

Détermination des zones à risque d'inondation sur le bassin versant du Gourou Abidjan, Côte d'Ivoire

Gnoneyougo Emile SORO*, Kouassi Salomond KOUAKOU et Tié Albert GOULA BI

*Université NANGUI ABROGOUA, Laboratoire de Géosciences et Environnement (LGE),
02 BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire*

* Correspondance, courriel : ge_soro@yahoo.fr

Résumé

Le réchauffement climatique en cours est accompagné d'une augmentation des inondations avec des conséquences catastrophiques pour les sociétés humaines. Pour une meilleure protection des populations contre les inondations, il est indispensable d'élaborer des stratégies d'atténuation ou d'adaptation le cas échéant à travers des outils d'aide à la décision que sont les cartes du risque d'inondation. La présente étude se propose d'élaborer une cartographie des zones à risque d'inondation dans le District d'Abidjan notamment sur le bassin versant du Gourou confronté à de récurrente et importante inondations. Pour ce faire, des données climatiques et satellitaires ainsi que des plans du réseau d'assainissement ont été analysées à l'aide des méthodes statistiques et de traitements d'images. L'analyse de l'aléa pluviométrique met en évidence une baisse des pluies extrêmes sur la période 1963 - 2013. Le croisement des cartes de vulnérabilité et de sensibilité permet de mettre en évidence que les zones classées à risque d'inondation "très fort" couvrent 54,36 % de la superficie du bassin versant du Gourou. Cette classe est prépondérante dans la partie nord du bassin versant caractérisée par un réseau de drainage et des pentes faibles et la présence d'importantes zones de dépression.

Mots-clés : *cartographie, risque d'inondation, bassin du Gourou, Abidjan.*

Abstract

Determination of areas at risk of flooding in the watershed Gourou Abidjan, Côte d'Ivoire

Global warming is accompanied by increases in flooding resulting in catastrophic consequences for human societies. For better protection of populations against flooding, it is essential to develop mitigation or adaptation strategies where appropriate through various tools such as maps of flood risk. This study was proposed to develop a mapping of areas at risk of flooding in the Gourou river basin where severe flooding occur every year. To achieve this, climate and satellite data as well as network maps sanitation map were analyzed using statistical methods and image processing. The analysis in rainfall shows a decrease of extreme rainfall over the period 1963 - 2013. The crossing maps of vulnerability and sensitivity to allow evidence that the classified areas at risk of flooding "very high" cover 54.36 % of the area of the Gourou watershed. This class is predominant in the northern part of the watershed characterized by a drainage network and gentle slopes and the presence of large areas of depression.

Keywords : *mapping, flooding risk, Gourou watershed, Abidjan.*

1. Introduction

Les catastrophes naturelles ont toujours existé et constituent un phénomène courant et récurrent dans l'histoire de l'humanité [1]. Mais, depuis quelques décennies les phénomènes catastrophiques semblent advenir à un rythme plus accéléré et semblent être potentiellement, plus dangereux et plus dévastateurs. Plusieurs régions du monde sont touchées avec des dommages considérables [2]. C'est à cette situation qu'est soumis les pays africains qui en terme de fréquence, de typologie, de catastrophe naturelle, sont les plus frappés par les inondations. Par ailleurs, ces événements extrêmes s'avèrent désastreux pour les communautés urbaines dépourvues de solutions durables de lutte. En Afrique de l'Ouest, en dépit de ce contexte climatique caractérisé par un déficit pluviométrique, de nombreux pays (Benin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Niger, Ghana, Sénégal, Togo) sont confrontés à de graves problèmes d'inondation tant en milieu urbain que rural [3]. En effet, les inondations ont entraîné plusieurs pertes en vies humaines dans la plupart des pays de l'Afrique de l'Ouest [4]. Ces événements entraînent des pertes de vies et la destruction ou l'affaiblissement des moyens d'existence des populations et par conséquent la fragilisation de leur sécurité alimentaire et nutritionnelle [5]. En Côte d'Ivoire, durant les deux dernières décennies, les inondations ont été très destructives notamment dans la ville d'Abidjan. A titre d'illustration, lors des épisodes pluvieux du 30 au 31 Mai 1996, les inondations ont occasionné trente morts et des dégâts matériels [6]. En Juin 2014, les pluies diluviennes qui se sont abattues sur la ville d'Abidjan ont été sans pitié tant pour les hommes que pour les maisons entraînant ainsi plus de 27 morts [7]. Cet inventaire, non exhaustif, montre les conséquences néfastes des inondations notamment en milieu urbain.

Pour ces événements, l'hydrologie joue un rôle majeur. Les pluies "fortes" sont souvent à l'origine des catastrophes, mais ne sont pas les seuls facteurs : l'état hydrique des sols, les caractéristiques des terrains (pentes, profondeurs des sols), couvert végétal sont aussi déterminants. Par ailleurs, l'ampleur des dommages liés aux inondations récurrentes à Abidjan a mis à jour les insuffisances de gestion dans le domaine du risque d'inondation. Une voie d'amélioration de la gestion du risque lié à ces phénomènes naturels passe par une meilleure compréhension des processus mis en jeu. Des initiatives ont été menées dans des communes de la ville d'Abidjan avec des résultats encourageants [8 - 10]. Cependant, peu d'études se sont orientées sur les inondations dans les bassins versants urbains du district d'Abidjan notamment le bassin versant du Gourou. D'où cette étude sur le bassin versant du Gourou. Ce bassin est à cheval entre quatre communes du district d'Abidjan (Adjamé, Abobo, Cocody et Plateau) avec une population de 2 800 000 personnes dont 500 000 populations riveraines. Ce bassin versant en milieu urbain est défini par sa forte et anarchique urbanisation, la réalisation partielle des réseaux de voirie, d'assainissement et de drainage et la mauvaise gestion des déchets solides qui entraînent des crues de forte amplitude, l'érosion des sols et l'incapacité du réseau d'assainissement existant d'absorber et d'évacuer les eaux de drainage. Cette situation entraîne des inondations récurrentes au niveau du carrefour de l'Indénié et des quartiers environnants. La présente étude se propose dans un tel contexte d'analyser les facteurs impliqués dans les inondations et d'établir une cartographie des zones à risque afin d'apporter des solutions pour la mise en place d'un processus de prévention et de gestion efficace du phénomène.

2. Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant du Gourou est situé au sud de la Côte d'Ivoire dans le District d'Abidjan et couvre une superficie de 27,5 Km² (*Figure 1*). Il s'étend d'Abobo à l'échangeur de l'Indénié à Adjamé sur 9 kilomètres long et d'une largeur moyenne de 3 kilomètres avec une population de près de 500 000 habitants. Il est limité à l'Est par le prolongement du boulevard Latrille vers le quartier des deux plateaux et à l'Ouest par la ligne du chemin de fer (Adjamé - Anyama).

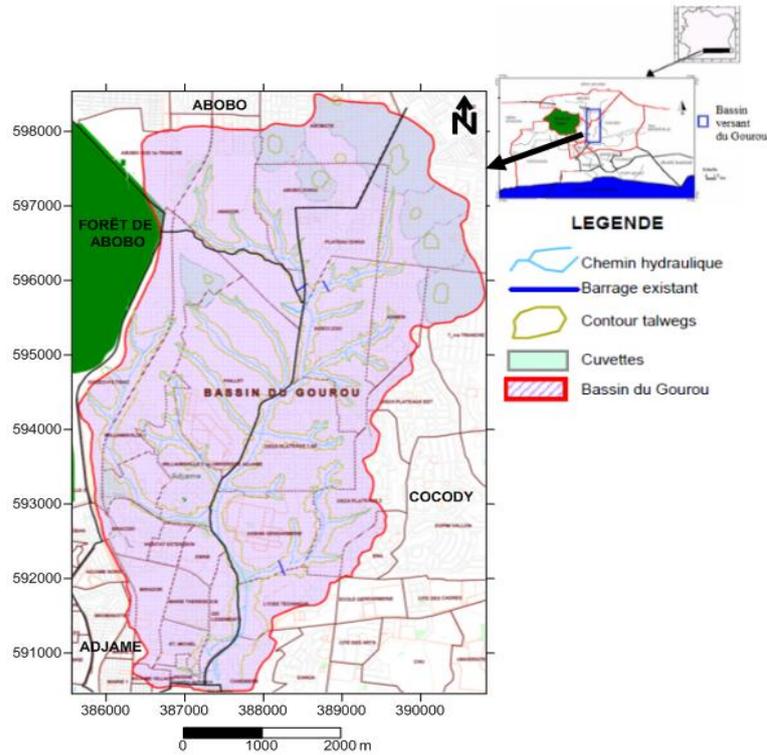


Figure 1 : Localisation géographique du bassin versant du Gourou

3. Données et méthodes

3-1. Données d'étude

Les données d'étude sont constituées de relevés pluviométriques, de données optiques, de cartes du réseau hydrographique et d'assainissement et des données du Modèle Numérique de Terrain (MNT). Les caractéristiques des données sont indiquées dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Caractéristiques des données d'étude

Type de données	Période	Source
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pluies extrêmes (horaires ; mensuelles ; annuelles) 	1936 - 2013	Direction de la Météorologie Nationale de la Côte d'Ivoire Abidjan - aéroport
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Images satellitaires ETM + de Landsat de la scène 196/056 	Mars 2002 Mars 2013	http://earthexplorer.usgs.gov/ .
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Carte du réseau d'assainissement 	2014	Office Nationale de l'Assainissement et du Drainage
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modèle Numérique de Terrain (MNT) de résolution 90 m 	2008	Navette spatiale américaine Endeavour (NASA)

3-2. Méthodes

3-2-1. Caractérisation de l'aléa pluviométrique

Le test de Mann - Kendall [10, 11] permet d'analyser l'évolution temporelle des pluies extrêmes sur une période donnée. Ainsi, ce test non paramétrique est utilisé pour détecter d'éventuelles tendances dans les séries d'intensités maximales annuelles et des hauteurs de pluies journalières extrêmes. Il s'agit d'une procédure dans laquelle on compare chaque hauteur de pluie ou intensité maximale de pluie de la série de base avec les précédentes. Soit (X_1, \dots, X_n) un échantillon de valeurs indépendantes issu d'une variable aléatoire X dont on cherche à évaluer la stationnarité. L'hypothèse nulle H_0 est l'hypothèse de stationnarité de la série (absence de tendance). L'hypothèse alternative H_1 correspond à la non stationnarité de la série.

3-2-2. Cartographie du risque d'inondation

Pour déterminer les zones à risque d'inondation dans le bassin, la méthode d'analyse multicritères a été utilisée. Divers types de traitement ont été nécessaires avec plusieurs logiciels. Envi 4.7 et ArcView ont servi au prétraitement et au traitement des images satellitaires. Le logiciel surfer 8 pour l'analyse spatiale des quantiles extrêmes. Plusieurs paramètres sont pris en compte dans la détermination du risque d'inondation. Ces paramètres sont constitués des variables environnementales et naturelles dont la susceptibilité à produire une inondation est effective. Il s'agit de la pente du terrain, le réseau de drainage, le réseau d'assainissement et l'occupation du sol. Une analyse de ces facteurs conduit à définir deux descripteurs de l'inondation : la sensibilité à l'inondation et la vulnérabilité du terrain à l'inondation.

Pour déterminer la sensibilité du bassin à l'inondation ; plusieurs cartes thématiques ont été préalablement établies. Il s'agit de la carte des pentes, la carte de densité de drainage et la carte du réseau d'assainissement. La combinaison de ces différentes cartes dans l'outil Raster calculator sous ArcView a permis d'élaborer la carte de la sensibilité à l'inondation du bassin du Gourou. La carte de vulnérabilité a été obtenue par traitement de la carte d'occupation du sol. Pour obtenir la carte du risque d'inondation, la combinaison par codification de la carte de sensibilité et la carte de vulnérabilité a été faite. Le risque d'inondation défini comme un événement dommageable doté d'une certaine probabilité, liée à la conjonction de la sensibilité (l'aléa) et de la vulnérabilité. Les principales étapes de la détermination du risque d'inondation sur le bassin du Gourou sont résumées par la **Figure 2**. L'approche méthodologique adoptée a permis de déterminer les zones à risque d'inondation sur le bassin gourou.

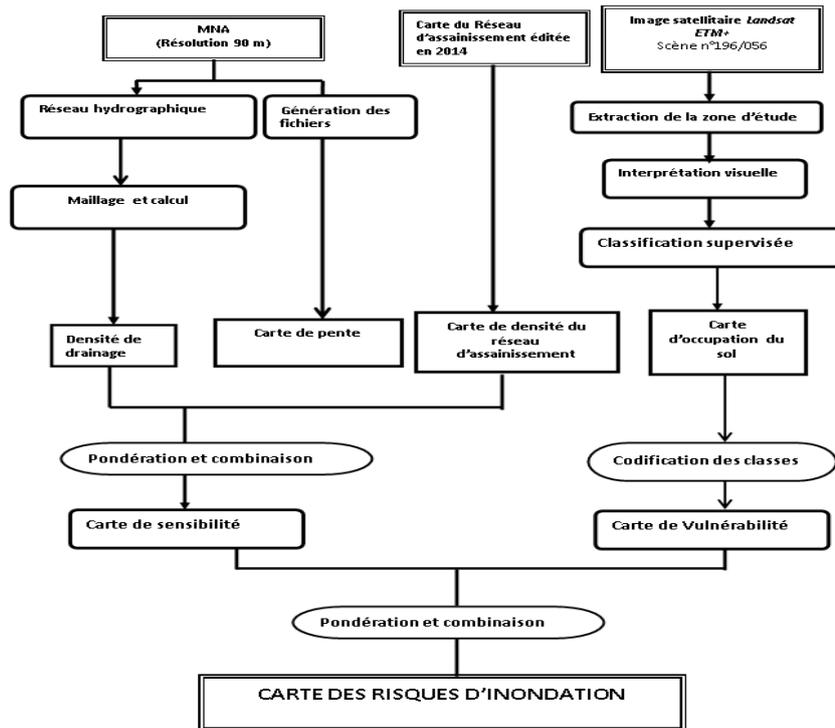


Figure 2 : Synthèse méthodologique de la mise en place de la carte des risques à l'inondation du bassin du Gourou

4. Résultats

4-1. Analyse de l'aléa pluviométrique

4-1-1. Tendance des pluies extrêmes horaires

Le **Tableau 2** présente les résultats du test de Mann - Kendall appliquées aux séries de pluies extrêmes à l'échelle horaire. Globalement, les pluies au pas de temps sub-journalier ont significativement baissé dans le bassin versant du Gourou. Les pluies de durées supérieures à 30 minutes sont les plus affectées par cette tendance à la baisse.

Tableau 2 : Tendances des séries de pluies extrêmes horaires

Durée	Niveau de significativité	Tendance observée	Décision du test
10 min	-77,60	baisse	non significative
15 min	-75,88	baisse	non significative
30 min	-98,52	baisse	significative
45 min	-95,75	baisse	significative
60 min	-98,88	baisse	significative
90 min	-98,73	baisse	significative
120 min	-97,84	baisse	significative
180 min	-98,65	baisse	significative
240 min	-97,51	baisse	significative

(Les chiffres en gras indiquent une tendance significative au risque de 5 %.)

4-1-2. Tendance des pluies extrêmes mensuelles

Les résultats du test de Mann - Kendall appliqués aux séries de pluies extrêmes à l'échelle mensuelles sont présentés dans le **Tableau 3**. A cette échelle temporelle, les pluies extrêmes sont très peu affectées par un changement significatif. Les pluies extrêmes du mois d'Août sont les seules à subir une tendance à la baisse.

Tableau 3 : Tendances des séries de pluies extrêmes mensuelles

Mois	Niveau de significativité	Tendance observée	Décision du test
janvier	-65,7	baisse	non significative
février	-4,6	baisse	non significative
mars	-78,2	baisse	non significative
avril	-23,8	baisse	non significative
mai	-5,3	baisse	non significative
juin	-40,4	baisse	non significative
juillet	-88,6	baisse	non significative
août	-93,2	baisse	significative
septembre	-32,3	baisse	non significative
octobre	-58,8	baisse	non significative
novembre	-77,8	baisse	non significative
décembre	85,5	baisse	non significative

(Les chiffres en gras indiquent une tendance significative au risque de 5 %.)

4-1-3. Tendance des pluies extrêmes annuelles

Le **Tableau 4** présente les tendances observées dans les séries de pluies extrêmes annuelles à la station d'Abidjan Aéroport. L'on observe une baisse significative dans les pluies journalières maximales annuelles d'Abidjan sur la période 1936 - 2013. Ainsi, les pluies fortes sont devenues moins fréquentes dans la ville d'Abidjan.

Tableau 4 : Tendances des séries de pluies extrêmes mensuelles

période	Niveau de significativité	Tendance observée	Décision du test
1963-2013	-97,23	baisse	significative

(Les chiffres en gras indiquent une tendance significative au risque de 5 %.)

4-2. Analyse de la sensibilité du risque d'inondation

Dans l'analyse du phénomène d'inondation, plusieurs cartes thématiques (carte des pentes, carte de densité de drainage, carte de densité de réseau d'assainissement) ont été obtenues après divers traitements.

4-2-1. Analyse des pentes du bassin versant

La **Figure 3** présente la répartition spatiale des pentes sur le bassin versant. L'analyse a permis d'obtenir quatre classes de pentes. La zone à pente faible est très prépondérante dans les parties nord du bassin versant couvrant les secteurs Anador, Abobo Dokui et Aboboté (commune d'Abobo) et ceux du Plateau Dokui (commune de Cocody). Les pentes de cette classe varient entre 0 - 5,2 % et couvrent globalement 48,387 %

soit 13,31 Km². La classe à pente moyenne se trouve à proximité des zones de talwegs. Les pentes sont comprises entre 5,2 % et 10,3 % et représente 33,871 % de la superficie soit 9,31 Km². Les zones à pente forte représentent 16,129 % de la zone d'étude soit 4,44 Km². Cette classe est en grande partie caractérisée par des zones de talwegs avec des pentes comprises entre 10,3 % et 15,5 %. Dans les zones à pente très forte, les pentes sont comprises entre 15,5 % et 20,6 %. Cette classe occupe 0,44 % de la zone d'étude soit 1,613 Km².

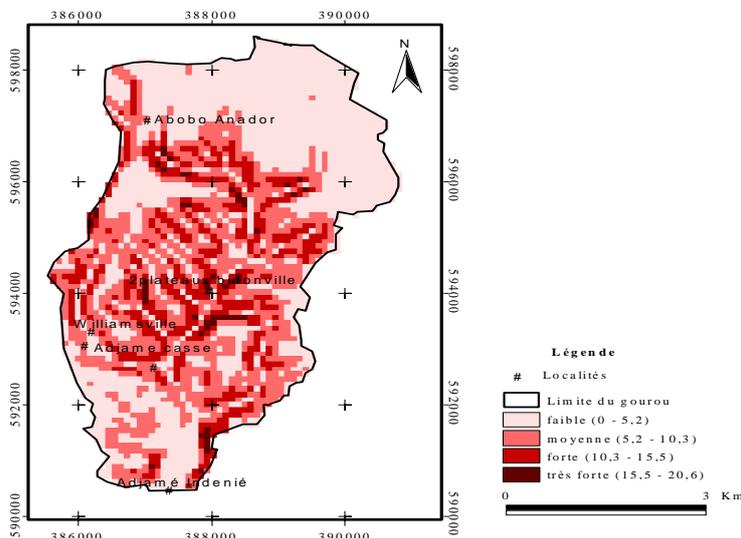


Figure 3 : Carte des pentes du bassin versant du Gourou

4-2-2. Analyse de la densité de drainage

La carte de densité de drainage renseigne sur la densité du réseau hydrographique dans le bassin versant (Figure 4). La classe faible densité représente 14,11 % de la zone d'étude. Elle couvre une partie du Nord et de l'Est du bassin versant. Ce sont des zones où le drainage est relativement faible. La classe densité moyenne couvre plus de la moitié de la zone d'étude avec 57,56 % de la superficie totale. Elle s'étend sur toutes les parties de la zone d'étude. Les zones à forte densité de drainage se trouvent au centre et s'étendent jusqu'à exutoire du bassin versant. Ce sont les zones à grands canaux d'évacuation des eaux pluviales. Cette plage représente 27,41 % du secteur d'étude. La classe à très forte densité représente 0,92 % de la zone d'étude.

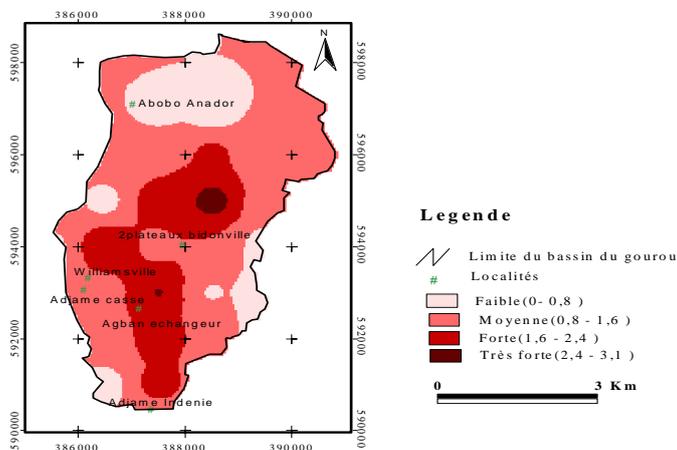


Figure 4 : Carte de densité du réseau de drainage sur le bassin versant du Gourou

4-2-3. Analyse de la densité du réseau d'assainissement

La répartition de la densité du réseau d'assainissement de la zone d'étude renseigne sur un paramètre important dans l'avènement des inondations (**Figure 5**). Sa présence ou son absence ainsi que son dysfonctionnement peuvent être à la base de graves inondations. Plus de la moitié du bassin versant du Gourou présente une densité d'assainissement faible avec 66,94 % de la superficie. Cette classe est caractérisée par une faible présence de canaux d'évacuation des eaux pluviales couvre les parties Nord, Centre et Ouest du bassin versant. La classe densité d'assainissement moyenne couvre 23,19 % de la zone d'étude et se trouve dans la partie Sud et l'Est. Environ 8,65 % du bassin versant appartient à la classe densité d'assainissement forte et est répartie sur tout le sud de la zone d'étude. La classe densité d'assainissement très forte occupe seulement 1,22 % de la zone d'étude. Cette classe se concentre dans les secteurs d'Adjamé 220 logements et de Cocody Lycée Technique.

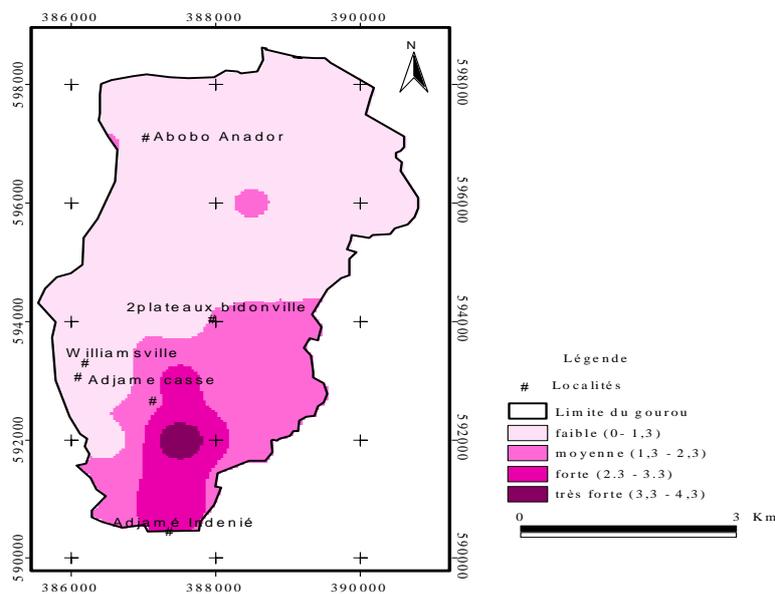


Figure 5 : Carte de densité du réseau d'assainissement sur le bassin versant du Gourou

4-2-4. Cartographie de la sensibilité

La **Figure 6** présente la carte de sensibilité à l'inondation élaborée à partir de la matrice de sensibilité obtenue avec les pentes, la densité du réseau d'assainissement et la densité de drainage. Cette carte met en évidence quatre zones. Une zone de faible sensibilité à l'inondation par une pente très forte et qui se répartie sur 1,83 % de la superficie du bassin versant. La zone de sensibilité moyenne est dispersée sur la partie centre jusqu'au sud du bassin couvrant un taux de 16,38 % de la zone d'étude. Cette classe est caractérisée par une forte pente et drainage moyen. La zone de forte sensibilité occupe une partie considérable dans la zone d'étude. Cette zone est marquée par une pente moyenne, un moyen drainage des eaux et un faible réseau d'assainissement. Cette plage occupe une proportion de 33,79 % de la zone d'étude. La zone de très forte sensibilité se trouve en grande partie au Nord, au Sud-ouest et l'Est de la zone d'étude. Elle est caractérisée par un faible réseau d'assainissement, un faible drainage des eaux et une faible pente. Elle occupe 48 % de la zone d'étude et représente la classe la plus importante.

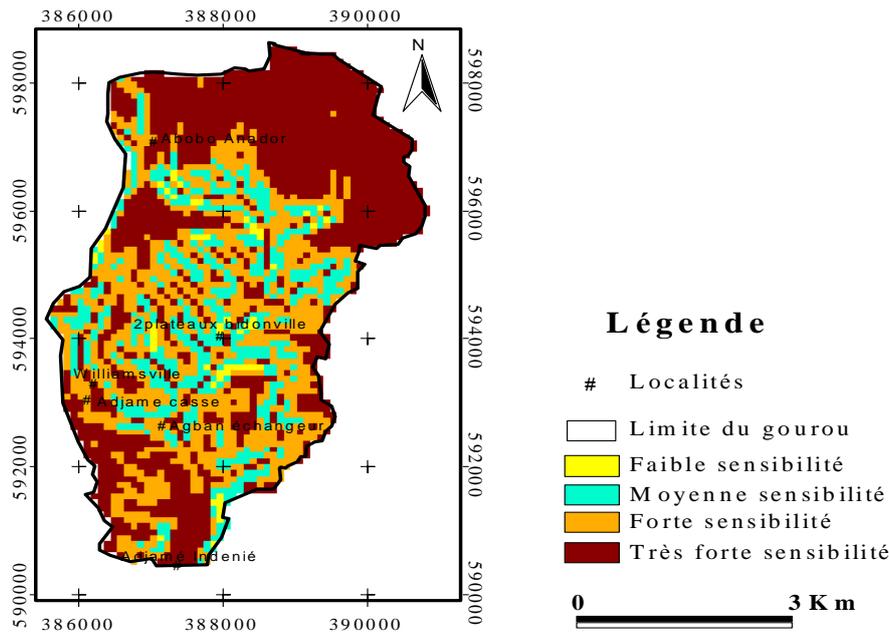


Figure 6 : Carte de sensibilité à l'inondation du bassin du gourou

4-3. Analyse de la vulnérabilité au risque d'inondation

4-3-1. Cartographie de l'occupation du sol

La carte d'occupation du sol en 2002 montre que plus de la moitié de la zone d'étude est constituée d'habitat et de sol nu d'environ 57,49 % (Figure 7). La classe Culture / jachère correspond à 38,12 % du bassin du Gourou. La culture est disséminée sur toute la zone d'étude, principalement à l'ouest, au centre et au sud. Les cultures concernent les plantations de banane à Abobo Anador et une cocoteraie à l'Université Nangui Abrogoua, et celles de maïs, de manioc et d'autres cultures. La jachère concerne les zones de couvert végétal sur le bassin. La classe eau concerne 0,32 km² de superficie, ce qui fait 1,17 % de la superficie totale. Ce thème prend en compte l'étendue du réseau hydrographique sur le bassin et également tous les endroits où la présence de l'eau (étangs) est marquée. La classe forêt représente 3,22 % de la zone d'étude soit 0,89 Km². Cette forêt est une partie de la forêt du Banco, quelques forêts au centre et sur le réseau hydrographique de la zone d'étude.

Le thème Habitat / Sol nu regroupe les habitats urbanisés et les habitats précaires. Il y a également des sols nus qui sont tous les espaces dénudés. Ils peuvent également comprendre les terrains en cours de lotissement ou en construction. Cette classe représente 15,81 km² soit 57,49 % de la zone d'étude. En 2013, l'ensemble du bassin versant est marqué, de manière massive, par des habitats et sol nu, lesquels occupent approximativement 85,09 % de la superficie totale de la zone étudiée. La culture et la jachère couvrent 12,04 % du bassin, la forêt 2,07 %, et l'eau 0,80 % (Figure 7). Entre 2002 et 2013, il est a noté une croissance de l'habitat/ sol nu. Les habitats / sol nu ont pratiquement doublé, ils sont passées de 15,81 Km² à 23,40 Km² (Figure 7). Cette croissante est due à l'installation anarchique de la population sur le bassin et au déplacement de la population due à la crise sociopolitique de 2002. Par contre, on observe une baisse importante de culture / jachère (10,48 Km² à 3,31 Km²), une légère diminution de l'eau (0,32 Km² à 0,22 Km²) et de la forêt (0,89 Km² à 0,57 Km²).

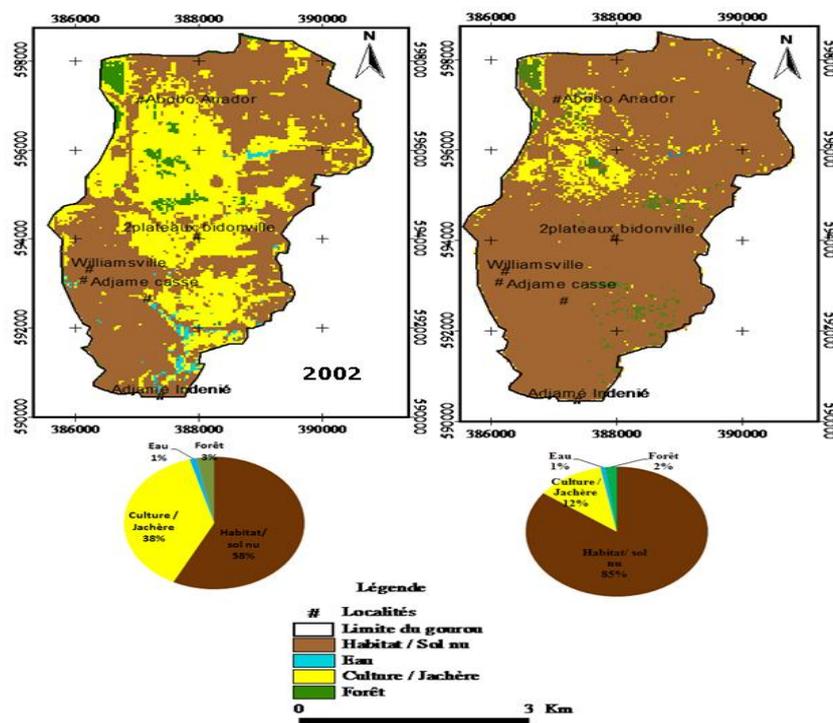


Figure 7 : Dynamique de l'occupation du sol de 2002 à 2013 sur le bassin versant du Gourou

4-3-2. Cartographie de la vulnérabilité au risque d'inondation

La Figure 8 présente la vulnérabilité à l'inondation dans le bassin versant du Gourou. Les zones les plus exposées correspondent aux enjeux au sol à forte et très forte vulnérabilité avec un pourcentage de 85,89 %. Elles sont marquées par une présence d'habitat et une activité anthropique plus importante. Les zones les moins exposées sont les enjeux au sol à moyenne et faible vulnérabilité. Elles concernent les endroits où il y a la forêt et les cultures avec 14,11 % de la superficie du bassin versant. Dans ces zones, le ruissellement de l'eau de pluie est moins important, ce qui réduit la vulnérabilité à l'inondation.

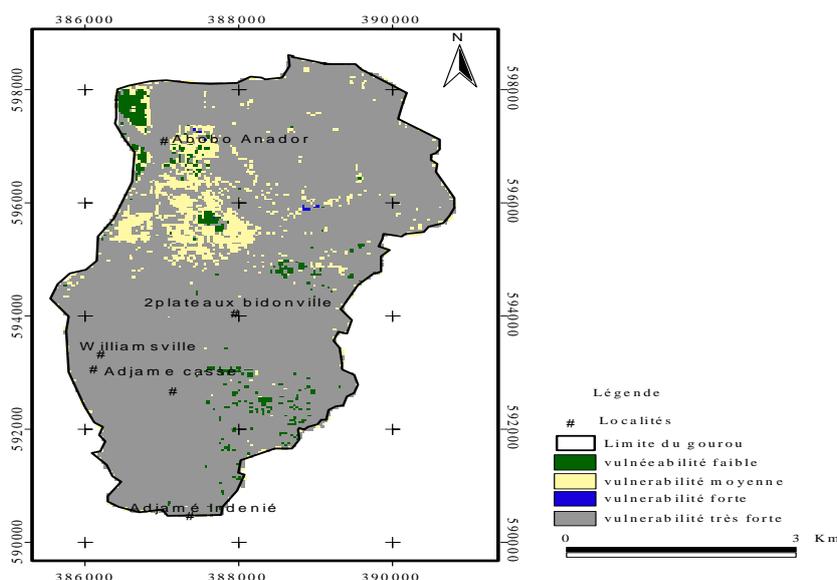


Figure 8 : Carte de vulnérabilité à l'inondation sur le bassin versant du Gourou

4-4. Cartographie des zones à risque d'inondation

Le croisement de la carte de vulnérabilité et de celle de sensibilité à l'inondation a permis d'obtenir la carte des zones à risque d'inondation sur le bassin versant du Gourou (**Figure 9**). Quatre zones à risque d'inondation ont été définies. La zone à risque d'inondation faible occupe une superficie de 0,38 km² soit 1,37 % de la zone d'étude. Cette classe se trouve dans le nord-ouest du bassin notamment dans les secteurs de la forêt du banco, dans les reliques de forêt de l'Université Nangui Abrogoua et dans le secteur de la ferme coco-service. La classe risque d'inondation moyen couvre une superficie de 3,54 km² ; ce qui représente 12,88 % de la superficie totale et se trouve en grande partie au centre (Dokui-ouest) et au nord-ouest du bassin. Les zones à risque d'inondation faible et moyen sont caractérisées par des terrains couverts de gazon, d'arbres, de zones de jachères et de cultures vivrières. Le couvert végétal de ces zones est peu dénudé favorisant une bonne infiltration des eaux de pluies.

Par ailleurs, on note une faible densité de population dans ces zones. Les zones à risque fort représentent 8,63 Km² de la superficie soit de 31,39 % de la superficie du bassin versant. Les zones à fort risque d'inondation se situent dans les secteurs centre-est du bassin versant notamment dans les quartiers précaires d'Adjamé-Williamsville (quartier azito 2), de Cocody les deux Plateaux, d'Agban gendarmerie et du lycée technique. Les zones à risque très fort occupe 14,95 km² ce qui fait 54,36 % du secteur d'étude. Les zones à très forte risque d'inondation se situent en grande partie dans le nord (les secteurs d'Anador, d'Abobo-Dokui, d'Abobo-Té, du Plateau Dokui, etc.), centre-ouest (les secteurs d'Adjamé-williamsville, Adjamé-casse, etc.). Les zones à risque d'inondation fort et très fort sont caractérisés par les constructions anarchiques souvent dans les bas-fonds, les talwegs ou sur les talus. On note une très forte densité de population et le drainage des eaux dans ces secteurs est très faible à cause de la destruction ou l'absence du réseau d'assainissement. Ces facteurs conduisent les populations à être de plus en plus exposées au risque d'inondation.

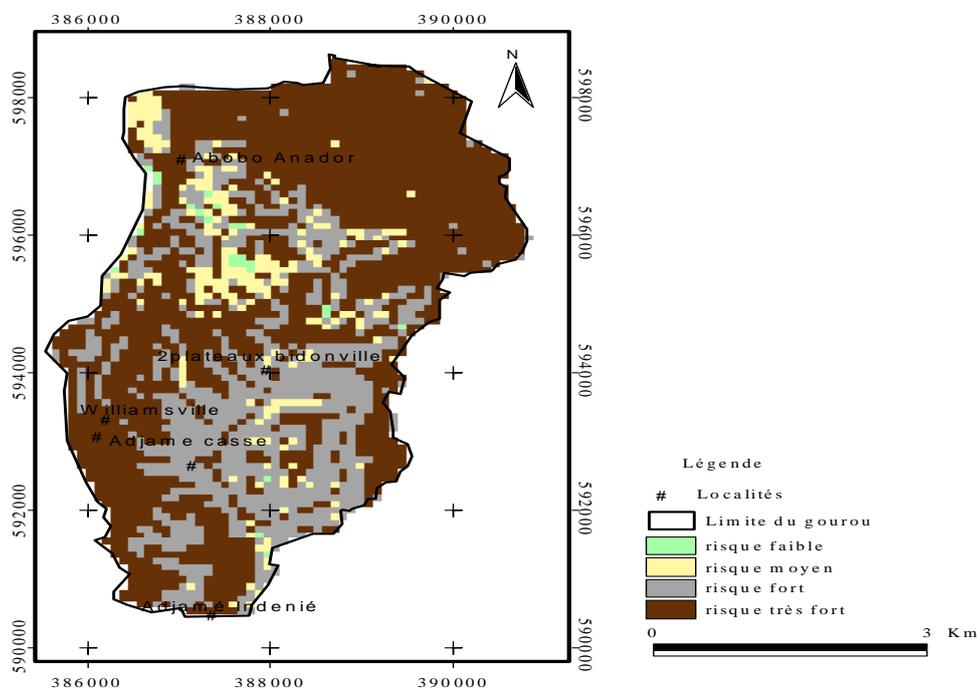


Figure 10 : Carte des zones à risque d'inondation sur le bassin versant du Gourou

5. Discussion

L'analyse de l'aléa pluviométrique dans sa composante extrême indique une baisse des événements pluvieux à l'échelle horaire et annuelle sur le bassin versant du Gourou. A l'échelle de l'Afrique de l'Ouest, [13, 14] ont aussi constaté une nette diminution des forts événements pluvieux. Les tendances à la baisse détectées dans les séries de variables descriptives des pluies journalières maximales annuelles même si elles ne sont pas généralisées à toute les échelles ; sont toutefois en accord avec l'évolution générale de la pluviométrie annuelle de l'Afrique de l'Ouest [15]. Cela est corroboré par les travaux de [16] en Chine et [17] au Canada; ceux-ci indiquent que les changements détectés au niveau des pluies extrêmes évoluent dans le même sens que celui des pluies annuelles. La cartographie de la pente a mis en évidence que le bassin du Gourou est située en grande partie dans une zone de faible pente. Ces résultats sont en accords avec ceux de [8] qui soulignent que les zones de faibles pentes augmentent le risque d'inondation. Les analyses ont montré que le bassin est moyennement desservi en réseau de drainage des eaux. Le bassin du Gourou avec une configuration topographique et une occupation anarchique de l'espace urbain dans certains endroits, connaît à chaque période pluvieuse des problèmes de drainage et d'inondation.

Ces problèmes de drainage sont causés par le sable qui se dépose en grande quantité dans le lit des canaux du réseau de drainage pour faire obstruction au passage des eaux de ruissellement [18]. En outre, près de 66 % de la zone est faiblement desservie en réseau d'assainissement ou d'évacuation des eaux usées et eaux de pluie. Ces résultats sont en accord avec ceux de [19], qui a indiqué lors de ces travaux sur la prévention et l'étude des risques d'inondation dans la commune de Cocody que cette commune qui a une portion non négligeable dans le bassin est faiblement desservie en réseau d'assainissement ; ce qui peut conduire à de graves inondations. Par ailleurs, la carte de sensibilité à l'inondation obtenue par combinaison des cartes de pentes, de drainage et d'assainissement montre que la zone d'étude est très sensible aux phénomènes d'inondations. Ce qui est normal, puisque le site d'étude est une zone de faible pente, de drainage moyen et de faible évacuation des eaux usées et de pluie [19]. Dans le district d'Abidjan, notamment sur le bassin versant du Gourou, l'analyse de l'occupation du sol révèle une hausse très importante des habitats et sols nus associés à des déficits au niveau de l'assainissement tant pluvial que pour les eaux vannes.

Cette situation engendre des zones très exposées au risque d'inondation. Selon [20], la forte croissance des habitats se traduit par la croissance de la vulnérabilité, d'où l'augmentation du risque d'inondation dans une zone. Divers autres facteurs physiques peuvent également contribuées à l'aggravation des inondations dans le bassin versant du Gourou. Ainsi, dans la présente étude, les zones les plus vulnérables sont celles proches des versants abrupts, des bas-fonds du fait de la géomorphologie du sol. Cela est en accord avec l'étude réalisée par [8] qui stipule que dans les fonds des cuvettes et sur les versants la vulnérabilité à l'inondation est très élevée. Suite à l'analyse des différentes composantes du risque d'inondation, le bassin du Gourou apparaît principalement comme une zone à risque d'inondation élevée. Ce risque élevé est caractérisé par des pentes faibles, un drainage moyen, une faible densité de réseau d'assainissement et une activité anthropique importante. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus dans les travaux antérieurs de [20 - 23]. En effet, ses auteurs, effectuant des études sur l'inondation dans différentes régions ont montré qu'une zone à risque d'inondation se traduit par une forte croissance et non contrôlée de l'occupation du sol, une pente faible et une faible évacuation des eaux.

6. Conclusion

La présente étude a mis en évidence une baisse notamment des pluies extrêmes sur le bassin versant du Gourou. Par ailleurs, quatre zones à risque inondation ont été identifiées sur le bassin versant du Gourou. Les zones à risque d'inondation faible (1,37 %) et moyen (12,88 %) sont caractérisées par des terrains couverts de gazon, d'arbres, de zones de jachères et de cultures vivrières favorisant une bonne infiltration des eaux de pluies. Les classes risque fort (31,39 %) et risque très fort (54,36 %) se situent dans des zones à sols dénudés avec la présence de constructions anarchiques souvent dans les bas-fonds, les talwegs ou sur les talus. Ces zones sont également caractérisées par une très forte densité de population et le drainage des eaux est très faible à cause de la destruction ou l'absence du réseau d'assainissement. En somme, la tendance à la baisse de la pluviométrie semble confirmer l'hypothèse selon laquelle la recrudescence des inondations ces dernières années en Côte d'Ivoire et notamment sur le bassin du Gourou, serait liée à l'augmentation de la vulnérabilité des populations humaines face aux phénomènes climatiques extrêmes. L'augmentation de la vulnérabilité des populations est liée à un certain nombre de facteurs socio-économiques : grande pauvreté, croissance démographique rapide, des infrastructures précaires, urbanisation anarchique.

Références

- [1] - M. GBEASSOR, W. OLADOKOUN AND E. KPATCHA, Etude sur la vulnérabilité du Togo aux situations d'urgence (Togo), (2006) 70 p.
- [2] - T. B. GBAGUIDI, Système d'information et représentations cartographiques pour la gestion des inondations à Cotonou. Mémoire de master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, (2011) 108 p.
- [3] - B. T. A. GOULA, G. E. SORO, A. DAO, F. W. KOUASSI AND B. SROHOUROU, Frequency analysis and new cartography of extremes daily rainfall events in Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Sciences*, 10 (2010) 1684 - 1694.
- [4] - OCHA, Rapport de situation n°3. Inondation en Afrique de l'ouest, (2009) 5 p.
- [5] - G. Berz, "Flood disasters : lessons from the past - worries for the future", Actes de colloque, *Water and Maritime Engineering, Proceedings of the institution of Civil Engineers*, (2000) 142 p.
- [6] - K. H. D Gbla, Etude des intensités exceptionnelles de pluie de la Côte d'Ivoire. *Travaux de fin d'étude*, (1999) 45 p.
- [7] - A. D. Ochou, Rapport du conseil de cabinet élargi du MINESUDD. Plateforme nationale de réduction des risques et de gestion des catastrophes : bilan et perspectives, (2014) 29 p.
- [8] - I. SAVANE, N. COULIBALY AND N. SORO, Analyse multicritère spatiale pour l'identification de la vulnérabilité aux risques naturels d'Abobo (banlieue de la ville d'Abidjan, Côte d'Ivoire). *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 04 (2003) 94 - 107.
- [9] - D. KOUASSI, C. GUELADIO AND J. BIEMI, Etude des inondations par débordement de réseau dans les milieux défavorisés d'Abidjan; Côte d'Ivoire. *Global Changes and Water Resources*, (2008) 12 p.
- [10] - A. J-P. DEGUY, Cartographie des zones soumises aux inondations et éboulements de terrain dans la commune d'Abobo (Côte d'Ivoire), mémoire de master. Université Nangui Abrogoua, (2015) 81 p.
- [11] - H. B. MANN, Non parametric tests against trend. *Econometrica*, 13 (1945) 245 - 259.
- [12] - M. G. KENDALL, Rank correlation methods. Griffin London, (1975) 202 p.
- [13] - D. R. EASTERLING, G. A. MEEHL, C. PARMESAN, S. A. CHANGNON, T R. KARL, AND L.O. MEAR, Climate extremes : observations, modeling, and impacts. *Sciences*, 289 (2000) 2068 - 2074.
- [14] - P. Y. GROISMAN, R. W. KNIGHT, D. R. EASTERLING AND T. R. KARL, Trends in intense precipitation in the climate record. *Journal of Climate*, 18 (8) (2005) 1326 - 1349.

- [15] - E. SERVAT, J-E. PATUREL, H. LUBES-NIEL, B. KOUAME, J. M. MASSON, M. TRAVAGLIO AND B. MARIEU, De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'ouest et centrale non sahélienne. *Rev. Sci. Eau*, (1999) 363 - 387.
- [16] - P. M. ZHAI, B. ZHANG, H. WANG, AND H. PAN, Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China. *J Clim* 18(2005) 1096 - 1108.
- [17] - X. B. ZHANG, W. D. HOGG, AND E. MEKIS, Spatial and temporal characteristics of heavy precipitation events over Canada. *Journal of Climate*, 14(2001) 1923 - 1936.
- [18] - T. J. H. COULIBALY, N. COULIBALY, D. KOFFI, M. CAMARA AND I. SAVANE, Cartographie des zones à l'origine de l'ensablement des canaux du bassin versant du Gourou (Abidjan - Côte d'Ivoire), *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028 - 9324, (2014) 642 - 653.
- [19] - K. J. KOUAME, Apport d'un SIG à la réalisation de la carte de vulnérabilité de la nappe souterraine du continental terminal au niveau de l'agglomération d'Abidjan. Mémoire de DEA, Université de Cocody-Abidjan, (2003) 63 p.
- [20] - M. A. BOUBCHIR, Risques d'inondation et occupation des sols dans le Thore (région de Labruguière et de Mazamet). Toulouse, (2007) 75 p.
- [21] - C. HAUHOUOT, Analyse du risque pluvial dans les quartiers précaires d'Abidjan. Etude de cas à Attécoubé. *Geo-Eco-Trop*, 32 (2008) 75 - 82.
- [22] - M. A. OULD SIDI CHEIKH, P. OZER AND A. OZER, Risques d'inondations dans la ville de Nouakchott (Mauritanie). *Geo-Eco-Trop*, 31 (2007) 19 - 42.
- [23] - K. M. KOUAME, Prévention et étude des risques d'inondation en milieu urbain par Télédétection et Système d'information géographique (SIG) : cas de la commune de Cocody-Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire). Mémoire de DEA, Université de Cocody-Abidjan, (2013) 83 p.