reliant Godomey et Abomey-Calavi, RN30 reliant Abomey-Calavi, Togba et Oudo et RN31 reliant Zinvi et Zoungbo QUI sont inondées. Les cartes obtenues ont permis aussi de visualiser la répartition de la profondeur des eaux, et aussi à identifier les zones à risque faible, les zones à risque moyen et les zones à risque élevé.

Sur la base des résultats obtenus, des mesures adéquates pour la protection de la commune étudiée contre les événements pluvieux extrêmes ont été suggérées. Il s'agit de :

- une meilleure occupation et exploitation territoriale par installation de la population dans les zones inondées ;
- la construction des ouvrages d'assainissement et le curage des collecteurs d'eau existants pour permettre une évacuation rapide et saine de l'eau.

Pour compléter ce travail, nous envisageons étudier les périodes de retour pour le dimensionnement des réseaux d'assainissement (collecteurs d'eau pluviales) dans la Commune d'Abomey-Calavi.

REFERENCES

- [1] Alamou, E. (2011) Application du principe de moindre action a la modélisation pluie - débit. Thèse de Doctorat. CIPMA - chaire UNESCO, Université d'Abomey - Calavi, 231 pages
- [2] Brüscheiler S. ,2003. Gestion intégrée des Ressources en Eau (GIRE). La voie du développement durable Info Ressource Focus n°1, 16p
- [3] Cahier des villages et quartiers de ville du département de l'atlantique (RGPH-4, 2013)
- [4] Chaouche, K., Hubert, P. & Lang, G., 2002. Graphical characterisation of probability distribution tails. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 16(5):342-357.
- [5] Fao, (2007). Climate change and Food security : a Framework for Action, Rome, conférence de Bali, 78 p
- [6] Gaye, A. (2009). Consultation sous-régionale pour la préparation aux inondations en Afrique de l'Ouest.
- [7] Gbaguidi (T. B.), 2011. Système d'Information et représentations cartographiques pour la gestion des inondations à Cotonou, mémoire pour l'obtention du master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Ouagadougou Miller B. John, 1997: Inondation: personnes menacées - stratégies de prévention. Genève, ouvrage général, 93 p.
- [8] GIEC (2007). Contribution du Groupe de travail II au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Résumé à l'intention des décideurs, 12 p.
- [9] Koutsoyiannis D. (2004) Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall: I. Theoretical investigation. Hydrological Sciences, 49(4) August 2004, pp. 575-590
- [10] Krill J-M., (2007). Les risques climatiques, Horizon, 19 p
- [11] Lawin A. E., Afouda A. et Lebel T., (2011). Analyse de la variabilité du régime pluviométrique dans la région agricole d'Ina au Bénin. European Journal of Scientific Research, ISSN 1450-216 X Vol.50, No.3, pp 425-439.
- [12] Nation Unies, 2010. Benin emergency Humanitarian Action Plan. Flood full report, 41p
- [13] Onibon H., OUARDA T. B. M. J., BARBET M., ST-HILAIRE A., BOBEE B. et BRUNEAU P.(2004) : Analyse fréquentielle régionale des précipitations journalières maximales annuelles au Québec, Canada. Hydrological sciences journal, 2004, vol. 49, no4, pp. 717-735
- [14] 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 »
- [15] Wilks, D.S. and R.P. Cember, 1993, Atlas of Precipitation Extremes for he Northeastern United States and Southeastern Canada, NRCC Research Publication RR 93-5. 40 pp.