

Application de la géomatique et de l'analyse multicritère à l'analyse du risque d'inondation dans la ville d'Agboville (Sud de la Côte d'Ivoire)

Armand Kangah

Kolotioloma Alama Coulibaly

Institut de Géographie Tropicale (IGT)

Laboratoire d'Etude des Milieux Naturels Anthropisés (LAMINAT)

Université Félix Houphouët-Boigny Abidjan Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n23p87](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n23p87)

Submitted: 07 June 2024
Accepted: 19 August 2024
Published: 31 August 2024

Copyright 2024 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:

Kangah A. & Coulibaly K.A. (2024). *Application de la géomatique et de l'analyse multicritère à l'analyse du risque d'inondation dans la ville d'Agboville (Sud de la Côte d'Ivoire)*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (23), 87.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n23p87>

Résumé

Depuis quelques années, les villes ivoiriennes dont Agboville, subissent durant les saisons pluvieuses des inondations dévastatrices et meurtrières. La récurrence et les dégâts matériels et humains causés par ce phénomène sont devenus une préoccupation majeure pour les populations. La présente étude se fixe comme objectif, d'analyser à partir des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) et de l'analyse multicritère de Saaty, le niveau de risque d'inondation dans la ville d'Agboville. Le but visé est la cartographie des zones à risque d'inondation afin qu'elle soit intégrée dans les plans d'aménagement et aide également dans les prises des décisions. Ainsi, à partir des SIG, les facteurs susceptibles d'intervenir dans la manifestation de l'aléa inondation (pente, altitude, pluie, réseau de drainage) et des éléments qui pourraient être endommagés (enjeux matériels et humains) ont d'abord été cartographiés au moyen des données topographiques (Alos Palsar), démographiques et d'occupation du sol (images Maxar). Ensuite, l'utilisation de l'analyse multicritère de Saaty a conduit à la hiérarchisation ainsi qu'à la pondération des facteurs afin de déterminer leur poids dans la manifestation de l'inondation. Enfin, le recours à la méthode combinatoire de Voogd a abouti à la détermination des fonctions d'aléa, de vulnérabilité et du risque

d'inondation. L'application de ces différentes fonctions dans un SIG a permis de produire les cartes des zones d'aléa, de vulnérabilité et du risque d'inondation de la ville d'Agboville. La carte des zones à risque d'inondation, validée par l'exploitation des données du terrain révèle que 38 % de l'espace urbain d'Agboville est exposé à un risque d'inondation allant de moyen à très élevé. L'insuffisance de réseaux de drainage des eaux pluviales est un facteur favorisant le risque d'inondation dans la ville. Plusieurs quartiers comportent des zones à risque d'inondation, à l'instar de ceux du centre-ville.

Mots-clés: Aléa, Vulnérabilité, Risque, Inondation, Analyse multicritère, Agboville

Application of geomatic and multicriteria analysis flood risk analysis in the city of Agboville (Southern Côte d'Ivoire)

Armand Kangah

Kolotioloma Alama Coulibaly

Institut de Géographie Tropicale (IGT)

Laboratoire d'Etude des Milieux Naturels Anthropisés (LAMINAT)

Université Félix Houphouët-Boigny Abidjan Côte d'Ivoire

Abstract

For several years now, Ivorian towns, including Agboville, have suffered devastating and deadly floods during the rainy seasons. The recurrence and the material and human damage caused by this phenomenon have become a major concern for the population. The aim of this study is to use geographic information systems (GIS) and Saaty's multi-criteria analysis to analyze the level of flood risk in Agboville City. The aim is to map areas at risk of flooding so that they can be incorporated into development plans, and also help in decision-making. Using GIS, the factors likely to contribute to the occurrence of flood hazards (slope, altitude, rainfall, drainage network) and the elements that could be damaged (material and human challenge) were first mapped using a digital elevation model from Alos Palsar, demographic and land-use data (Maxar images). Next, Saaty's multi-criteria analysis was used to prioritize and weigh the factors in order to determine their contribution to flooding. Finally, the use of Voogd's combinatorial method led to the determination of hazard, vulnerability, and flood risk functions. These functions were then applied in a GIS to produce maps of hazard, vulnerability, and flood risk zones. The map of flood risk zones, validated by field data, reveals that 38% of Agboville's urban area is exposed to a medium to very high risk of flooding. The inadequacy of stormwater drainage systems is a

factor contributing to the risk of flooding in the town. Several parts of town except the city center are at risk of flooding.

Keywords: Hazard, Vulnerability, Risk, Flooding, Multicriteria analysis, Agboville

Introduction

Les inondations constituent un des principaux risques naturels auxquels les sociétés actuelles sont confrontées (Calvo & Longuépée, 2010, p. 315). Ces dernières années, elles sont devenues plus fréquentes, intenses et meurtrières avec le changement climatique qui accentue les risques en augmentant la fréquence et l'intensité des événements climatiques extrêmes.

C'est le cas en Afrique de l'Ouest, où de fortes précipitations survenues en 2009 ont induit des inondations qui ont affecté près de 600 000 personnes tandis que 159 autres auraient perdues la vie (OCHA, 2010, p. 2). De la région dakaraise à Cotonou en passant par Niamey, certains quartiers sont inondés d'une année à l'autre et de manière croissante (Wallez, 2010, p.1). Selon plusieurs auteurs (Desbordes, 1994, p. 491; Wallez, 2010, p.1; Assouman, 2019, p.43; Kangah, 2022, p. 46), ces inondations urbaines trouvent leur origine très souvent dans l'explosion de la démographie urbaine. En effet, les faibles capacités économiques et les difficultés de gestion de la croissance urbaine dans la majorité des villes africaines, se traduisent par une occupation anarchique de l'espace urbain avec des constructions dans les secteurs inondables (Kangah, 2022, p. 46).

En Côte d'Ivoire, les inondations sont parmi les risques naturels les plus importants (Kangah & Alla, 2015, p. 298). Dans la majorité des cas, elles sont causées par le ruissèlement des eaux pluviales. Chaque année, pendant la saison pluvieuse, de violentes pluies suivies d'inondations dévastatrices et meurtrières touchent un grand nombre de villes ivoiriennes, particulièrement celles du Sud. Cette recrudescence des inondations constitue un véritable problème pour les populations et les dirigeants. C'est à ce problème qu'est confrontée la ville d'Agboville située au Sud de la Côte d'Ivoire, plus précisément au Nord d'Abidjan.

En effet, la ville d'Agboville fait face à des inondations récurrentes qui endeuillent de nombreux foyers, occasionnent d'importants dégâts matériels et le déplacement des populations. C'est le cas en Juin 2018, où les inondations ont fait 1400 victimes. L'année suivante (Juin 2019), la ville a subi à nouveau les effets des inondations qui ont enregistré 271 victimes. En 2022, selon le rapport de la direction régionale de la solidarité et de la lutte contre la pauvreté de la région, la ville d'Agboville a connu de nouvelles inondations qui ont fait 1182 victimes. Le constat qui se dégage est que la plupart des victimes de ces

inondations ont une méconnaissance des risques encourus en occupant ces espaces. Si rien n'est fait, ces populations subiront toujours les mêmes drames. Vu la recrudescence et l'ampleur de ce phénomène, il s'avère nécessaire de circonscrire les zones inondables afin de mener des actions de prévention pour limiter les inondations et leurs effets sur les populations et leurs biens.

Ces inondations impliquant plusieurs facteurs, il est important de recourir comme le font savoir Renard & Chapon (2010, p. 37) à des méthodes d'aide à la décision pour faciliter les choix nécessaires. Au nombre de celles-ci, il y a la méthode d'analyse multicritère développée par Saaty (1980). Cette méthode a été utilisée par plusieurs auteurs (Kouassi, 2021, p. 32; Kouadio *et al.*, 2023, p. 119) car présentant l'avantage d'être simple d'utilisation et permet de vérifier la cohérence des jugements (Renard & Chapon, 2010, p 38). Par ailleurs, les Systèmes d'Informations Géographique (SIG) demeurent également selon Dembele & Ouattara (2019, p. 258), des outils essentiels d'évaluation du risque et jouent pleinement un rôle dans l'aide à la prise de décisions et la gestion des stratégies d'adaptation des populations vulnérables. La présente étude se fixe comme objectif, d'analyser à partir de l'analyse multicritère et du SIG, le niveau du risque d'inondation dans la ville d'Agboville. Elle s'inscrit dans une démarche de prévention du risque avec pour but de mettre à disposition des décideurs, des cartes qui localisent les zones à risque d'inondation en vue de faciliter les prises de décision. De façon spécifique, il s'agira dans un premier temps, de déterminer les facteurs intervenants dans le processus (aléa et vulnérabilité) ; ensuite, il faudra cartographier ces facteurs ; enfin, compiler toutes ces cartes thématiques conçues afin de produire une carte de synthèse qui présente les zones à risque d'inondation de la ville d'Agboville et procéder à leurs analyses.

1. Présentation de la zone d'étude

La ville d'Agboville est située dans le Sud de la Côte d'Ivoire, à 85 km de l'agglomération Abidjanaise. Elle s'étend sur une superficie de 12 000 km² et est localisée entre les longitudes 4°11'30'' et 4°14'0'' Ouest et les latitudes 5°54'30'' et 5°57'30'' Nord.

La ville est bâtie sur un plateau dont l'altitude moyenne est de 83 mètres. L'Agneby, principal cours d'eau, traverse la ville dans sa moitié Sud en la scindant en deux blocs. Celui situé au Sud du fleuve présente une structure plus ou moins massive avec très peu de vallées. Par contre, le bloc situé au Nord se trouve fortement disséqué par la présence de plusieurs vallées orientées du Nord vers le Sud en direction de l'Agneby. Ces vallées ont un fond généralement effilé vers l'amont qui s'élargit progressivement vers l'aval, aux abords de l'Agneby. Les plus hautes altitudes sont situées aux

extrémités Nord et Sud de la ville et diminuent progressivement vers le fleuve Agneby où se trouvent les plus basses altitudes.

Par ailleurs, la ville appartient à un climat de type subéquatorial comprenant quatre (04) saisons dont deux (02) saisons de pluie et deux (02) saisons sèches. La grande saison des pluies part d'avril à juillet au cours de laquelle tombent les 2/3 des précipitations annuelles avec une hauteur des pluies qui dépasse 2700 mm. La petite saison sèche s'étend d'août à septembre, la petite saison des pluies d'octobre à novembre et la grande saison sèche de décembre à mars. La température moyenne oscille entre 25°C pendant la saison des pluies et 27°C en saison sèche (Eldin, 1971, p. 107).

Au plan de la démographie, la ville compte au dernier recensement de la population (RGPH 2021), 135 082 habitants réparties dans 16 quartiers. La population est majoritairement de l'ethnies Abey, Krobou et Attié. Toutefois, on retrouve des ethnies d'autres régions de la Côte d'Ivoire (Baoulé, Agni, ...) et de la sous-région ouest Africaine (Burkina Faso, Mali, Guinée). Les activités principales rencontrées dans la ville sont le commerce, l'artisanat et les services.

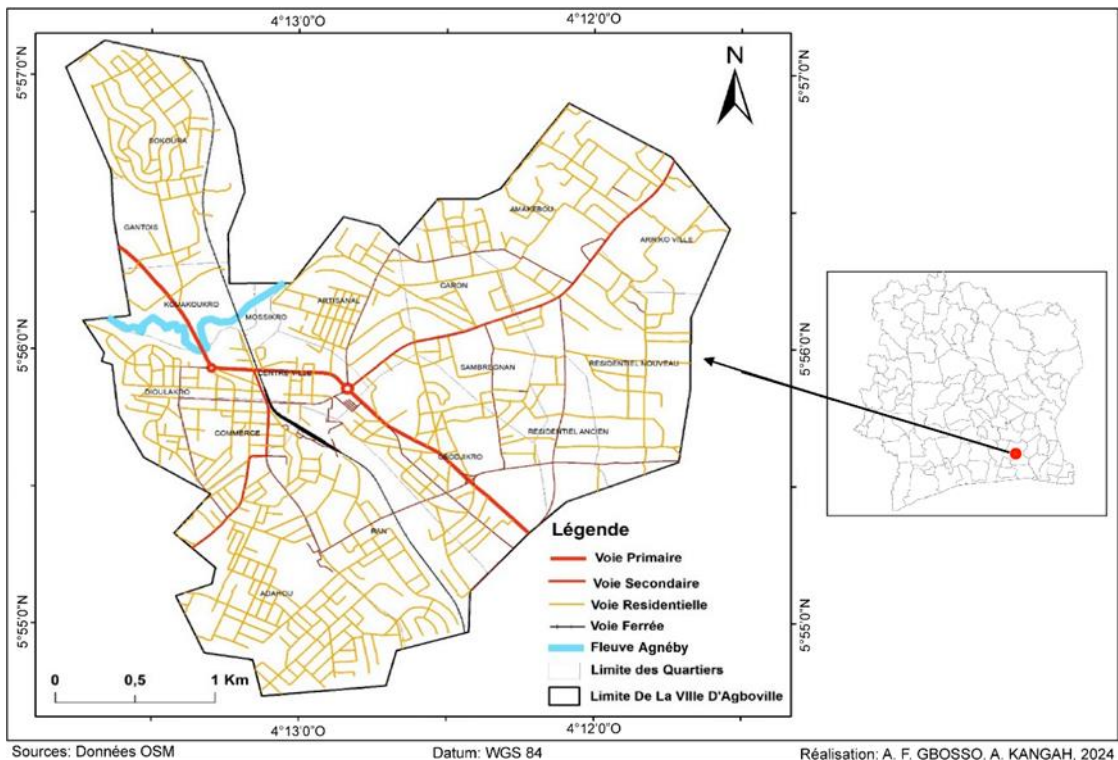


Figure 1 : Localisation de la ville d'Agboville

2. Approche méthodologique

2.1 Données disponibles

Diverses sources de données ont été utilisées au cours de la présente étude. Il s'agit :

- des données topographiques ALOS PALSAR - Radiometric Terrain Correction (RTC) de résolution 12,5 m disponibles sur le site Alaska Satellite Facility (<https://search.asf.alaska.edu/>). Elles ont servi à mettre en évidence la topographie de la ville et à l'extraction du réseau hydrographique, des pentes, des altitudes et la densité de drainage de la ville.
- des données pluviométriques, facteur déterminant dans le déclenchement de l'aléa inondation. Au niveau de la zone d'étude (très peu étendue), les variations spatiales de l'intensité des pluies sont insignifiantes et ne sont pas susceptibles d'influencer les inondations dans la ville. Les données recueillies portent sur des précipitations mensuelles de 1961 à 2020. Elles ont été mesurées au poste pluviométrique d'Agboville par la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM). Elles ont concouru à mettre en évidence les mois les plus pluvieux susceptibles de provoquer des inondations dans la ville.
- une image satellitaire Maxar de résolution 1 mètre fourni par World Imagery. Cette image est disponible gratuitement sur la plateforme de cartographie en ligne de ArcGIS (ArcGIS Online). Elle a servi de support à la cartographie des types d'occupation du sol dans la ville d'Agboville.
- des données démographiques issues du RGPH 2021, obtenues auprès de l'Institut National de la Statistique (INS), elles ont servi au calcul de la densité de population par quartier.
- une carte de la ville d'Agboville et ses quartiers, obtenue auprès de l'Institut National de la Statistique (INS).

2.2 Processus de cartographie des zones à risque d'inondation

L'inondation dont il est question dans la présente étude est celle causée par le ruissèlement des eaux pluviales. Elle est la résultante de la conjugaison des facteurs d'aléa et de vulnérabilité.

Se référant à la littérature (Kouassi et *al.*, 2021, p. 32; Kouadio et *al.*, 2023, p. 118) et des connaissances du terrain (zone d'étude), quatre (4) facteurs d'aléa inondation (intensité des précipitations, pentes, altitudes, densité de drainage) et deux (2) facteurs de vulnérabilité (densité du bâti, densité de population) jugés pertinents ont été retenus. Ceux-ci ont été cartographiés puis confrontés pour produire la carte des zones à risque d'inondation.

2.2.1 Cartographie des facteurs d'aléa inondation

- *Carte d'intensité de précipitation*

Pour une petite ville comme Agboville, les variations spatiales de l'intensité pluviométrique ne sont pas suffisantes pour influencer sur les inondations. L'intensité de la pluie est la même en tout point de la ville. L'analyse des quantités de pluie de la station pluviométrique située au centre de la ville a permis de mettre en évidence les mois les plus pluvieux susceptibles de provoquer des inondations.

- *Carte des pentes*

La pente est un facteur déterminant dans les inondations par ruissèlement d'eau pluviale. Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) de la ville a d'abord été conçu à partir de l'image ALOS PALSAR RTC. Ensuite, les pentes ont été générées automatiquement en pourcentage du MNT à l'aide du logiciel ArcMap et reclassifiées pour enfin constituer une carte des pentes. Quatre (4) classes de pente (très faible, faible, Moyenne et élevé) ont été retenues.

- *Cartes des altitudes*

En plus des pentes, l'altitude est également un facteur important du risque d'inondation par ruissèlement d'eau pluviale. En effet les eaux pluviales ruissèlent des hautes altitudes vers les plus basses où elles s'accumulent. Il est donc important de distinguer les pentes situées dans les hautes altitudes (surfaces de ruissèlement) de celles situées en basses altitudes (collecteurs). La carte des altitudes a été générée automatiquement à partir de l'image ALOS PALSAR RTC. Elle comprend cinq (5) niveaux d'altitude (très faible, faible, Moyenne, élevé et très élevé).

- *Carte de densité de drainage*

La cartographie du réseau de drainage a été faite en deux phases. D'abord l'extraction du réseau hydrographique à partir de l'image ALOS PALSAR RTC qui a consisté à définir successivement avec le logiciel ArcGIS : 1) les directions du flux ; 2) le sens d'écoulement des eaux ; 3) les zones d'accumulation des eaux ; 4) la vitesse d'écoulement de la masse d'eau ; 5) l'ordre d'écoulement des eaux. Le raster issu de ce processus a été converti en fichier vecteur pour obtenir la carte du réseau hydrographique. Cette dernière a par la suite été interpolée dans le logiciel ArcGIS pour générer la carte de densité de drainage en quatre (4) classes (très faible, faible, moyen, élevé).

2.2.2 Cartographie des facteurs de vulnérabilité (enjeux matériels et humains)

L'inégale répartition des enjeux en milieu urbain mettent en évidence différents niveaux de vulnérabilités

- *Carte du mode d'occupation du sol (enjeux matériels)*

Elle met en évidence la distribution spatiale des enjeux matériels. Elle a été obtenue par interprétation visuelle de l'image satellite Maxar de la ville d'Agboville sur la plateforme de cartographie de ArcGIS Online. Elle a consisté, avec les outils de cartographie du logiciel ArcGIS à numériser à l'écran l'ensemble des surfaces bâties (maisons, types d'équipements et infrastructures) et non bâties (espace verts, broussaille, parc à bois, sols nus, etc.) rencontrés dans la ville. Quatre (4) classes ont été retenues : bâtis densifié, bâtis moyen, bâtis faible et sols nus/broussailles).

- *Carte de densité de population (enjeux humains)*

Il était question de faire ressortir les différents niveaux de concentration spatiale de la population au sein de la ville. La carte de densité de population a été conçue en affectant à chaque unité spatiale qui est le quartier, son volume de population respectif. Elle comporte une légende avec quatre niveaux de densité (Faible, Moyen, élevé, Très élevé).

2.2.3 Détermination de la fonction du risque

La détermination de la fonction du risque d'inondation précède la spatialisation des zones à risque. Le processus de détermination est le suivant :

- *Pondération des facteurs*

Les facteurs d'aléa et de vulnérabilité contribuent différemment à la manifestation de l'inondation. La pondération consiste à rendre d'abord les facteurs comparables en construisant une matrice carrée dans laquelle l'on évalue l'importance relative d'un facteur par rapport à un autre. Saaty (1984) propose à cet effet une échelle de comparaison (tableau 1).

Tableau 1 : échelle de comparaison binaire proposée par Saaty

Degré d'importance	Degré d'importance verbale
1	Importance égale de deux éléments
3	Faible importance d'un élément par rapport à l'autre
5	Importance forte d'un élément par rapport à un autre
7	Importance attestée d'un élément par rapport à un autre
9	Importance absolue d'un élément par rapport à un autre
2 ;4,6 ;8	Valeurs intermédiaires entre deux appréciations voisines
1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9	Valeurs réciproques des appréciations précédentes

Source : Saaty, 1984

S'appuyant sur l'échelle de comparaison proposée par Saaty, l'on a attribué à chacun des facteurs, une valeur "poids" qui correspond à l'importance du rôle qu'il joue dans la manifestation de l'inondation (tableau 2).

Après l’attribution des valeurs s’en est suivi le calcul du coefficient de pondération (Cp) de chaque facteur. Il s’obtient en faisant successivement les opérations suivantes dans la matrice :

- la sommation de chaque colonne de la matrice ;
- la normalisation de la matrice en divisant chaque valeur d'une colonne par la somme de cette colonne ;
- calcul de la moyenne de chaque ligne. Cette dernière opération a permis d'obtenir le coefficient de pondération de chaque facteur dans la manifestation de l’inondation.

Les tableaux 2 et 3 situe l’importance d’un facteur par rapport à un autre ainsi que le coefficient de pondération de chaque facteur.

Tableau 2 : Matrice de comparaison par paire et coefficient de pondération des facteurs d’aléa

	Altitude	Pente	Densité drainage	Cp (Poids)
Altitude	1	3	5	0,63
Pente	1/3	1	3	0,26
Densité de drainage	1/5	1/3	1	0,11
Σ	1,53	4,33	9	

Source : A. KANGAH

Tableau 3 : Matrice de comparaison par paire de coefficient de pondération des facteurs de vulnérabilité

	Densité Bâties	Densité population	Cp (Poids)
Densité Bâties	1	1/7	0,12
Densité population	7	1	0,88
Σ	8	1,14	

Source : A. KANGAH

• *Détermination de la cohérence des jugements*

Cette étape a consisté à vérifier le degré de cohérence des jugements en déterminant le Ratio de Cohérence (Rc). Si celui-ci est inférieur à 1, cela traduit une bonne cohérence des jugements, mais s’il est supérieur à 1, il indique un niveau trop élevé d’incohérences. Elle s’est faite en plusieurs étapes et consiste à : 1) déterminer les vecteurs prioritaires en multipliant chaque valeur de la matrice par la priorité du critère (Cp) ; 2) déterminer la priorité globale en faisant la somme des valeurs de chaque rangée ; 3) déterminer la priorité rationnelle en divisant les valeurs de la priorité globale par les coefficients de pondération ; 4) déterminer la moyenne des priorités rationnelles (λ_{max}) ; 5) déterminer l’indice de cohérence (Ic) et le ratio de cohérence (Rc) dont les formules sont les suivantes :

$$R_C = \frac{I_C}{I_A} \qquad I_C = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Avec

Ia = index de cohérence, n = nombre de critères comparés. IA=0 pour n inférieur à 3.

Lorsque Rc <10 %, cela montre que les jugements des experts sont cohérents.

Dans la présente étude, les calculs ont donné ce qui suit :

- 1) *Au niveau des facteurs d'aléa, n= 3, Ia= 0,58 ; λmax = 3,04 ; Ic= 0,2 ; Rc=0,033, soit 3,3%.*
- 2) *concernant les facteurs de vulnérabilité, n=2, donc Ia =0 ; ce qui donne Rc=0*

Le Rc calculé étant de 3,3 % (<10 %) pour les facteurs d'aléa et 0 pour les facteurs de vulnérabilité, les jugements sont qualifiés de cohérents.

- *Détermination des fonctions d'aléa et de vulnérabilité*

Après vérification de la cohérence a suivi la détermination des fonctions d'aléa et de vulnérabilité. Ces fonctions ont été nécessaires pour la spatialisation des zones d'aléa inondation et de la vulnérabilité. La méthode combinatoire de Voogd (1983, p.173) exprimée par l'équation suivante a été utilisée :

$$I = \sum_{j=1}^n W_j w_{ij}$$

Avec :

I = l'indice lié à l'indicateur, Wj = le poids du paramètre j, wij : le poids de la classe i dans le paramètre j et n = le nombre de paramètres.

Les fonctions d'aléa inondation et de vulnérabilité qui sont des combinaisons linéaires des couches (facteurs) avec leurs poids respectifs s'écrivent comme suit :

*Aléa inondation= 0,63*Altitude (Alt) + 0,26*Pente (P) + 0,11*Densité de drainage (Dd)*

*Vulnérabilité = 0,12*Densité du bâtis (Db) + 0,88*Densité de population (Dp)*

- *Détermination de la fonction du risque d'inondation*

Le risque étant la conjugaison de l'aléa et de la vulnérabilité, la fonction du risque a été obtenue en croisant celle de l'aléa à celle de la vulnérabilité. Elle s'écrit comme suit :

*Risque = Aléa x vulnérabilité = ((0,63*Altitude (Alt) + 0,26*Pente (P) + 0,11*Densité de drainage (Dd)) x (0,12*Densité du bâti + 0,88*Densité de population)).*

2.2.4 Spatialisation des zones à risque d'inondation

La spatialisation des zones à risque d'inondation a été précédée des celles des zones d'aléa et de vulnérabilité.

- *Cartes d'aléa inondation et de la vulnérabilité*

Il s'est agi de traduire sous forme de cartes, les fonctions d'aléa et de la vulnérabilité. Ces différentes fonctions ont été exécutées dans le logiciel ArcGIS avec les couches (cartes) et coefficients (poids) respectifs qui leurs sont associés. Deux cartes ont été obtenues. Celle des zones d'aléa avec cinq (5) classes (très faible, faible, moyen, élevé, très élevé) et celle de la vulnérabilité avec quatre (4) classes (très faible, faible, moyen, élevé).

- *Carte des zones à risque d'inondation*

Il était également question de traduire sous forme de carte la fonction du risque inondation. Cette fonction a été exécutée dans le logiciel ArcGIS avec les couches (cartes) et coefficients (poids) respectifs qui leur sont associés. La carte issue de cette fonction présente cinq (5) niveaux de risque (très faible, faible, moyen, élevé, très élevé).

3. Présentation des résultats

3.1 Analyses des cartes des facteurs d'aléa et de vulnérabilité

3.1.1 Analyses des cartes des facteurs d'aléa

Quatre facteurs d'aléa ont été identifiés dont trois (pente, altitude, drainage) ont pu être spatialisés et pris en compte dans la cartographie des zones à risque d'inondation (Planche 1). Le quatrième facteur (intensité pluviométrique) est uniforme en tout point de la ville. Il a toutefois été analysé.

- *Carte des pentes*

La carte des pentes présente quatre classes d'inclinaison qui se situent entre 0 et 30 %. Les inclinaisons de pentes très faibles et faibles (0 à 8 %) participent fortement à l'accumulation des eaux. Elles occupent sur 77 % des terres de la ville et se rencontrent soit, sur les sommets des interfluves, soit dans les basfonds. En revanche, les pentes moyennes et élevées (plus de 8 %) favorisent le ruissellement des eaux pluviales. Elles se situent sur les versants des vallées et occupent 23 % de l'espace urbain (planche 1, figure a).

- *Carte d'altitudes*

Elle fait ressortir cinq niveaux d'altitudes allant de très faible (49 m) à très élevé (116 m). Les altitudes élevées et très élevées constituent des surfaces de ruissèlement. Elles occupent 37 % de l'espace urbain et sont situées à l'extrémité nord de la ville. Les altitudes moyennes concernent 28 % des terres urbaines et constituent des surfaces de transit des eaux de ruissèlement provenant des altitudes élevées vers les basses altitudes. Les zones de faibles et très faibles altitudes constituent d'importantes surfaces d'accumulation des eaux de ruissèlement provenant des altitudes élevées et qui sont susceptibles de créer des inondations. Ces zones représentent 35 % de l'espace urbain (planche 1, figure b).

• *Carte de densité de drainage*

La carte présente quatre niveaux de densité de drainage (planche 1, figure c). Les espaces de très faible et faible densité de drainage correspondent à des surfaces de ruissellement situées généralement sur les interfluvés. Elles concernent 83 % de l'espace urbain. Les zones de densité moyenne et élevée sont situées dans les vallées et surtout dans les zones de confluence des vallées. La densité du drainage dans ces zones peut être sujette à des inondations. Elles représentent 17 % de l'espace urbain.

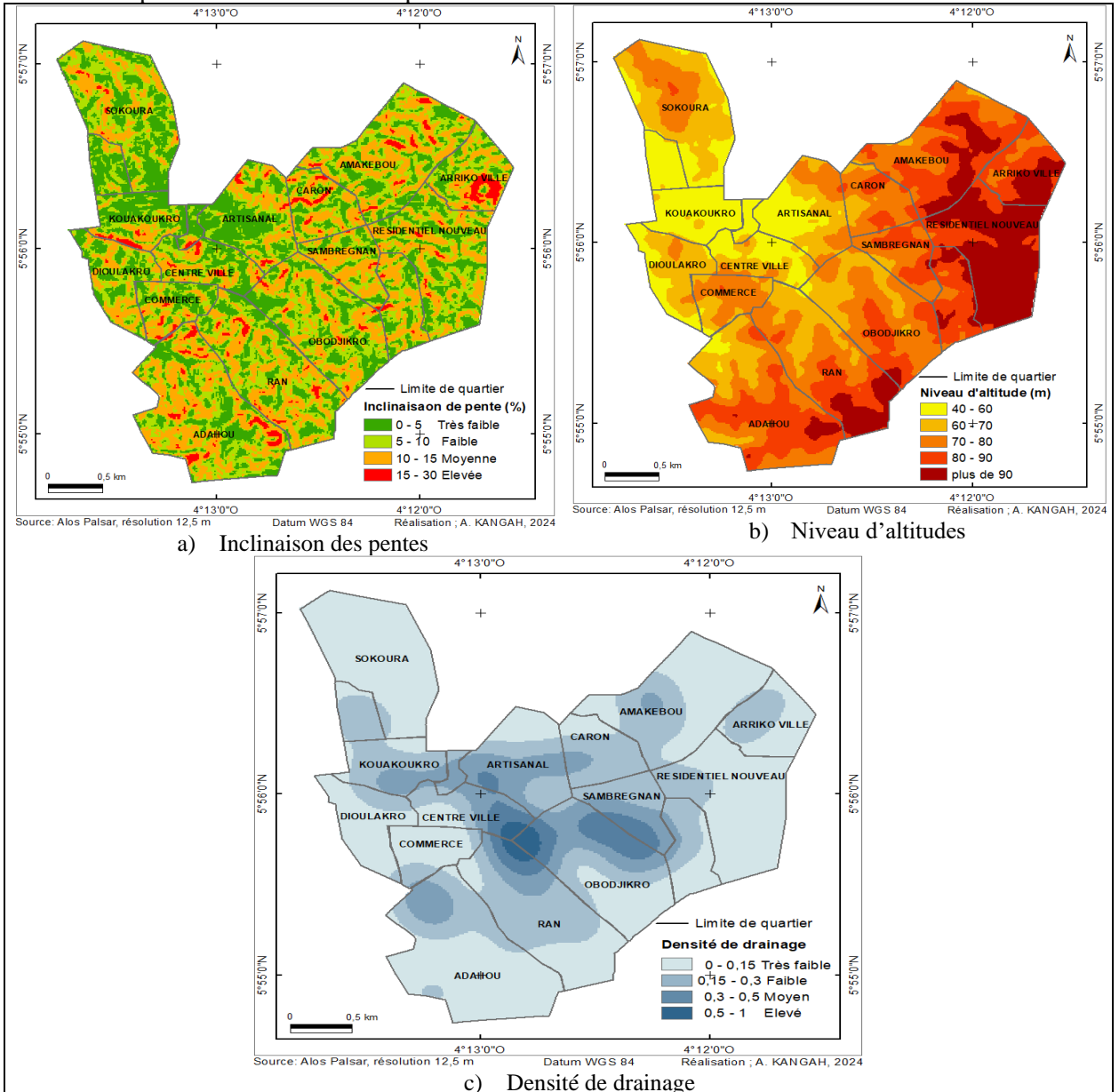
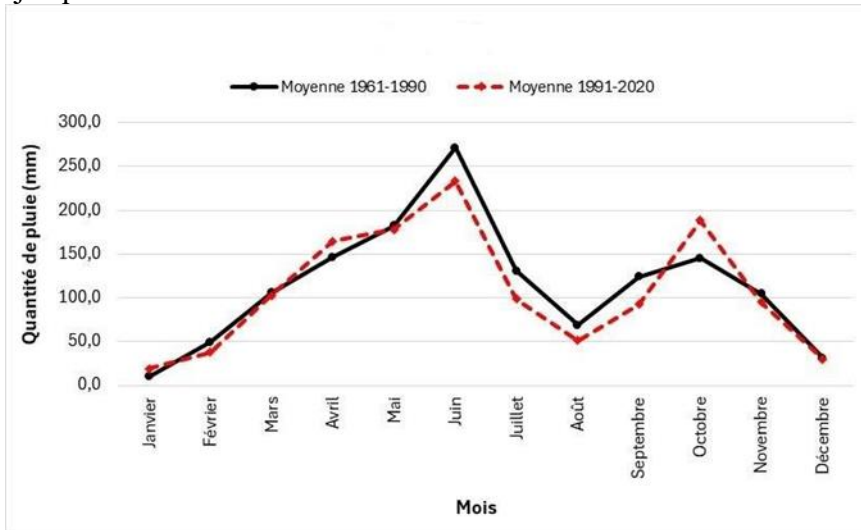


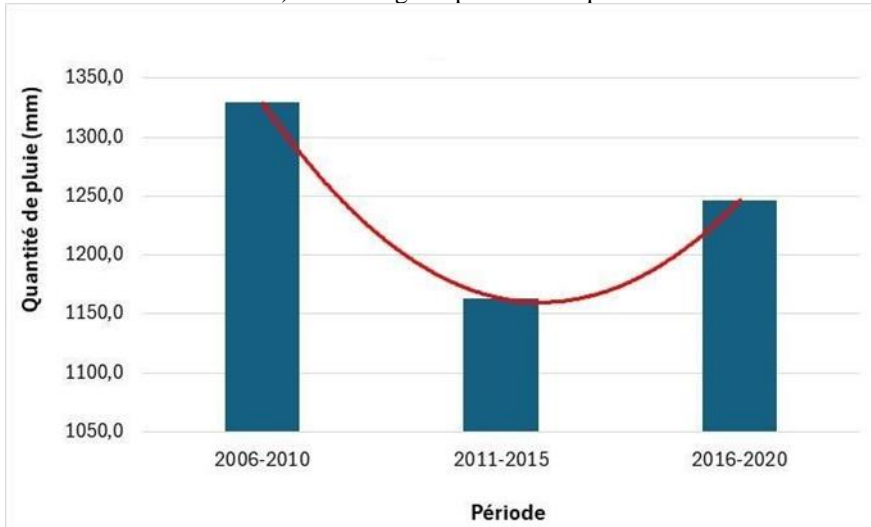
Planche 1 : Cartes des facteurs d'aléa

- *Intensité pluviométrique*

La ville d'Agboville dispose d'un seul site de relevé pluviométrique. A cet effet, le facteur intensité pluviométrique n'a pu être cartographié. Il a été admis que la quantité de pluie tombée sur la ville ne varie pas d'un espace à un autre. La planche 2 montre la variation des quantités de pluie à Agboville depuis 1961 jusqu'en 2020.



a) Régime pluviométrique



b) Quantité de pluie annuelle quinquennale

Source : Relevés pluviométriques 1961-2020 du poste pluviométrique d'Agboville

Planche 2 : Régime pluviométrique et quantité de pluie annuelle quinquennale à Agboville

Le régime pluviométrique d'Agboville indique qu'il y a deux saisons de pluie. La première et grande saison est centrée sur avril-mai-juin-juillet avec le pic de pluie d'environ 250 mm en juin. La deuxième saison centrée sur

septembre-octobre-novembre est plus courte et moins intense avec le maximum de pluie de 150 à 200 mm en octobre. Ces saisons constituent les périodes à risque d'inondation à Agboville. La comparaison des périodes à long terme 1961-1990 et 1991-2020 indique une baisse des quantités de pluie au cours de la période 1991-2020 pendant la première saison des pluies. Cependant, la deuxième saison enregistre une hausse des quantités de pluie sur la période 1991-2020.

L'analyse des quantités annuelles de pluie sur des périodes de cinq ans depuis 2006 jusqu'en 2020 indique une baisse de 12,5% au cours de la période 2011-2015, suivi d'une hausse de 7% au cours de la période récente 2016-2020. Cette reprise des quantités de pluie pourrait être l'une des causes des récentes inondations observées dans la ville d'Agboville.

3.1.2 Analyse des cartes des facteurs de vulnérabilité

Deux cartes de facteurs de vulnérabilité ont été réalisées. Il s'agit d'une part, la carte des enjeux matériels représentés par la densité du bâti et d'autre part, la carte des enjeux humains représenté par la densité de la population (planche 3).

- *Carte de densité de bâti*

Cette met en évidence la répartition des enjeux matériels (densité du bâti) dans l'espace urbain. Quatre niveaux (non bâti à densément bâti) ont été identifiés. Les surfaces densément bâties occupent 41 % de l'espace urbain. Sur ces espaces, les maisons sont très resserrées les unes contre les autres. Une inondation de ces zones causerait beaucoup de dégâts matériels et humains. Les surfaces moyennement bâties représentent 26 % de l'espace urbain. Sur ces dernières, les maisons sont moins resserrées. Quant aux surfaces faiblement bâties, elles s'étendent sur 18 % de l'espace urbain. Sur ces espaces, les maisons sont très espacées à cause de nombreux lots non encore construits. Enfin, les surfaces non construites représentent 20 % des terres urbaines (planche 3, figure a). Une inondation de ces espaces (généralement des fonds de vallées) ne causerait aucun dégât matériel et humain.

- *Carte de densité de population*

Elle met en évidence quatre niveaux de densité de la population. Les zones à faible densité de population couvrent 6 % de l'espace urbain. Les espaces à densité moyenne concernent près de la moitié (49 %) de la ville. Les espaces à forte et très forte densité de population s'étendent sur 45 % du territoire urbain. Une inondation de ces espaces causerait d'énormes dégâts humains vu la forte concentration de la population.

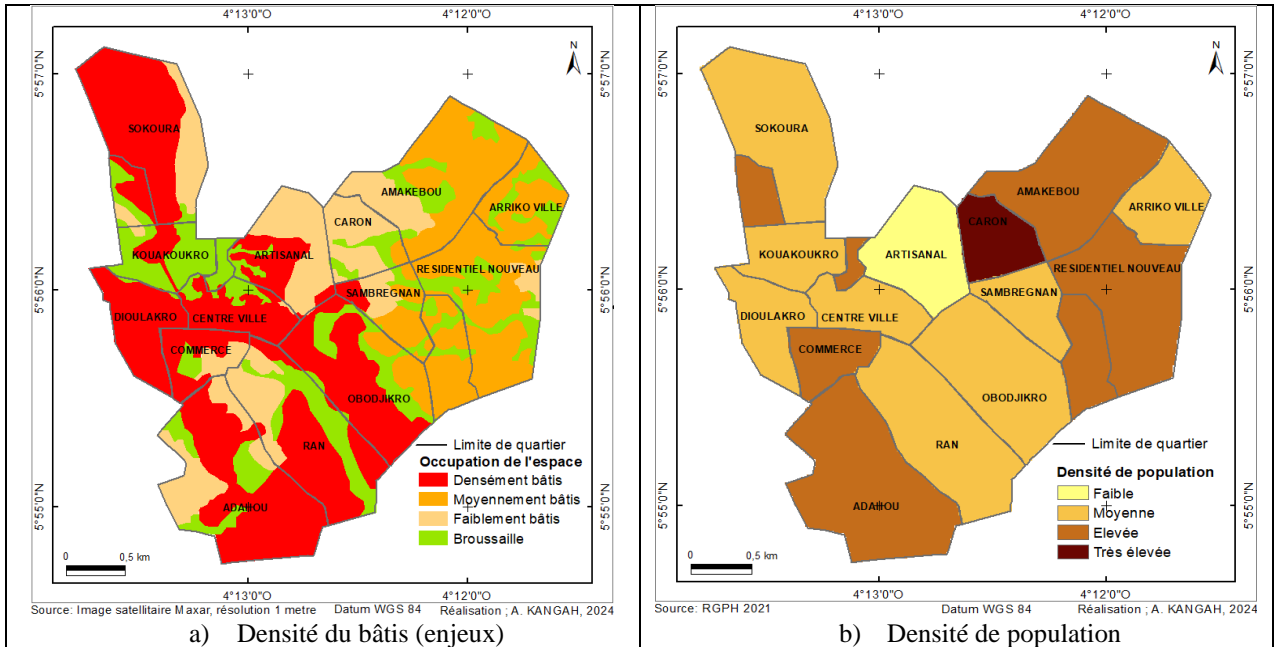


Planche 3 : Cartes des facteurs de vulnérabilité

3.2 Analyse spatiale du risque d'inondation

3.2.1 Cartes d'aléa inondation et de vulnérabilité

- *Carte d'aléa inondation*

La carte d'aléa inondation est issue de la confrontation des cartes des facteurs d'aléa (pente, altitude et densité de drainage). Elle met en évidence les niveaux de susceptibilité à l'inondation par ruissellement dans la ville d'Agboville. Quatre niveaux d'aléa allant de très faible à élevé ont été identifiés dans la ville (Planche 4, figure a).

Les zones de très faible et de faible aléa

Elles correspondent au sommet des interfluves et leurs versants. Elles couvrent 44 % de la surface de la ville. Les susceptibilités à l'inondation de ces zones demeurent très faibles car les interfluves et leurs versants constituent des surfaces de ruissellement et d'orientation des eaux de pluie vers les collecteurs. La quantité d'eau ruisselée fut-elle importante ne suffirait pas à inonder ces zones. Sont concernés, les quartiers RAN et Adahou localisés dans le Sud et les quartiers Résidentiel nouveau, Arriko ville et Amakebou localisés dans le Nord-est.

Les zones d'aléa moyen

Ces zones s'étendent sur 23 % des terres urbaines. Il s'agit généralement des têtes de vallées (vallon) qui jouent le rôle de collecteur de

premier niveau et des zones planes situées au contre bas des versants des interfluves. Ces zones reçoivent directement les eaux de ruissellement en provenance des sommets des interfluves et les orientent vers des collecteurs (vallées) plus grands. La quantité d'eau ruisselée dans ces zones fut-elle importante ne suffirait pas à créer une inondation à moins qu'elle rencontre des obstacles. Ces zones se rencontrent dans les quartiers Ran, Adahou, Obodjikro, Amakebou, Karon, Commerce et Sokoura.

Les zones d'aléa élevé et très élevé

Ces zones correspondent aux espaces occupés par les axes de concentration de niveau 2 ; 3 et des terrasses alluviales. Les axes de concentration sont constitués généralement de vallées dont les points de confluence (niveau 2 et 3) sont parfois très larges et plats. Ces axes reçoivent directement les eaux de ruissellement en provenance des collecteurs de niveau 1 et également des eaux de ruissellement en provenant des interfluves. Passage obligé, c'est une quantité importante d'eau qui transite dans ces zones et qui est susceptible de les submerger. Elles s'étendent sur 33 % de l'espace urbain et sont localisées dans leur majorité dans le centre-ville plus précisément dans les quartiers Artisanal, Kouakoukro, Centre-ville, Mossikro et Gantois.

- *Carte de vulnérabilité*

La carte de vulnérabilité est issue de la confrontation des cartes des facteurs de vulnérabilité (densité de population et densité du bâtis). Elle présente une répartition spatiale de la vulnérabilité à quatre niveaux (Planche 4, figure b).

Zones de très faible et faible vulnérabilité

Dans ces zones, les effets d'une inondation seraient négligeables à cause de la faible présence des enjeux (l'homme, les infrastructures et les biens d'équipements). Elles s'étendent sur 28 % de l'espace urbain. Il s'agit pour la plupart des basfonds, des vallées, des zones peu bâties et moins peuplées. Sont concernés, les quartiers d'Aprikro, Artisanal, Ran, Sambregnan, Sokoura.

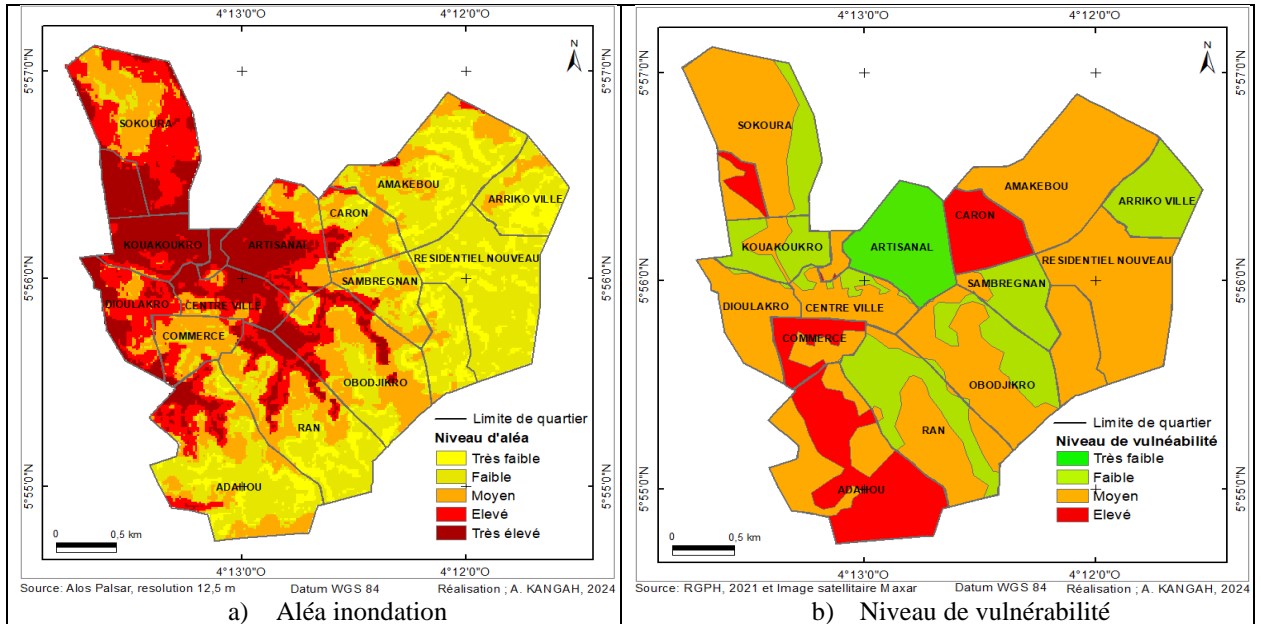


Planche 4 : Cartes d'aléa inondation et de vulnérabilité

Zones de moyenne vulnérabilité

Ces zones s'étendent sur plus de la moitié (58 %) des terres de la ville. Une inondation de ces zones entrainerait des dégâts non négligeables à cause de la présence des habitations, des infrastructures et également de la population. Elles se retrouvent dans les quartiers Résidentiel ancien et nouveau, Amakebou, Dioulakro, Sokoura.

Zones de forte vulnérabilité

Ces zones couvrent 15 % de l'espace urbain. Elles concernent principalement quatre quartiers que sont : Adahou, Commerce, Gatois et Garon. Une inondation de ces zones causerait beaucoup de dégâts matériels et humains à cause de la forte concentration des habitations, des infrastructures, des activités et des personnes.

3.2.2 Carte du risque d'inondation

Cette carte est la résultante de la confrontation de la carte des facteurs d'aléa inondation et celle de la vulnérabilité. Elle révèle que le risque d'inondation dans la ville d'Agboville est réel. Les cinq niveaux de risque déterminés montrent que toute la ville n'est pas au même niveau de risque. Pendant que le risque est élevé dans certaines zones, il est très faible dans d'autres (figure 2).

Zone de très faible et faible risque

Dans ces zones, non seulement les susceptibilités à l'inondation sont très faibles mais également le niveau de vulnérabilité est très faible, faible ou moyen. Elles couvrent 62 % du territoire urbain et sont situées en haute altitude sur les interfluves précisément dans le Sud-est et à l'Est de la ville. Certains quartiers comme Arriko sont entièrement bâtis sur ces zones, donc à l'abri du risque. En revanche, d'autres quartiers comme Ran, Obodjikro, Sambregnan et Résidentiel nouveau le sont partiellement.

Zone à risque moyen

Elles couvrent 20 % de la ville et correspondent aux axes de concentration de niveau 1. Ces zones reçoivent des eaux de ruissellement en provenance des interfluves et des versants de vallées. Sont concernées, des constructions individuelles entièrement bâties où dont le prolongement se retrouve dans les axes de concentration des eaux de ruissellement (vallées). Sont concernées également les habitations érigées dans les zones à pente très faible où l'eau ruisselle difficilement. Ces zones se retrouvent dans les quartiers Adahou, Ran, Obodjikro, Commerce, Sokoura, Amakebou.

Zone à risque élevé

Elles correspondent aux zones à forte susceptibilité à l'inondation et occupées par des populations, des infrastructures et équipements. Elles concernent 12 % du territoire urbain. Il s'agit principalement des axes de concentration des eaux de ruissellement de niveau 2 (vallées) investis partiellement par l'habitat. Elles occupent partiellement les quartiers Adahou, Obodjikro, Centre-ville, Kouakoukro, Sokoura.

Zone à risque très élevé

Les zones à risques d'inondation très élevé s'étendent sur 6 % de l'espace urbain. Elles occupent les plus basses altitudes de la ville et concernent les terrains plats, les basfonds, les fonds plats des zones de confluence des vallées et des terrasses alluviales. Ces zones ont été investies par des constructions individuelles, des infrastructures et équipements. Elles sont situées dans les quartiers Adahou, Centre-ville, Kouakoukro, Gantois, Garon et Mossikro.

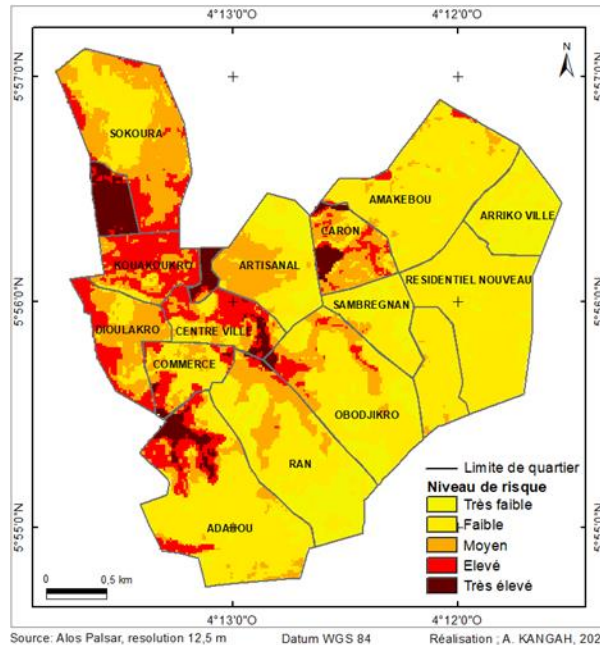


Figure 2 : Niveaux du risque d'inondation dans la ville d'Agboville

4. Discussion

L'utilisation de la méthode d'analyse multicritère de Saaty et de la géomatique a permis d'atteindre l'objectif principal de la présente étude qui est celui de l'analyse du niveau du risque d'inondation dans la ville d'Agboville.

Cette approche méthodologique qui combine à la fois l'analyse multicritère et le SIG a déjà été utilisée par Kouadio *et al.*, (2023, p. 119) pour la cartographie des zones à risque d'inondation par débordement de cours d'eau dans la région semi-montagneuse de Man. Si cet auteur a utilisé cette approche méthodologique pour l'évaluation de l'inondation à l'échelle régionale, d'autres auteurs l'ont utilisé dans le cas des inondations urbaines. C'est le cas de Kouassi *et al.*, (2021, p.32) et Eba *et al.* (2021, p. 289) qui ont utilisé cette approche respectivement pour l'évaluation et la prévention du risque dans la commune d'Abobo et pour l'évaluation de la vulnérabilité à l'inondation dans la commune de Bingerville. Cela démontre que la combinaison de la méthode d'analyse multicritère de Saaty et la géomatique s'adapte parfaitement à la présente étude. Que ce soit à l'échelle régionale ou urbaine, l'utilisation combinée de l'analyse multicritère de Saaty et du SIG produit des résultats satisfaisants et permet une bonne compréhension du phénomène étudié.

Cependant, l'application de l'analyse multicritère présente des difficultés au niveau de la hiérarchisation et de la pondération des facteurs. En effet, étant donné que les facteurs contribuent différemment dans la

manifestation de l'inondation, l'attribution des poids pose quelques difficultés. A ce sujet, Kouadio et *al.*, (2023, p.130), révèlent qu'elle a l'inconvénient de créer beaucoup de subjectivités lors de la pondération des facteurs. Cette étape très subjective de la pondération peut conduire parfois à surestimer ou sous-estimer un facteur par rapport à un autre si l'on n'a pas une bonne connaissance des facteurs ou du phénomène étudié. Elle reste subordonnée à la sensibilité de l'expert et à sa connaissance du phénomène. Cette subjectivité constitue comme le font savoir Eba et *al.*, (2021, p. 295) un facteur limitant dans l'application de l'analyse multicritère.

Bien que présentant certaines difficultés, l'analyse multicritère couplée au SIG présente toutefois l'avantage d'exploiter en synergie des données multi sources et de parvenir à la résolution des problèmes variés et complexes.

Par ailleurs, les facteurs d'aléa inondation et de vulnérabilité pris en compte dans la spatialisation du risque d'inondation sont sensiblement les mêmes que ceux utilisés par Kouassi et *al.*, (2021, p.32) pour l'évaluation et la prévention du risque dans la commune d'Abobo, et Eba et *al.*, (2021, p. 295) pour l'évaluation de la vulnérabilité à l'inondation dans la commune de Bingerville. Cependant, contrairement à ces auteurs, le facteur altitude a été pris en compte dans la présente étude. En effet, bien souvent sur les interfluves et dans les basfonds, les pentes sont sensiblement les mêmes. Or, ces deux espaces sont très différents, l'un constitue une surface de ruissellement et l'autre une surface d'accumulation avec une forte susceptibilité à l'inondation. Il y a lieu de les différencier au risque d'avoir des résultats qui ne correspondent pas à la réalité du terrain. Le facteur qui permet de les différencier est bien l'altitude. Sa prise en compte dans la présente étude a largement rehaussé la précision de la carte des zones d'aléa inondation.

Pour la validation des cartes d'aléa inondation, de vulnérabilité et du risque d'inondation, des coordonnées prélevées sur les différentes cartes, puis rentrés dans un GPS ont été confrontés aux données du terrain. Il s'est avéré une bonne conformité entre les informations recueillies sur les cartes et les données du terrain, notamment avec le réseau naturel de drainage (vallées) des eaux de pluie. Cette méthode de validation a également été utilisée par Kouassi et *al.*, (2021, p.34) pour la validation de la carte d'aléa inondation dans la commune d'Abobo en comparant les données recueillies sur la carte avec les informations de terrain.

La conformité entre la carte des zones à risque et la réalité du terrain a révélé que 18 % de l'étendue spatiale de la ville d'Agboville sont constituées de zones à risque élevé et très élevé. Également, 20 % constituent des zones à risque moyen. Toutes ces zones à risque sont situées dans les axes d'accumulation et de drainage des eaux de pluie. Cela démontre bien clairement que les inondations dans la ville d'Agboville sont liés à la configuration du relief de la ville. Ces résultats concordent avec ceux de

Kouassi et *al.*, (2021, p.35) qui lors de l'étude portant sur l'évaluation et la prévention du risque dans la commune d'Abobo ont affirmé que les inondations dans cette commune sont généralement liées à la configuration de son relief.

L'occupation anarchique des zones inondables sans le moindre aménagement est à la base des inondations récurrentes dans la ville d'Agboville. Un aménagement de ces sites par la construction d'un réseau de canalisation approprié pourrait réduire considérablement les risques d'inondation.

Au vu des résultats de cette étude, l'on peut affirmer au même titre que Dembele & Ouattara (2019, p. 258), que le SIG demeure un outil essentiel d'évaluation du risque. Il constitue avec l'analyse multicritère de Saaty de véritables moyens d'évaluation du risque en milieu urbain et d'aide à la prise de décisions.

Conclusion

S'inscrivant dans une démarche de prévention du risque d'inondation, le but visé par la présente étude était de produire la carte des zones à risque d'inondation de la ville d'Agboville afin qu'elle soit intégrée dans les plans d'aménagement et aide à la prise de décision. L'utilisation combinée de la méthode d'analyse multicritère de Saaty et la géomatique a permis d'atteindre ce but.

Cette approche méthodologique a en effet été d'une grande efficacité dans le traitement des diverses sources de données de l'étude. Elle a facilité la cartographie, la pondération et la confrontation des différents facteurs intervenant dans le processus d'inondation. Ce qui a abouti à la cartographie des zones à risque d'inondation dans la ville d'Agboville. Cette approche méthodologique s'avère donc très indiquées dans l'étude des inondations en milieu urbain.

Au niveau des résultats, la carte d'aléa inondation indique que 44 % des terres urbaines ont une très faible susceptibilité à l'inondation. Ces terres, situées en hauteur sur les interfluves constituent des surfaces de ruissellement et non des axes de concentration des eaux de pluie. Elles ne peuvent donc pas accumuler d'importantes quantités d'eau pouvant entraîner une inondation.

La même carte d'aléa révèle également que 23 % des terres dans la ville d'Agboville ont une susceptibilité moyenne à l'inondation. Ces zones par contre constituent des axes naturels de collecte et de transit vers des collecteurs plus grands des eaux de ruissellement. Ils sont très étroits et ne peuvent être investis par les habitations, mais une obstruction de ces axes peut créer une inondation des installations humaines environnantes. Le reste des terres urbaines estimées à 33 % présentent de fortes à très fortes susceptibilités à l'inondation. Ces terres inondables sont des zones de dépression de la ville.

Elles occupent les plus basses altitudes de la ville et présentent l'avantage d'être plates et étendues. Elles constituent des zones d'accumulation et d'évacuation des eaux de pluie de la ville collectées depuis les sommets des interfluves. Une pluie diluvienne n'épargnera pas ces terres d'une inondation.

Au niveau du risque inondation, la carte des zones à risque a révélé plusieurs niveaux de risque dans la ville d'Agboville. Ces zones à risque ne sont autres que les espaces inondables qui ont été colonisés par l'habitat humain. Respectivement 12 et 6 % des terres urbaines sont des zones à risque élevé et très élevé. Dans ces zones, des habitations sont entièrement construites ou leur prolongement se retrouve dans les zones à très forte susceptibilité à l'inondation. Ces zones se retrouvent principalement dans les quartiers du centre-ville. Les habitants de ces quartiers ont déjà été victimes des inondations.

Fort heureusement, 62 % du territoire urbain se retrouvent dans des zones à faible risque d'inondation. Ces zones, situées dans leur majorité sur les interfluves présentent de très faible susceptibilité à l'inondation. Si une inondation se produisait, elle ne causerait pas d'importants dégâts matériels, car ces espaces ne constituent pas des zones d'accumulation des eaux de ruissellement.

En définitif, toute la ville d'Agboville n'est pas sujette à de hauts risques d'inondation. Cependant, pour les zones qui le sont, il revient aux autorités locales de sensibiliser les occupants de ces sites aux dangers auxquels ils sont exposés puis de procéder à leur déguerpissement. Aussi, des aménagements adéquats doivent être effectués en construisant des canalisations pour faciliter le drainage des eaux de pluie. Les cartes des zones à risque doivent aider à la prise de décision et être intégrées dans les plans d'aménagement de la ville. Cela contribuerait à réduire les risques d'inondation dans la ville d'Agboville.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Assouman, S. F. (2019). Facteurs de l'érosion hydrique dans le quartier Natio-Kobadara à korhogo (nord de la cote d'ivoire). *Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou*, 3(8), 41-64.

2. Eba, A. L., Ake, G. E., Gouadou D. F., & Jourda, J. P. (2021). Evaluation de la Vulnérabilité à l'Inondation des Communes à Proximité des Grandes Villes Ouest Africaines : Cas de la Commune de Bingerville (Est d'Abidjan – Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, Vol. 17(14), 277 – 299.
3. Calvo I.-M., & Longuépée, J. (2010). *Risque d'inondation et développement durable : Développement durable et territoire*. Presses universitaires du Septentrion, Villeneuve d'Ascq. 315-326. DOI : 10.4000/books.septentrion.15373.
4. Dembele, O. & Ouattara, I. (2019). Contribution du SIG à la Prévention et à la Gestion des Risques d'inondation dans le District de Bamako au Mali. *European Scientific Journal*, 15(30), 256-277. Doi:10.19044/esj.2019.v15n30p256. URL:<http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n30p256>.
5. Desbordes, M. (1994). Principales causes d'aggravation du risque d'inondation par ruissellement pluvial en milieu urbanisé. *Crués et inondations*. 23èmes journées de l'hydraulique. Congrès de la Société Hydrotechnique de France. Nimes (France). Tome 2, 487-492.
6. Eldin, M. (1971). *Le climat de la Côte d'Ivoire : Le milieu naturel de Côte d'Ivoire*. Avenard, J.-M., Eldin, M., Girard, G., Sircoulon, J., Touchebeuf, P., Guillaumet, J.-L., Adjanohoun, E., & Perraud, A., Mémoires ORSTOM n° 50, Paris, France, 73-108.
7. Kangah, A. (2022). Croissance Urbaine Et Risques D'inondation : Cas de la ville de Bouaké. *International Journal of Humanities and Social Science Invention (IJHSSI)*, 11(11), 83-96.
8. Kangah, A., & Alla, D. A. (2015). 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). *Geo-Eco-Trop*, 39(2). 297-308.
9. Kouadio, B.H., Oularé, S., Boka, K. C., Miessan, A. G., & Biemi, J. (2023). Cartographie des zones à risque d'inondation par débordement des cours d'eau dans la région semi-montagneuse de man : approche par télédétection et analyse multicritère. *International journal of advances research (IJAR)*, 11(08), 116-134. DOI: 10.21474/IJAR01/17369.
10. Kouassi, K.D., Kouadio, B. H., Alla, D. A., Saley, M. B., & Diaby, H. A. (2021). Apport de la géomatique et de l'analyse multicritère pour l'évaluation et la prévention du risque dans la commune d'Abobo (Abidjan, Cote d'Ivoire). *Revue canadienne de géographie tropicale*, 8(1), 31-37.

11. OCHA (2010). Bulletin d'information humanitaire régional pour l'Afrique de l'Ouest et du Centre. Période du 06 septembre au 05 novembre 2010. p. 5.
12. Renard, F., & Chapon, P.-M. (2010). Une méthode d'évaluation de la vulnérabilité urbaine appliquée à l'agglomération Lyonnaise. *Espace géographique* Paris Éditions Belin. 39(1), 35-50.
13. Saaty L. T., (1984). *Décider face à la complexité. Une approche multicritère d'aide à la décision*. Collection Université-Entreprise, Les Éditions ESF, 231 p.
14. Saaty L. T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resources Allocation*. McgrawHill, New York, 19 p.
15. Voogd, J. H. (1983). *Multi-criteria evaluation for urban and regional planning*, Pion Ltd., Londres, 370p.
16. 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*. Mémoire de maîtrise en environnement et master en Ingénierie et Management de l'Environnement et du Développement Durable. Université de Sherbrooke et Université de Technologie de Troyes. p. 78.