



**Détermination des zones à risque d'inondation à partir du modèle numérique de terrain (MNT) et du système d'information géographique (SIG) : Cas du bassin-versant de Bonoumin-Palmeraie (commune de Cocody, Côte d'Ivoire)**

**Determining flood zones using digital elevation model and geographic information systems: an example of Bonoumin-Palmeraie watershed (Cocody, Ivory Coast)**

Armand KANGAH <sup>1</sup> & André ALLA DELLA <sup>2</sup>

**Abstract:** Every year, during the rainy season, the City of Abidjan is confronted with several natural disasters related to torrential rains. The resulting effect of this meteorological phenomenon is an extensive pluvial flooding which adversely impacts many areas of Abidjan including the affluent neighborhood of Cocody. Often, many parts of Cocody face extreme flood causing property damages and displacement of people. To circumscribe this issue and better develop action plans of response, this study aims at using digital elevation models (DEM) and geographic information systems (GIS) to determine flood areas identify the type of flood, and the risk factors in the Bonoumin-Palmeraie watershed, one of the most impacted neighborhoods in Abidjan. Digital elevation Models of the watershed reveal that only the areas of natural occurrence for runoffs are susceptible to be flooded. Furthermore, an analysis of ground occupation shows that these areas of natural runoffs are at time heavily inhabited and thus making them at risk of flooding. To reduce this risk of flooding in this watershed, improvements must be made in the infrastructure of the drainage system in order to efficiently evacuate rainwater.

Keywords: Flood, Risk, Cocody, Watershed, Bonoumin-Palmeraie, Disaster

**Résumé :** La ville d'Abidjan connaît chaque année, pendant la saison des pluies, plusieurs drames liés aux phénomènes naturels, en l'occurrence les inondations. Ce phénomène récurrent frappe plusieurs communes dont celle de Cocody. En effet, bien qu'elle soit la commune de résidence par excellence des hauts cadres de la ville d'Abidjan, certains de ses quartiers se retrouvent sous les eaux pendant la saison des pluies, occasionnant des dégâts matériels et des déplacements de population. Il s'agit dans cette étude, à l'aide des nouvelles techniques de traitement des données que sont le modèle numérique de terrain (MNT) et le système d'information géographique (SIG), de déterminer les zones inondables, les niveaux d'inondation ainsi que les niveaux de risques dans le bassin-versant de Bonoumin-Palmeraie qui s'avère être l'un des plus touchés par le phénomène d'inondation à Abidjan.

L'analyse du MNT du bassin-versant révèle que seuls les axes naturels de concentration et de ruissellement des eaux de pluie demeurent des zones susceptibles de subir une inondation. Aussi, le couplage du mode d'occupation du sol (MOS) avec le MNT fait savoir que, malheureusement, les zones inondables sont occupées par endroits par l'homme et des biens matériels (habitations, activités économiques, infrastructures...). Ainsi, ce sont plusieurs quartiers qui ont été identifiés comme zones à risque d'inondation. Pour réduire ce risque dans ce bassin-versant, d'importants travaux de curage et d'agrandissement des canaux d'évacuation des eaux de pluie sont nécessaires.

Mots Clés : Inondation, Risque, Cocody, Bassin-versant, Bonoumin-Palmeraie, Dégâts

<sup>1</sup>. Maître-Assistant,

*Institut de Géographie Tropicale (IGT) Laboratoire d'Etude des Milieux Naturels (LAMINAT)  
Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody-Abidjan Côte d'Ivoire [a\\_kangah@yahoo.fr](mailto:a_kangah@yahoo.fr)*

<sup>2</sup>. Maître de Conférences, Institut de Géographie Tropicale (IGT)

*Laboratoire de Géographie de l'environnement et des Risques (LAGERIS)*

*Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody-Abidjan Côte d'Ivoire [gnulladella@gmail.com](mailto:gnulladella@gmail.com)*

## INTRODUCTION

La plupart des inondations sont provoquées par les crues et constituent à l'échelle mondiale les événements naturels les plus répandus. Ce phénomène récurrent a suscité à travers le monde un intérêt particulier et occasionné plusieurs études et écrits. Ainsi, selon ABHAS K. J. *et al.* (2012), les inondations urbaines constituent un frein majeur pour le développement et mettent en danger les populations, en particulier les habitants des villes en rapide expansion des pays en développement.

En Afrique de l'Ouest, plus précisément en Côte d'Ivoire, les inondations sont parmi les risques naturels les plus importants. Ainsi, depuis des années, les villes côtières ivoiriennes connaissent de façon fréquente des inondations. Bien que disposant d'un important réseau d'assainissement pluvial, Abidjan, avec 4 395 243 habitants au recensement de 2014, n'échappe pas à ce phénomène. En effet, ville moderne, la capitale économique de la Côte d'Ivoire est soumise, à chaque saison de pluie, à des inondations qui endeuillent de nombreuses familles et causent d'énormes dégâts matériels. Plusieurs chercheurs dont HAUHOUOT C. (2008), ALLA DELLA (2013) etc., se sont penchés sur ce phénomène qui suscite beaucoup d'intérêt. Mais, ces écrits abordent la question de l'inondation dans un contexte plus global. De plus, les inondations n'affectent pas que les quartiers précaires qui sont toujours évoqués. Elles touchent tous les quartiers, y compris ceux qui sont dits huppés dans la commune de Cocody. C'est le cas dans le bassin-versant de Bonoumin-Palmeraie (fig.1) où les quartiers installés dans le fond de la vallée de Bonoumin (Bonoumin-village et Riviera 2) connaissent de grandes inondations depuis 1992, avec des hauteurs d'eau variant entre 100 et 200 cm. Ces inondations ont atteint la grande vallée de la Palmeraie en 2010 et surviennent chaque année au carrefour de la Riviera 3, dans tout le secteur du magasin Cap Nord et à la rue Ministre de la Palmeraie. Elles provoquent des dégâts matériels importants et occasionnent le déplacement temporaire de nombreux ménages, empêchant certains travailleurs de se rendre sur leur lieu de travail.

L'intérêt que suscitent ces quartiers (Bonoumin, Palmeraie, Allabra, Riviera 2, 3 et 4) est dû au fait qu'il s'agit de quartiers résidentiels, avec des plans de lotissement et d'assainissement. Ils sont également dotés de toutes les commodités des quartiers modernes. L'habitat est de type moyen et de haut standing et les populations qui y résident font partie des couches sociales les plus aisées de la société ivoirienne.

Face à la récurrence des inondations dans ces quartiers huppés et, au regard, des désagréments et des dégâts qu'elles occasionnent, il paraît nécessaire de se pencher sur ce phénomène, d'une part, en identifiant spatialement les zones où l'aléa inondation serait en mesure de se produire, d'autre part en évaluant les éléments exposés (populations riveraines, bâtiments, rues). A cet effet, la présente étude s'appuie sur les nouveaux outils d'analyse et de gestion de l'espace que sont le modèle numérique de terrain (MNT) et le système d'information géographique (SIG). L'utilisation de ces outils permettra de connaître la répartition et la variation spatiale du risque inondation, par le croisement de diverses données géographiques et socio-économiques.

## CADRE DE L'ETUDE

Le bassin-versant de Bonoumin-Palmeraie (figure 1) se déploie entièrement dans la commune de Cocody et est compris entre les longitudes 3°50' et 4°10'W et les latitudes 5°10' et 5°30'N. Il constitue le plus vaste bassin-versant de la commune de Cocody et couvre plus d'une dizaine de quartiers dont Bonoumin, Palmeraie, Allabra, Riviera 2. Cet espace demeure une zone résidentielle par excellence et est reconnu pour la qualité et l'architecture de ses maisons. Les classes sociales les plus aisées de la société ivoirienne, ainsi que la plupart des expatriés et des diplomates en ont fait leur lieu de résidence.

Au plan physique, la commune de Cocody dans laquelle est situé le secteur d'étude, se développe sur un plateau de grande extension. Ce relief est séparé d'Adjamé et du Plateau par une grande échancrure qui part du sud d'Abobo à la baie de Cocody. Avec une altitude moyenne autour de 40-50 m, il s'incline du nord vers le sud. En effet, les altitudes varient entre 80 et 100 m au nord et entre 20 et 30 m au sud. Le contact de ce plateau avec la lagune se fait par une falaise du côté de Cocody. Cette falaise se détache de la bordure lagunaire au niveau de la Riviera où elle se comporte comme un véritable talus de 20 à 30 m de commandement, séparant le plateau d'une petite plaine de

2 à 9 m. D'orientation ouest-est, ce talus, tout comme la falaise, est festonné par une série de vallées. Ce sont ces vallées et leurs ramifications qui servent de drains naturels à l'évacuation des eaux de pluie qui tombent sur la commune.

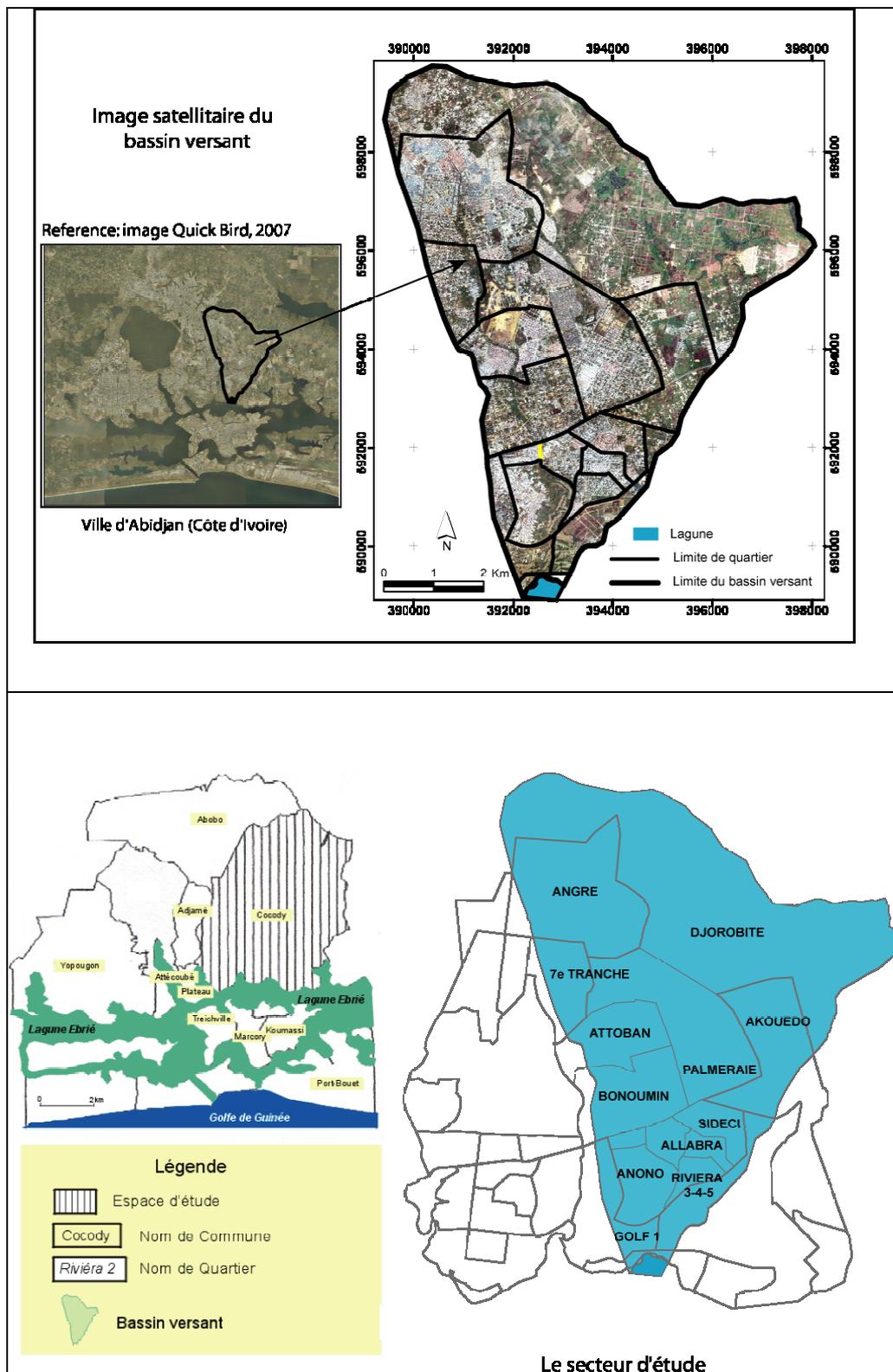


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude

## DONNEES ET APPROCHES METHODOLOGIQUES

### Données utilisées

Pour la présente étude, nous avons eu recours à des données topographiques et à un document relatif au mode d'occupation du sol (MOS).

#### *Les données topographiques*

Elles concernent deux cartes topographiques et un fichier numérique de courbes de niveau. Les cartes topographiques, constituées par les feuilles de Grand-Bassam 1c SO et 1c NO, élaborées en 1966 à l'échelle de 1/20 000, contiennent des informations altitudinales (courbes de niveau, points cotés) sur le site étudié. Elles sont au format analogique et ont servi à la numérisation des points cotés ainsi qu'à la reconnaissance des formes du relief.

Les courbes de niveau, au format numérique, ont une équidistance de 2 m, ce qui permet une analyse plus fine des formes de relief. Réalisées en 1988 à l'échelle de 1/5000, elles ont servi à l'élaboration du modèle numérique de terrain (MNT).

#### *Le MOS*

Le mode d'occupation du sol (MOS) utilisé dans ce travail a été réalisé en 2009-2010, à l'échelle de 1/5000, par le Centre de cartographie et de télédétection (CCT). Il présente l'état des lieux de l'ensemble des surfaces bâties et des différents types d'équipements et d'infrastructures de la ville d'Abidjan, à partir des images *Quick bird* de 2007.

### Prétraitements des données

Les prétraitements regroupent l'ensemble des processus de création du modèle numérique du terrain et de ses dérivés.

#### *Construction du modèle numérique de terrain (MNT)*

Pour construire le MNT, les courbes de niveau (équidistance de 2 m) ont d'abord été transformées en points qui ajoutés aux points cotés (préalablement sélectionnés sur la carte topographique et numérisés) ont permis de former un fichier unique de données ponctuelles d'altitude. Ensuite, une surface topographique possédant des données d'élévation en tout lieu (MNT) a été créée par interpolation, au moyen des données altitudinales. Le modèle d'interpolation utilisé pour la création du MNT est le Krigeage, car il permet d'obtenir une surface plus proche de la réalité topographique.

#### *Délimitation du bassin-versant de Bonoumin-Palmeraie*

Elle constitue la première étape du prétraitement des données et s'est appuyée sur les limites naturelles que sont les lignes de crêtes ou lignes de partage des eaux.

#### *Détermination et hiérarchisation des axes de concentration du ruissellement*

La quantité d'eau qui s'écoule dans les différents axes de concentration que sont les fonds de vallées et des vallons dépend de la position de ceux-ci dans le bassin-versant. Ainsi, sur la base de la méthode de classification du réseau hydrographique de Strahler (1952), tous les drains de ruissellement et d'évacuation des eaux pluviales ont été hiérarchisés de l'amont vers l'aval.

### ***Extraction de la carte des pentes***

A partir du MNT, on a extrait un fichier de pentes exprimées en pourcentage. La carte qui en a résulté met en évidence le sens d'écoulement des eaux et permet d'apprécier l'intensité du ruissellement sur le site étudié. Les classes de pente retenues sont : très faible (□ à 2 %), faible (2 à 5%), modérée (5 à 7 %), forte (7 à 15 %) et très forte (> 15 %).

### **Détermination des zones et des niveaux d'inondation**

Seules les inondations trouvant leur origine dans le ruissellement naturel des eaux de pluie sont prises en compte. Les différents traitements visent à déterminer l'ensemble des lieux qui sont susceptibles de subir une inondation par ruissellement.

#### ***Détermination des zones d'aléa inondation***

Les fonds de vallée en milieu urbain, comme le confirme Alla (2013), correspondent aux axes de concentration et d'évacuation des eaux pluviales. Ils constituent par conséquent des zones d'aléa inondation. Mais, l'inondation par ruissellement se produit lorsque les quantités d'eau qui ruissellent dans les axes de concentration atteignent un certain niveau, alors que la capacité d'infiltration ou d'évacuation des sols et celle des réseaux de drainage sont dépassées. Dans de telles conditions, les susceptibilités d'une inondation sont fonction de l'importance des drains dans le bassin-versant. Sur cette base, les fonds de ces différents drains (vallées et vallons), mis en évidence par le modèle numérique d'altitude (MNA), ont été extraits par une digitalisation, ce qui a permis de définir quatre zones d'aléa inondation (de faible à très élevé) dans le bassin-versant de Bonoumin-Palmeraie.

#### ***Détermination des niveaux d'enjeux***

Les enjeux sont liés à la présence humaine et constituent la deuxième composante du risque après l'aléa. En milieu urbain, les enjeux sont nombreux et peuvent être plus ou moins importants, en fonction de leur répartition. Il s'agit des populations et de leurs biens, des maisons, des équipements, des infrastructures et de l'environnement menacés par un aléa. Ainsi, les niveaux de vulnérabilité qui mettent en évidence l'inégalité des espaces face aux risques sont dus à la concentration spatiale des enjeux.

Pour déterminer les niveaux d'enjeux dans le bassin-versant de Bonoumin-Palmeraie, on a eu recours au MOS, en mettant l'accent sur la densité et la qualité de l'habitat, des équipements et des infrastructures. L'analyse du MOS a permis d'établir quatre niveaux d'enjeux qui vont de nuls à élevés et très élevés.

#### ***Détermination des zones à risques d'inondation***

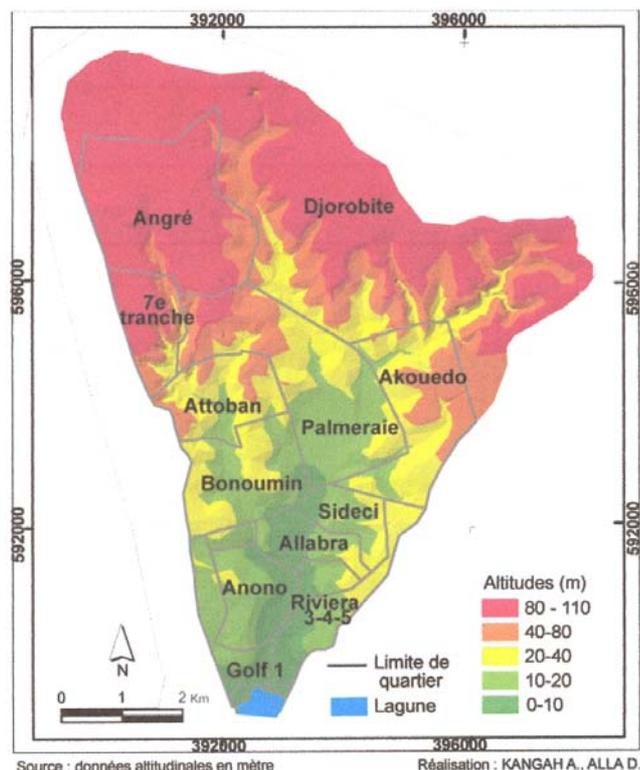
Le risque étant la résultante de la confrontation de l'aléa et des enjeux, la carte de l'aléa inondation a été croisée avec celle des enjeux. La carte de synthèse issue de ce croisement a permis de déterminer les espaces qui sont sous la menace d'un risque d'inondation. Cinq niveaux de risque, allant de nul à très élevé, ont été déterminés.

## **RESULTATS**

### **Analyse morphologique du site d'étude**

Le bassin-versant de Bonoumin-Palmeraie se présente sous forme d'un entonnoir, avec une topographie très accidentée (figure 2).

En amont, la largeur (d'Est en Ouest) du bassin-versant est supérieure à 9 km. Elle diminue progressivement pour atteindre moins de 2 km en aval. Sa superficie est estimée à plus de 4 880 ha, ce qui représente plus de 70 % du territoire communal de Cocody.



**Figure 2:** Relief du bassin-versant de Bonoumin-Palmeraie

Comme son nom l'indique, le bassin-versant de Bonoumin-Palmeraie comprend la vallée principale qu'occupe le quartier Palmeraie et une vallée secondaire qui traverse le quartier Bonoumin. Ces deux vallées qui se rencontrent au niveau de la Riviera 2 et d'Allabra sont de grande ampleur avec des versants convexes ou rectilignes et des fonds en berceau (la vallée de Bonoumin) ou en auge (la vallée de Palmeraie). Cette dernière a la particularité d'avoir un fond qui s'élargit de l'aval (environ 600 m au niveau d'Anono) vers l'amont où, au point de confluence de plusieurs vallées et vallons, elle atteint une largeur d'au moins 1000 m (secteur de Palmeraie). Elle débouche sur la Lagune Ebrié, au niveau de l'Hôtel du Golf.

Ces vallées et vallons découpent le relief de ce bassin-versant en interfluvés dont certains sont en forme de croupes (exemple de celui de Bonoumin) ou de collines (autour de la dépression de la Palmeraie). Ils sont encadrés par des versants plus ou moins vigoureux. Ainsi les pentes, généralement inférieures à 2% dans les fonds de vallées et sur les interfluvés plans, s'accroissent au niveau des versants où elles varient de 5 à 15 % (figure 3). En amont du bassin-versant, elles dépassent 15% sur certains versants des vallées étroites.

### **Analyse de la carte d'aléa inondation**

La carte de l'aléa inondation dans le bassin-versant de Bonoumin-Palmeraie met en évidence l'ensemble des zones qui pourraient être submergées par les eaux de ruissellement. Il s'agit des fonds de vallées et de vallons qui s'étendent sur plus de 942 ha, soit environ 20 % de la superficie totale du bassin-versant. Toutefois, les niveaux d'aléa inondation varient en fonction des drains (figure 4).

#### ***Les zones de faible aléa***

Elles sont constituées par les fonds des têtes de vallées et des vallons et représentent environ 24 % des superficies inondables. L'aléa inondation dans ces zones est très faible, car les têtes de vallées et les vallons jouent un rôle de collecteur et d'orientation des eaux de ruissellement vers des

collecteurs plus grands. La quantité d'eau ruisselée dans ces axes, fut-elle importante, ne suffirait pas à créer une inondation sur ces zones, à moins que ces derniers soit obstrués.

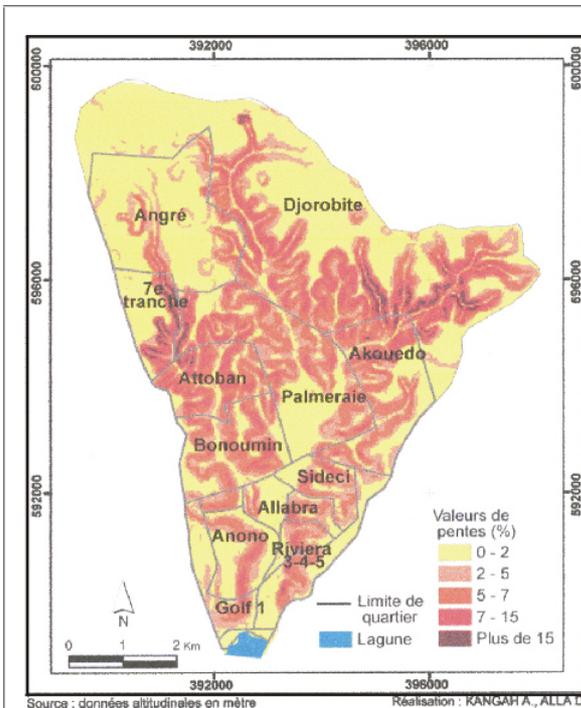


Figure 3 : Répartition des pentes dans le bassin-versant de Bonoumin-Palmeriaie

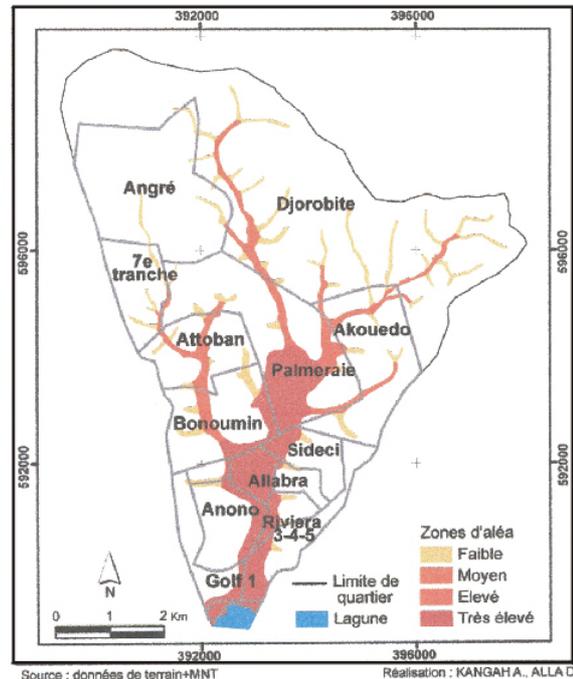


Figure 4 : Zones d'alaé inondation dans le bassin-versant de Bonoumin-Palmeriaie

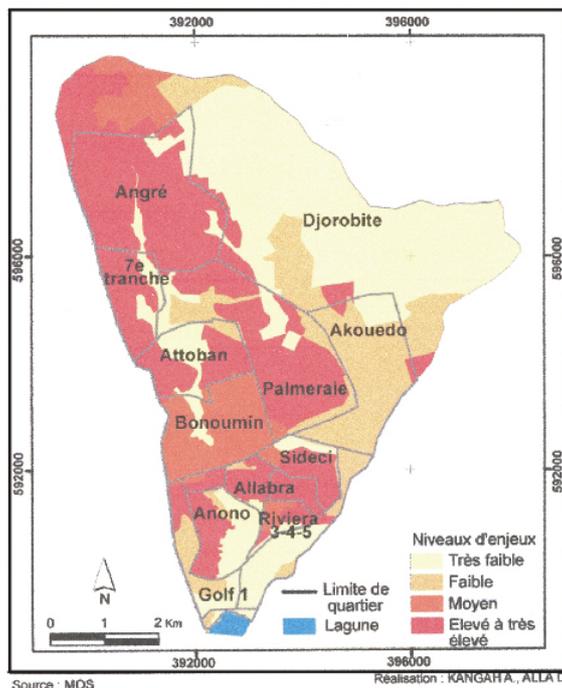


Figure 5 : Les niveaux d'enjeux dans le bassin-versant de Bonoumin-Palmeriaie

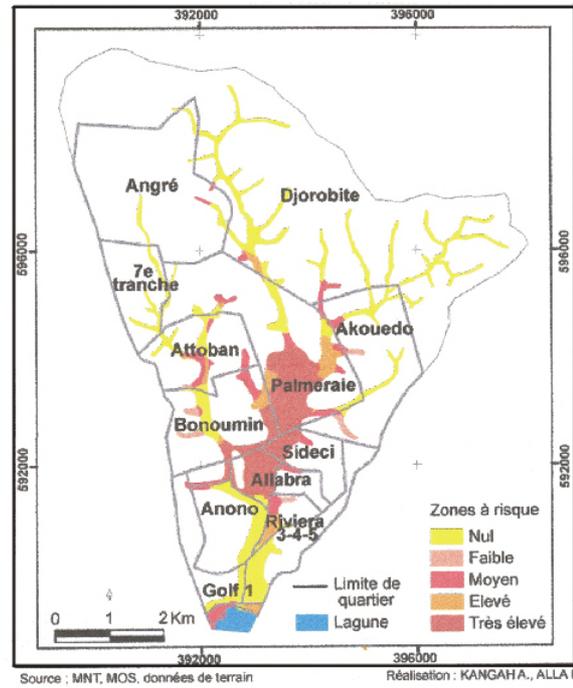


Figure 6 : Zones à risque d'inondation dans le bassin-versant de Bonoumin-Palmeriaie

### ***Les zones d'aléa moyen***

Elles sont représentées par les drains ou axes de concentration de deuxième ordre et sont très peu répandues (seulement 11 % des zones potentiellement inondables). Ces zones reçoivent les eaux de ruissellement provenant des têtes de vallées et des vallons. Les eaux circulent généralement dans les fonds de vallées dont l'étroitesse et la profondeur réduisent considérablement les risques d'une inondation.

### ***Les zones d'aléa élevé***

Les zones d'aléa élevé correspondent aux espaces occupés par les axes de concentration d'ordre 3. Elles représentent environ 14 % des zones susceptibles de subir une inondation. Les eaux qu'elles reçoivent proviennent majoritairement des axes de concentration d'ordre 2. Cependant, certains vallons connectés directement à ces axes y déversent les eaux de ruissellement provenant des interfluves. C'est donc une quantité importante d'eau qui transite par ces axes, envahissant tous les fonds de vallées, généralement plus larges que les précédents.

Trois zones d'aléa élevé ont été localisées. La première, située dans la partie ouest du bassin-versant, correspond à la vallée de Bonoumin et couvre une superficie d'environ 54 ha. Les deux autres se situent dans le prolongement nord de la grande vallée de Palmeraie ; elles s'étendent sur 80 ha environ.

### ***Les zones d'aléa très élevé***

La seule zone où l'aléa inondation est très élevé est la grande vallée à fond très large qui s'étend sur plus de 4 km du quartier Palmeraie jusqu'à l'exutoire. Elle couvre plus de 495 ha et est le passage obligé de toutes les eaux collectées dans le bassin-versant. Pourtant des enjeux y existent qui pourraient être endommagés en cas d'inondation.

## **Analyse de la carte des enjeux**

Dans le bassin-versant de Bonoumin-Palmeraie où l'aménagement de l'espace n'est pas encore totalement maîtrisé, la concentration ou la dispersion des constructions est un bon indicateur pour apprécier les niveaux d'enjeux (figure 5).

### ***Les zones d'enjeux très faibles***

Elles se rencontrent dans le nord-est du bassin-versant, en particulier dans la zone d'extension urbaine de Djorobité caractérisée par un mitage de l'espace, et dans les fonds de vallées qui traversent certains quartiers de la partie ouest du bassin-versant. Dans ces zones qui couvrent 37,50 % des surfaces, quelques rares maisons sont construites ou en construction et des infrastructures routières sont en cours de réalisation.

### ***Les zones d'enjeux faibles***

Elles s'étendent sur environ 17 % du bassin-versant. A l'est où elles se déploient plus, les zones d'enjeux faibles coïncident avec l'ancien front d'urbanisation constitué par Akouédo. Dans ce secteur comme dans les autres, les constructions sont plus nombreuses que dans les zones d'enjeux très faibles, mais elles sont disséminées ou éparpillées dans l'espace.

### ***Les zones d'enjeux moyens***

Ce sont les zones où les enjeux sont relativement importants en termes de distribution des constructions. Ce niveau d'enjeux s'observe singulièrement à Bonoumin et dans l'extrême nord de

Djorobité. Ici les constructions sont plus ou moins concentrées et sont constituées de logements de moyen et haut standings ainsi que des immeubles et s'étalent sur près de 10 % du bassin-versant.

#### ***Les zones d'enjeux élevés à très élevés***

Le bassin-versant de Bonoumin-Palmeraie présente également des secteurs où les constructions se sont densifiées (35,50 % de l'espace), en particulier dans sa partie ouest, à l'exception de Bonoumin et de la Riviera-Golf. Les conséquences prévisibles d'une inondation sur les enjeux dans ces zones sont énormes. En effet, les enjeux y sont nombreux et importants, car ces espaces sont très fortement urbanisés, avec une concentration importante de l'habitat, des équipements et des infrastructures.

#### **Analyse de la carte des zones à risque d'inondation**

La figure 6 montre la répartition du risque d'inondation au niveau des axes d'écoulement et d'évacuation des eaux de pluie. En fonction de la présence et de la densité des enjeux dans les zones d'aléa d'inondation, cinq niveaux de risques sont identifiés :

##### ***Les zones à risque nul***

Elles correspondent aux zones d'aléa inondation où il n'existe ni habitat, ni infrastructures, ni équipements. Elles couvrent environ 45 % des surfaces susceptibles de subir une inondation et sont constituées dans leur majorité par des vallées à fond étroit et profond, où il est difficile de construire.

##### ***Les zones à risque faible***

On retrouve dans ces zones quelques habitations, isolées et dispersées dans les vallons (têtes de vallées). Elles s'étendent sur environ 3 % des terres inondables du bassin-versant.

##### ***Les zones à risque moyen***

Elles s'étalent sur près de 14 % des surfaces inondables du bassin-versant de Bonoumin-Palmeraie. Sont concernés par ce niveau de risque des portions de drains naturels qui ont été investis dans pratiquement tous les quartiers par les populations.

##### ***Les zones à risque élevé***

Elles concernent 10 % des zones où une inondation causerait beaucoup de dommages, à cause de la forte présence humaine. Les sites identifiés se trouvent à l'intérieur des quartiers, notamment à Bonoumin, à la Palmeraie, à la Riviera, au Golf et à Attoban. Ces zones correspondent aux constructions que les sociétés immobilières ont bâties sur des versants mais dont une partie a été réalisée dans les vallées.

##### ***Les zones à risque très élevé***

Les zones où le risque d'inondation est très élevé s'étendent sur plus de 232 ha, soit plus de 28 % des surfaces inondables. Elles concernent le fond de la vallée principale, un fond plat dont la largeur dépasse par endroits 1 km. Ce fond que se partagent en partie la Palmeraie, Bonoumin, Allabra-SOGEPHIA et Riviera-SIDECI est totalement urbanisé, avec les constructions individuelles, collectives et d'importants équipements et infrastructures.

## DISCUSSION

Dans cette étude, il s'agissait de déterminer les zones où les inondations sont causées par le ruissellement naturel des eaux de pluie. L'approche méthodologique utilisée est basée sur l'analyse des données topographiques (MNT) et des données socio-économiques (MOS). Elle a permis de déterminer les zones à risque d'inondation qui résultent de la combinaison spatiale entre les zones d'aléa inondation (axes de concentration et de ruissellement des eaux de surface) et les niveaux d'enjeux répartis dans le bassin-versant. Cette approche est différente des méthodes de détermination des zones inondables par débordement des cours d'eau (plaines fluviales ou alluviales, etc...) basées sur la modélisation et faisant appel aux données hydrologiques ou hydrogéomorphologiques (BALLAIS J.L. *et al.*, 2011).

Pour la réalisation du MNT, plusieurs méthodes d'interpolation ont été testées, mais chacune d'elle donne un résultat différent. Pour le réalisme et l'exactitude des différentes surfaces interpolées, un certain nombre d'indicateurs sont comparés pour tester leur fiabilité (POLIDORI *et al.*, 1997 ; DROUIN, 2008). Ainsi, des relevés de terrain (points d'altitude) obtenus par GPS et des points cotés prélevés sur les cartes topographiques ont été superposés aux différentes surfaces interpolées (CHAPLOT *et al.*, 2006). Aussi, plusieurs sorties de terrain ont-elles permis de confronter visuellement les différentes surfaces interpolées avec la réalité de terrain. Il ressort de ces différentes confrontations une assez bonne concordance planimétrique des données de terrain avec les surfaces topographiques interpolées par la méthode « le Krigeage » qui a été retenue pour la construction du MNT.

La précision du MNT permet de mettre en évidence la topographie de la zone d'étude. Dans la mesure où les eaux de ruissellement passent toujours par les points les plus bas du relief, le MNT s'avère être l'outil idéal d'identification et de détermination des différents axes de drainage (vallées).

Le couplage du MNT et des données du MOS a été primordial dans la détermination des zones à risque d'inondation. Cette synthèse des données a été rendue possible grâce au SIG dont l'efficacité n'est plus à démontrer dans l'analyse spatiale comme le dit ROBIN (2002) : « *l'utilisation des outils de la géomatique devient rapidement nécessaire pour l'appréhension globale du risque vu sous l'angle spatial (localisation de la zone à risque)* ». Elle a donc permis de montrer que certaines parties des quartiers de la Palmeraie, de Bonoumin, d'Allabra ... sont des zones où le risque d'inondation est plus élevé qu'ailleurs. Il s'agit des secteurs où les habitations, les infrastructures et les équipements sont implantés dans le fond des principaux axes de concentration et d'évacuation des eaux de pluie du bassin-versant.

Les inondations sont régulièrement enregistrées dans les zones à risque élevé et très élevé, lors des fortes averses d'avril à juillet ou de septembre à novembre. Au cours de ces périodes, les précipitations journalières sont importantes et intenses. En effet, chaque année, à une ou à plusieurs reprises, il tombe pendant 4 à 7 jours de suite 200 à 500 mm d'eau à Abidjan (ALLA, 2013), tout comme en juin 2014, il est tombé à Cocody 103 mm le 18, 108,8 mm le 27, 108,9 mm le 28 et 107 mm le 29. Ces inondations dans les fonds de vallée ont un caractère brutal. Depuis l'amont, les flux dévalent en général des fonds inclinés dans un mouvement tumultueux à l'instar d'un fleuve en crue, ce qui provoque un débordement des différents collecteurs mis en place en aval par les autorités. En effet, on trouve dans la plupart des quartiers du bassin-versant des collecteurs de base bétonnés auxquels sont raccordés des collecteurs secondaires des quartiers déjà équipés. Ce système de drainage qui fonctionnait très bien dans les années 1990 est confronté actuellement à un problème de dimensionnement et d'encombrement dû au manque de civisme des riverains qui se débarrassent de plus en plus de toutes sortes d'ordures dans les caniveaux à ciel ouvert.

Le problème de dimensionnement se pose en termes de dépassement des capacités initiales. La majorité des collecteurs ont été créés dans les années 1990 et répondaient aux besoins d'assainissement pluvial, à un moment où la végétation forestière sur les terrains en amont favorisait l'infiltration d'une bonne partie des eaux de pluie. Les lotissements successifs ayant remplacé la forêt conduisent à un accroissement de l'importance du ruissellement. Ainsi que l'affirment DE NONI *et al.*, (1988) « *non seulement l'urbanisation des bassins-versants accélère puissamment les temps de concentration du ruissellement, mais aussi multiplie le coefficient de ruissellement, c'est-à-dire le rapport entre le volume d'eau ruisselé et celui précipité, par N, en*

*fonction du bassin-versant* ». C'est ce qui se passe actuellement dans le bassin-versant de Bonoumin-Palmeraie, avec la recrudescence des inondations dans les secteurs à risque plus élevé, mettant en danger les populations et leurs biens.

Pour réduire les inondations dans ce bassin-versant, il serait souhaitable d'assurer dans un premier temps un curage régulier de tous les collecteurs pour faciliter la circulation des eaux de ruissellement. Ensuite, pour tenir compte de l'augmentation du volume d'eau à évacuer, il importe de redimensionner les ouvrages existants et d'en créer de nouveaux, dans la perspective d'une gestion préventive des inondations.

## CONCLUSION

Le modèle numérique de terrain (MNT) et le système d'information géographique (SIG) ont été d'un apport indéniable dans la réalisation de cette étude. Ils s'imposent comme de véritables outils de traitement et d'analyse de l'information spatiale. A travers ces outils, nous avons pu établir le modèle numérique de terrain du bassin-versant de Bonoumin-Palmeraie auquel a été couplé le mode d'occupation du sol (habitations, équipements, infrastructures). Ainsi, sur une superficie de 4 880 ha, environ 942 ha, soit 20 % de l'étendue du bassin-versant, sont susceptibles d'être inondés, en cas de pluie. Ils correspondent principalement aux fonds de vallées, lieux de passage naturel des eaux de ruissellement. Malheureusement, dans les secteurs où ces fonds de vallées sont bien dégagés, ils sont par endroits occupés par des installations humaines. En effet, lors de l'urbanisation du principal fond de vallée, l'Etat a pris soin de l'aménager en l'équipant d'un important réseau de drainage. Avec le temps, ces canalisations ne sont plus adaptées à cause de la mise à nu de tous les terrains du bassin-versant. Dans la mesure où cette dénudation du sol favorise un accroissement du volume des eaux de ruissellement, les ouvrages de drainage n'arrivent plus à évacuer les eaux qui débordent. Cette situation expose dangereusement les populations de certains quartiers (Palmeraie, Riviera-Allabra, Bonoumin) installés en partie dans les zones à risque d'inondation élevé et très élevé.

Compte tenu de la qualité des constructions, déguerpier les populations comme ce fut le cas en 2015, dans la vallée de Gobelet où l'habitat était essentiellement précaire, ne paraît pas une solution recommandable. Il conviendrait plutôt d'agir sur l'aléa inondation, en agrandissant les ouvrages existants pour les adapter aux besoins d'écoulement des eaux de pluie.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABHAS K. J. BLOCH R. et LAMOND J. (2012): villes et inondations, guide de gestion intégrée du risque d'inondation en zone urbaine pour le XXI siècle, résumé à l'intention des décideurs, Banque mondiale, Washington, 63 pages.
- ALLA DELLA A. (2013) : Les risques naturels dans l'agglomération d'Abidjan (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat d'Etat ès - sciences humaines, Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, 385 pages.
- BALLAIS J.L., CHAVE S. MASSON M., DUPONT N., MASSON E. & PENVEN M.J. (mise en ligne le 21 mars 2011) - la méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables, *PHYSIO-GÉO*, Géographie Physique et Environnement, Collection "Ouvrages", 168 pages.
- CHAPLOT, V., F. DARBOUX, H. BOURENNANE, S. LEGUÉDOIS, N. SILVERA & K. PHACHOMPHON (2006) : Accuracy of interpolation techniques for the derivation of digital elevation models in relation to landform types and data density. *Geomorphology*, vol. 77: 126-141.
- DE NONI B., DE NONI G., FERNANDEZ DE CASTRO & PELTRE P. (1988) : Drainage urbain et accidents climatiques à Quito (Équateur); analyse d'un cas récent de crue boueuse. *Cahiers Sciences Humaines*, 24 : 225-24.
- DROUIN A (2008) : « Élaboration d'un modèle de simulation des niveaux d'inondation à partir d'un SIG et application à un site : rivière Saint-François à Sherbrooke ». *Environnement Urbain / Urban Environment*, 2 : 33-49.
- HAUHOUOT C. (2008) : Analyse du risque pluvial dans les quartiers précaires d'Abidjan. Etude de cas à Attécoubé. *Geo-Eco-Trop*, 32:75 - 82
- POLIDORI L., ARCHAMBAULT F.X. & KASSER M., (1997). SAR Interferometric DEM quality assessment. In Actes Fringe 96 Workshop : ERS SAR Interferometry, Zurich, pp. 57-60.

ROBIN M. (2002) : Étude des risques côtiers sous l'angle de la géomatique. *Annales de Géographie*, 627-628 : 471-502.

STRAHLER, A. N. (1952) «Quantitative analysis of watershed geomorphology», *In* : Transactions of the American Geophysical Union., 8, 6 : 913-920.