

## **Application de la géomatique et de l'analyse multicritère à la cartographie du risque d'inondation dans la ville d'Agboville**

*Kangah Armand*

*Coulibaly Kolotioloma Alama*

Institut de Géographie Tropicale (IGT)

Laboratoire d'Etude des Milieux Naturels Anthropisés (LAMINAT)

Université Félix Houphouët-Boigny Abidjan Côte d'Ivoire

[Doi: 10.19044/esipreprint.6.2024.p562](https://doi.org/10.19044/esipreprint.6.2024.p562)

---

Approved: 27 June 2024

Posted: 27 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Armand, K., & Alama, C. K. (2024). *Application de la géomatique et de l'analyse multicritère à la cartographie du risque d'inondation dans la ville d'Agboville*. ESI Preprints. <https://doi.org/10.19044/esipreprint.6.2024.p562>

---

### **Resume**

Depuis quelques années, les villes ivoiriennes dont Agboville, subissent chaque année 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 de la population. La présente étude se fixe comme objectif de cartographier les zones à risque d'inondation de la ville afin qu'elles soient intégrées dans les plans d'aménagement et servent également à la prise de décision. L'analyse multicritère de T. L. Saaty et le Système d'Information Géographique (SIG) ont été utilisés comme méthode de cartographie de ces zones à risque. Après identification des facteurs d'aléa inondation (pente, altitude, pluie, réseau de drainage) et de vulnérabilité (densité de population et occupation du sol), ceux-ci ont été cartographiés à partir des données topographiques (Alos Palsar), démographiques et d'occupation du sol. L'utilisation successive de l'analyse multicritères de T. L. Saaty et de la méthode combinatoire de J. H. Voogd ont conduit à la pondération des facteurs et à la détermination des fonctions d'aléa, de vulnérabilité et du risque. L'application de ces différentes fonctions dans un SIG a permis de produire les cartes des zones d'aléa, de vulnérabilité et du risque inondation de la ville d'Agboville. La

carte des zones à risque d'inondation, validé par confrontation avec des données du terrain révèle que 38 % de l'espace urbain est exposé à un risque d'inondation allant de moyen à très enlevé. L'insuffisance de réseaux de drainage des eaux pluviale est un facteur favorisant le risque d'inondation dans la ville. Plusieurs quartiers principalement ceux du centre-ville comportent des zones à risques d'inondation.

---

**Mots-clés :** Aléa, Vulnérabilité, Risque, Inondation, Analyse multicritère, SIG

---

## **Application of geomatics and multi-criteria analysis flood risk mapping in the city of Agboville**

*Kangah Armand*

*Coulibaly Kolotioloma Alama*

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, Ivorian cities, including Agboville, have been suffering devastating and deadly floods every year 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 objective of this study is to map the city's flood risk areas so that they can be integrated into development plans and also used for decision-making. T. L. Saaty's multi-criteria analysis and the Geographic Information System (GIS) were used as a method for mapping these risk areas. After identifying the factors of flood hazard (slope, altitude, rainfall, drainage network) and vulnerability (population density and land use), these were mapped from topographic (Alos Palsar), demographic, and land cover data. The successive use of T. L. Saaty and J. H. Voogd's combinatorial method led to the weighting of factors and the determination of hazard, vulnerability and risk functions. The application of these different functions in a GIS has made it possible to produce maps of the hazard, vulnerability and flood risk zones of the city of Agboville. The map of flood risk areas, validated by comparison with field data, reveals that 38% of the urban space is exposed to a medium to very high risk of flooding. The inadequacy of rainwater drainage networks is a factor contributing to the risk of flooding in the city. Several neighborhoods, mainly those in the city centre, have flood-risk areas.

---

**Keywords:** Hazard, Vulnerability, Risk, Flooding, Multi-criteria analysis, GIS

## Introduction

Les inondations constituent un des principaux risques naturels auxquels les sociétés actuelles sont confrontées (I. Calvo-Mendieta et J. 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 des fortes précipitations survenues en 2009 pendant la saison des pluies a induit des inondations qui ont affectées près de 600 000 personnes tandis que 159 autres auraient perdu leurs vies (OCHA, 2009, p. 2). De la région Dakaroise à Cotonou en passant par Niamey, certains quartiers sont inondés d'une année à l'autre et de manière croissante (L. Wallez, 2010, p.1). Selon plusieurs auteurs (M. Desbordes, 1994, p. 491, L. Wallez, 2010, p.1, Kouadio et al., 2015, p.81, A. Kangah, 2022, p. 46), ces inondations urbaines trouvent leur origine 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 désordonnée de l'espace urbain avec construction dans les secteurs inondables (A. Kangah, 2022, p. 46).

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

En effet, la ville d'Agboville est confrontée 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 a 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 drame 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 la population et leur bien.

Les inondations impliquant plusieurs facteurs, il est important de recourir comme le font savoir F. Renard et P.M. Chapon (2010, p 37) à des méthodes d'aides à la décision pour faciliter les choix nécessaires à l'évaluation. Au nombre de celles-ci, l'analyse multicritère développé par T. L. Saaty (1980). Elle a été utilisée par plusieurs auteurs (D. K. Kouassi, 2021, p. 32 ; H. Kouadio *et al.*, 2023, p. 119) car présentant l'avantage d'être simple d'utilisation et permet de vérifier la cohérence des jugements (F. Renard et P.M. Chapon, 2010, p 38). Le Système d'Information Géographique (SIG) également, selon O. Dembele et I. Ouattara (2019, p. 258), demeure un outil essentiel d'évaluation du risque et joue 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, à partir de l'analyse multicritères et du SIG, de spatialiser les zones à 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 des zones à risque d'inondation en vue de faciliter les prises de décision.

De façon spécifiques, il s'agira dans un premier temps de déterminer les facteurs intervenant dans le processus (aléa et vulnérabilité) ; dans un second moment, de cartographier ces facteurs ; enfin, confronter les différentes cartes pour produire la carte des zones à risques d'inondation de la ville d'Agboville.

## **1. Cadre 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 km<sup>2</sup> 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.

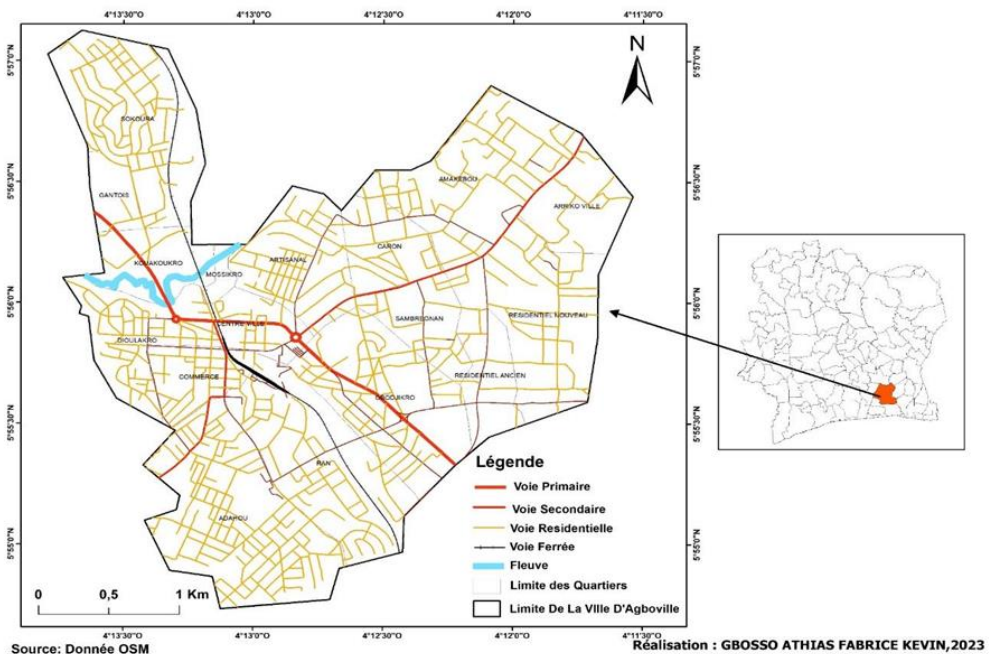
La ville est bâtie sur un plateau. L'Agneby, principal cours d'eau, traverse la ville dans sa moitié sud en le scindant en deux blocs. Pendant que le bloc situé au sud du fleuve présente une structure plus ou moins massif avec peu de vallée, celui situé au nord se trouve fortement disséqué par la présence 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'élargie 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 rencontrent les 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. La petite saison sèche d'août à septembre, la petite saison des pluies d'octobre à novembre et une 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.

Au plan hydrographique, la ville est traversée dans sa partie nord par le cours d'eau Agneby.

S'agissant de la démographie, la ville compte au dernier recensement de la population (RGPH 2021), 135 082 habitants répartie 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 utilisée dans la réalisation 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 de précipitations mensuelles de 1961 à 2020 du poste pluviométrique d'Agboville, mesurées par la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM). Ces données ont permis de mettre en évidence les mois les plus pluvieux susceptibles de provoquer des inondations dans la ville.
- une image satellitaire Maxar de résolution 1 m 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 de l'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 Traitement des données

Le risque dont il est question dans la présente étude est celui d'une inondation par ruissèlement d'eau pluviale. Ce type d'inondation est causé par la conjugaison de plusieurs facteurs (aléa et vulnérabilité). Les traitements visent d'une part, à cartographier les facteurs d'aléas et de vulnérabilités impliqués dans le processus et d'autres part, à confronter les différentes cartes (aléas et de vulnérabilités) pour produire la carte des zones à risque d'inondation par ruissèlement d'eau pluviales de la ville d'Agboville.

Se référant à la littérature, (K.D. Kouassi et *al.*, 2021, p. 32 ; H. B. Kouadio et *al.*, 2023, p. 118), et des connaissances du terrain (zone d'étude), quatre (4) facteurs d'aléas 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 retenue pour être cartographier.

## 2.2.1 Cartographie des facteurs d'aléa inondation

### ***Carte d'intensité de précipitation***

Il s'agissait de produire une carte des isohyètes de la ville d'Agboville. Les données à notre disposition, provenant d'un seul point de collecte ne permettent pas d'établir ce type de carte. Aussi, la ville n'étant pas trop vaste, il a été admis que tous les points de la ville reçoivent la même intensité de pluie. Une analyse des quantités de pluie 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 du MNT à l'aide du logiciel ArcMap pour constituer une carte. Quatre (4) classes de pentes (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 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 en hauteurs (surfaces de ruissèlement) et celles situées 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'altitudes.

### ***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 est converti en fichier vecteur pour obtenir la carte du réseau hydrographique. Ensuite, la carte du réseau hydrographique en mode vecteur a 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

### *Carte du mode d'occupation du sol*

Elle a été obtenue par interprétation visuelle de l'image satellite Maxar de la ville d'Agboville sur la plateforme cartographique 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, les 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*

Il s'est agi de faire ressortir les différents niveaux de concentrations spatiales de la population au sein de la ville. La carte de densité de population a été conçue en attribuant à chaque unité spatiale qui est le quartier, le volume de population respectif. Elle comporte une légende avec quatre niveau de densité (Faible, Moyen, élevé, Très élevé).

## 2.2.3 Pondération des facteurs

Après la conception des différentes cartes, il s'est agi de déterminer le poids de chaque facteur. L'analyse multicritère AHP (Analytic Hierarchy Process) développée par T. L. Saaty (1980) a été choisie. Utilisée par plusieurs auteurs (Kouassi K. D et al., 2021, p 32 ; Kouadio B. H et al., 2023, p 120), elle a été procédée comme suit :

### *Comparaison et pondération des facteurs*

Il s'est agi d'abord de construire une matrice de comparaison en déterminant l'importance relative d'un facteur par rapport à un autre par attribution d'une valeur sur une échelle allant de 1 à 9. Ensuite le poids de chaque facteur a été calculé à partir des valeurs attribuées. Les tableaux 1 et 2 montrent respectivement les matrices de comparaison par paires et de pondération des facteurs d'aléa et de vulnérabilité.

**Tableau 1 :** matrice de comparaison par paire et coefficient de pondération des facteurs d'aléa

	Altitude	Pente	Densité drainage	Cp (Poids)
Altitude	1	3	5	<b>0,63</b>
Pente	1/3	1	3	<b>0,26</b>
Densité de drainage	1/5	1/3	1	<b>0,11</b>
$\Sigma$	<b>1,53</b>	<b>4,33</b>	<b>9</b>	



**Tableau 2** : matrice de comparaison par paire de coefficient de pondération des facteurs de vulnérabilité

	Densité Bâties	Densité population	Cp (Poids)
Densité Bâties	1	1/7	<b>0,12</b>
Densité population	7	1	<b>0,88</b>
$\Sigma$	<b>8</b>	<b>1,14</b>	

### ***Détermination de la cohérence des jugements***

Cette étape a consisté à vérifier le degré de cohérence en déterminant le Ratio de Cohérence (Rc) qui doit être inférieur à 1. Un ratio supérieur à 1 indique un niveau trop élevé d'incohérence. Les étapes sont : 1) déterminer les vecteurs prioritaires en multiplie 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 ( $\lambda_{max}$ ). 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

$I_a$  = index de cohérence,  $n$  = nombre de critères comparés.  $I_A=0$  pour  $n$  inférieur à 3.

Lorsque  $R_c < 10\%$ , 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,  $n = 3$ ,  $I_a = 0,58$  ;  $\lambda_{max} = 3,04$  ;  $I_c = 0,2$  ;  $R_c = 0,033$ , soit 3,3 %.

2) concernant les facteurs de vulnérabilité,  $n=2$ , donc  $I_a = 0$  ; ce qui donne  $R_c=0$

Le  $R_c$  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 fonction d'aléa et de vulnérabilité***

Après vérification de la cohérence, s'en est suivi la détermination des fonctions d'aléa et de vulnérabilité. Ces fonctions ont été nécessaire pour la spatialisation des zones d'aléa inondation et de la vulnérabilité. La méthode combinatoire de J. H. Voogd (1983, p.173) exprimée par l'équation ci-dessous a été utiliser.

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

Avec :

$I$  = l'indice lié à l'indicateur,  $W_j$  = le poids du paramètre  $j$ ,  $w_{ij}$  : le poids de la classe  $i$  dans le paramètre  $j$  et  $n$  = le nombre de paramètres.

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

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

*Vulnérabilité* =  $0,12 * \text{Densité du bâtis (Db)} + 0,88 * \text{Densité de population (Dp)}$

#### 2.2.4 Spatialisation des zones à risque d'inondation

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

#### ***Cartes d'aléa inondation et de vulnérabilité***

Il s'est agi de traduire sous forme de carte, les fonctions d'aléa et de vulnérabilité. Ces différentes fonctions ont été exécutées dans le logiciel ArGis avec les couches (cartes) et coefficients (poids) respectives qui leur sont associés. Deux cartes ont été obtenu. 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 risques d'inondation***

Le risque étant la conjugaison de l'aléa et de la vulnérabilité, la spatialisation des zones à risque a été précédé de la définition de la fonction du risque qui s'est faite à partir de la méthode combinatoire de J. H. Voogd (1983, p173). Elle se traduit comme suit :

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

Cette fonction a été exécuté dans le logiciel ArGis avec les couches (cartes) et coefficients (poids) respectives qui leur sont associés. La carte obtenue issue de cette fonction présente cinq (5) niveau 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 intégré à l'étude. Le quatrième (intensité pluviométrique) pour cause d'insuffisance de donnée et d'uniformité été simplement analysé.

### ***Carte des pentes***

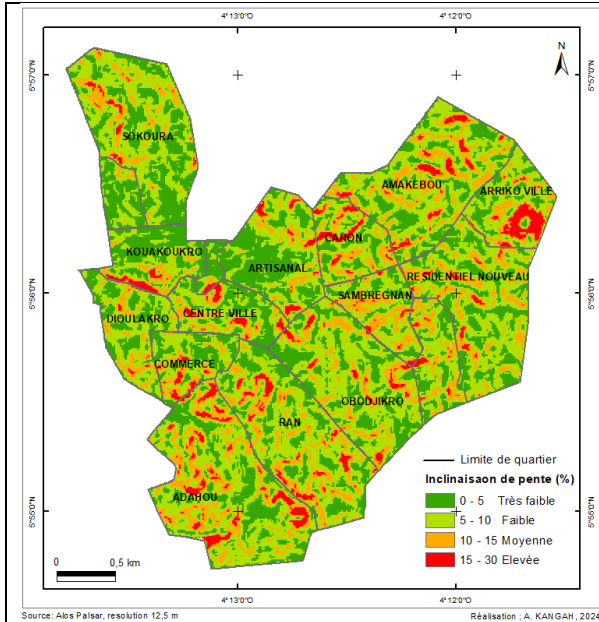
La carte des pentes présente quatre classes d'inclinaison qui se situent entre 0 et 30 %. Les inclinaisons de pentes très faible et faible (0 - 8 %) participent fortement à l'accumulation des eaux. Elles occupent sur 77 % des terres de la ville et se rencontre soit, sur les sommets des interfluves, soit dans les basfonds. Par contre les pentes moyenne et élevées (plus de 8 %) favorisent le ruissellement des eaux pluviales. Elles se rencontre sur les versant des vallées et occupent 23 % de l'espace urbain.

### ***Carte d'altitudes***

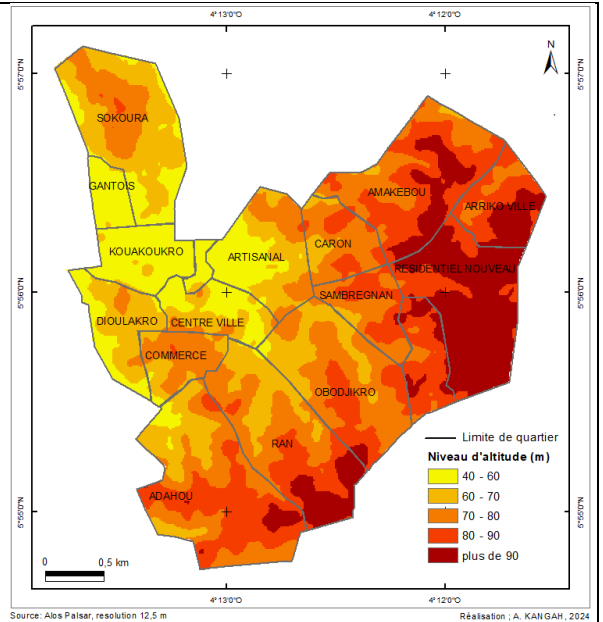
Elle fait ressortir cinq niveau d'altitudes allant de très faible (49 m) à très élevé (116 m). Les altitudes élevées et très élevé constituent des surfaces de ruissèlement. Elles concernent sur 37 % de l'espace urbain et sont situées à l'extrémité nord de la ville. Les altitudes moyenne concernent 28 % 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 est susceptible de créer des inondations. Ces zones concernent 35 % de l'espace urbain.

### ***Carte de densité de drainage***

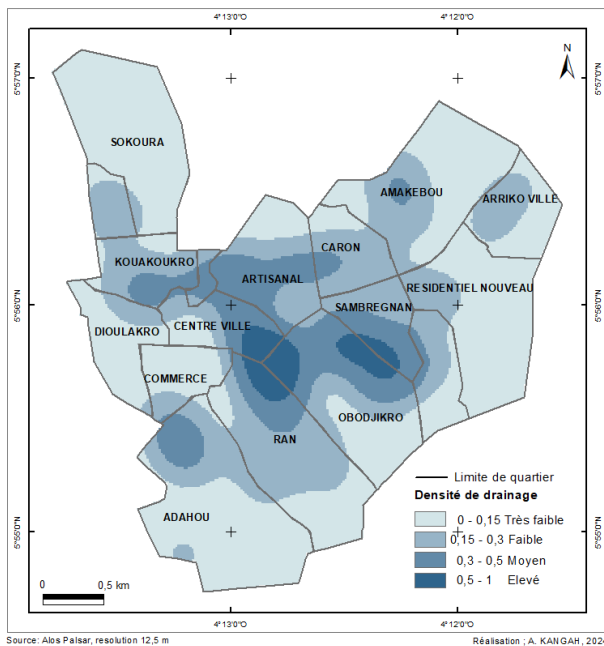
La carte présente quatre niveaux de densité de drainage. Les espaces de très faible et faible densité de drainages correspondent à des surfaces ruissèlement situé généralement sur les interfluves. Elles concernent 83 % de l'espace urbain. Les zones de densité moyenne et élevé sont situé autour, dans les vallées et surtout dans les zones de confluence des vallées. La densité du drainage dans ces expose les expose à des inondations. Elles représentent 17 % de l'espace urbain.



Inclinaison des pentes



Niveau d'altitudes



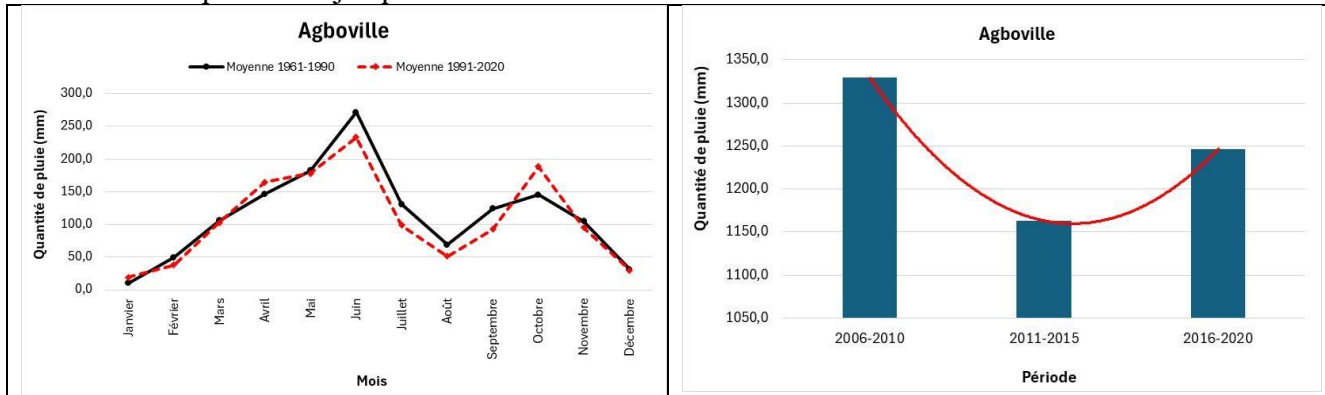
Densité de drainage

Planche 1 : cartes des facteurs d'aléa

### *Intensité pluviométrique*

Disposant des données provenant d'un seul site de relevé pluviométrique, 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 suivante montre la variation des quantités de pluie à Agboville depuis 1961 jusqu'en 2020.



**Planche 2 :** Régime pluviométrique (à gauche) et quantité de pluie annuelle quinquennale (à droite) à Agboville

Le régime pluviométrique d'Agboville indique qu'il y a deux saisons de pluie. La première et grande saison est centrée sur mai-juin-juillet avec le pic de pluie d'environ 200 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 moyenne annuelle 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 Analyses des cartes des facteurs de vulnérabilités

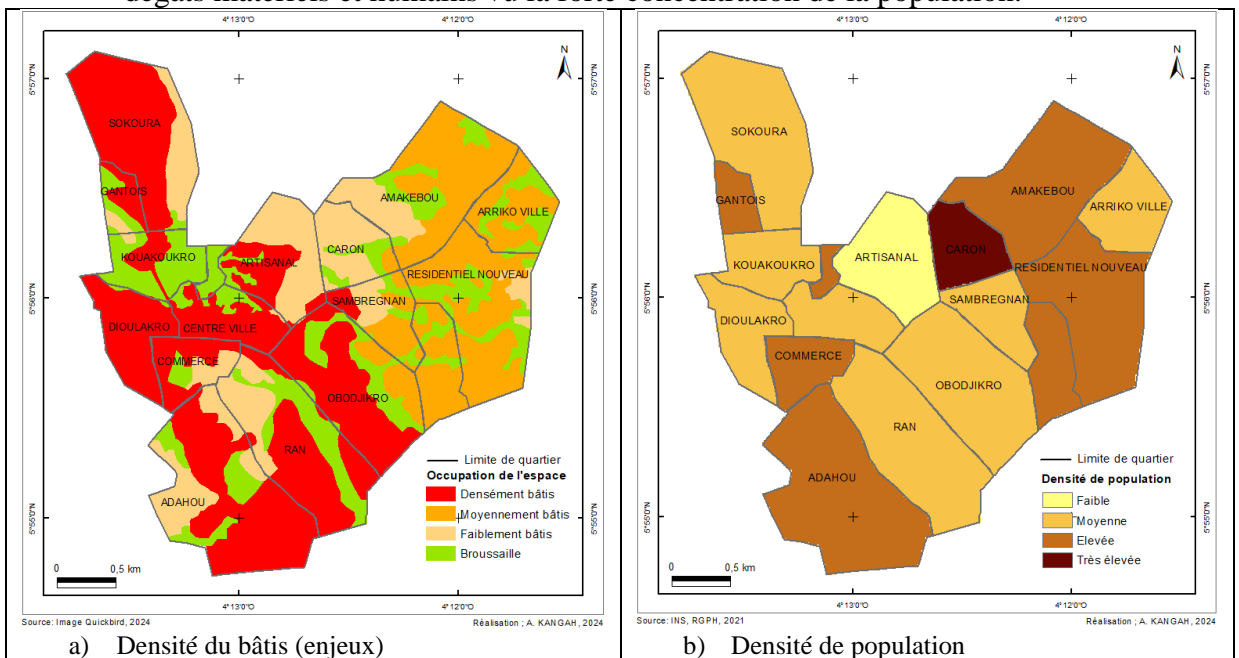
Deux facteurs de vulnérabilité (densité du bâti et celui de la population) ont été pris en compte puis cartographiés.

**Carte de densité de bâtis**

Cette carte présente la densité de l’occupation de l’espace urbain en terme de superficie bâtie et non bâtis. Quatre niveaux (non bâtie à densément bâtie) ont été identifié. 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 matériel et humain. Les surfaces moyennement bâties représentent 26 % de l’espace urbain, contrairement aux surfaces densément bâties, les main maison 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. Une inondation de ces espaces qui sont généralement des fonds de vallées et des basfonds ne causerait aucun dégât matériel et humain.

**Carte de densité de population**

La carte présente quatre niveau 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 l’étendue spatiale 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 matériels et humains vu la forte concentration de la population.



**Planche 2 : 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 issu de la confrontation des cartes des facteurs d'aléa (pente, altitude et densité de drainage). Elle met en évidence les niveaux de susceptibilités 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 3).

#### Les zones de très faible et de faible aléa

Elles correspondent au sommet des interfluves et de 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. Elles se localisent dans le Sud de la ville, précisément dans les quartiers RAN et Adahou et dans le Nord-est, dans les quartiers Résidentiel nouveau, Arriko ville et Amakebou.

#### 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 situés au contre bas des versants des interfluves. Ces zones recevant directement les eaux de ruissellement en provenances 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 inonder les inonder à moins qu'elle rencontre des obstacles. Ces zones se rentrent dans les quartier 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 large et plat. 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'eaux de ruissellement qui transite dans ces zones et qui est susceptible de les envahir. Elles s'étendent sur 33 % de l'espace urbain et sont localisées dans leur majorités dans le centre-ville plus précisément dans les quartiers Artisanal, Kouakoukro, Centre-ville, Mossikro et Gantois.

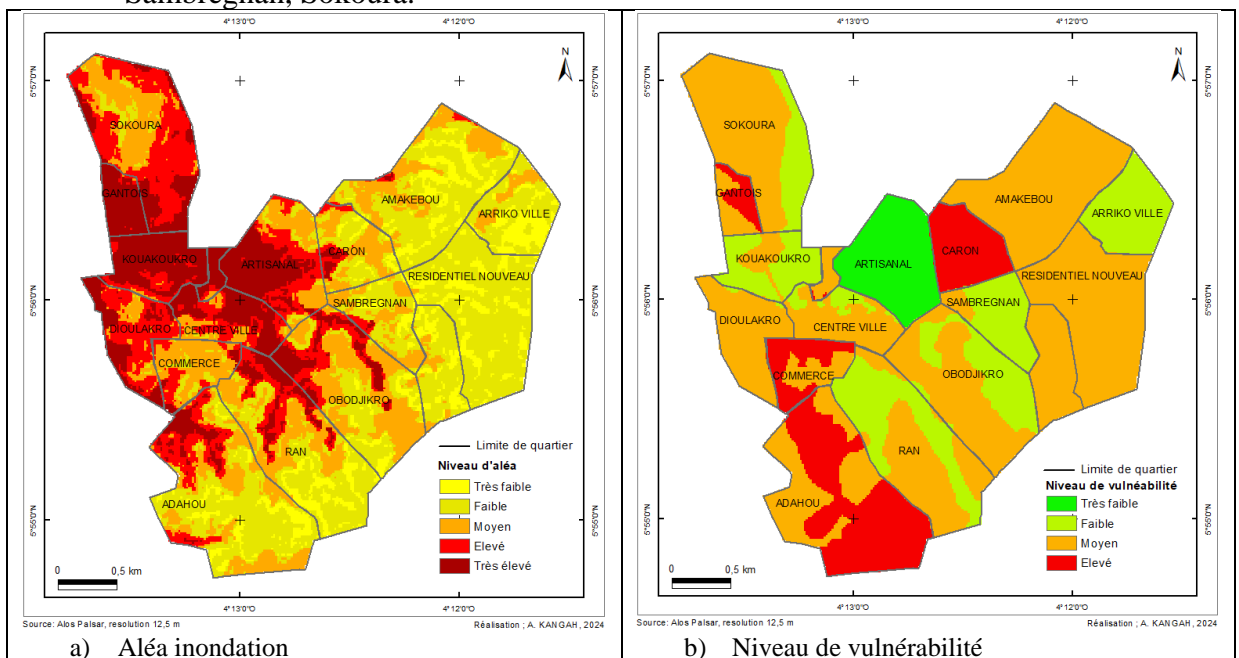


### ***Carte de vulnérabilité***

La carte de vulnérabilité est issue de la confrontation des cartes des facteurs de vulnérabilité (densité de population et densité du bâti). Elle présente une répartition spatiale de la vulnérabilité à quatre niveau (planche 3).

#### Zones de très faible et faible vulnérabilité

Dans ces zones, les effets d'une inondation seraient négligeables à cause de la faible présence de l'homme, des infrastructures et des 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. Elles se rencontrent dans les quartiers d'Aprikro, Artisanal, Ran, Sambregnan, Sokoura.



**Planche 3 : 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, 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, infrastructures, des activités et des personnes.

#### 3.2.2 Carte du risque d'inondations

Cette carte résulte de la confrontation des cartes des facteurs d'aléa inondation et celles de vulnérabilité. Elle révèle que le risque d'inondation dans la ville d'Agboville est effective. 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 3).

### Zone à 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 de très faible à 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, par contre d'autres quartiers comme Ran, Obodjikro, Sambregnan et résidentiel nouveau le sont partiellement.

### Zone à risque moyen

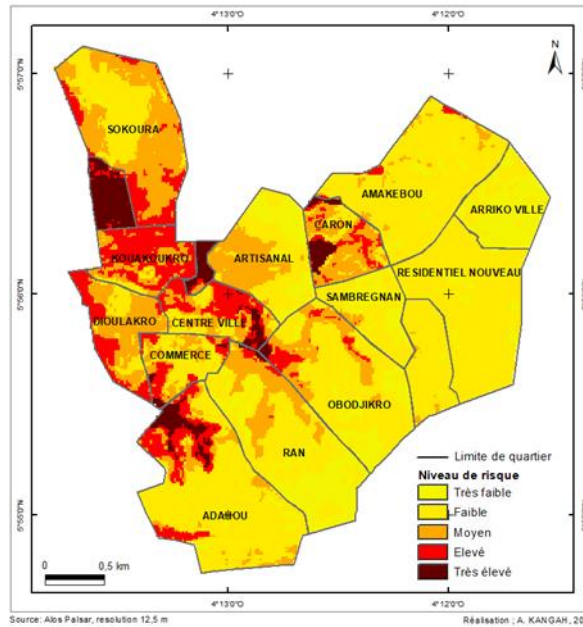
Elles couvrent 20 % de l'étendue spatiale de la ville et correspondent aux axes de concentration de niveau 1. Elles reçoivent des eaux de ruissellement en provenance des interfluves et des versants de vallées. Sont concernés, des constructions individuelles entièrement bâties où dont le prolongement se retrouve dans les axes de concentration des eaux de ruissellement (vallées). Sont concernés 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 élevée

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 axes de concentration de eaux de ruissellement de niveau 2 (vallées) qui ont partiellement été investis par l'habitat. Elles occupent partiellement les quartiers Adahou, Obodjikro, Centre-ville, Kouakoukro, Sokoura.

### Zone à risque très élevée

Les zones à risque d'inondation très élevée 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 confluences des vallées et des terrasses alluviales. Ces zones ont été investies avec des constructions individuelles, des infrastructures et équipements. Elles se rencontrent dans le nord du quartier Adahou, Centre-ville, Kouakoukro, Gantois, Garon et Mossikro.



**Figure 3 :** distribution du risque inondation dans le ville d'Agboville

## 4. Discussion

S'inscrivant dans une démarche de prévention du risque d'inondation, la présente étude avait pour but de mettre à disposition des gestionnaires et décideurs de la ville d'Agboville, la carte des zones à risque d'inondation afin qu'elle soit intégrée dans les plans d'aménagement de la ville et qu'elle aide à la prise de décision.

Les données topographiques « ALOS PALSAR », de population et de l'occupation du sol ont été très utile dans la spatialisation des zones à risque d'inondation dans la ville d'Agboville. Elles ont permis, après identification des facteurs d'aléa inondation et de vulnérabilité, d'établir une cartographie des différents facteurs. Après application de l'analyse multicritères de Saaty aux différents facteurs, les cartes d'aléa inondation et de vulnérabilité ont été combinées entre elle dans un SIG pour produire la carte des zones à 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

plusieurs auteurs (K.D. Kouassi et al., 2021, p.32 ; H. B. Kouadio et al., 2023, p. 119) respectivement pour l'évaluation et la prévention du risque dans la commune d'Abobo et pour la cartographie des zones à risque d'inondation par débordement des cours d'eau dans la région semi-montagnaise de Man. A. E. Eba et al. (2021, p. 289) ont également utilisé cette approche méthodologique pour l'évaluation de la vulnérabilité à l'inondation dans la commune de Bingerville. Tous s'accordent pour dire que l'utilisation de l'analyse multicritères de Saaty combiné au SIG produit des résultats satisfaisants et permet une bonne compréhension du phénomène étudié. Cependant l'analyse multicritères présente des difficultés dans la pondération des facteurs et des côtes qui leur sont attribuées. A ce sujet, H. B. Kouadio et al., (2023, p.130), révèlent qu'elle a l'inconvénient de créer beaucoup de subjectivités lors de la pondération des facteurs. L'attribution des poids est fonction de la sensibilité de l'expert et de sa connaissance du phénomène. Cette étape de pondération très subjective peut conduire parfois à surestimer ou sous-estimer un facteur par rapport à un autre lorsque l'on n'a pas une bonne connaissance des facteurs ou du phénomène étudié. Cette subjectivité constitue un facteur limitant dans l'application de l'analyse multicritère (A. E. Eba et al., 2021, p. 295).

Bien que présentant certaines difficultés l'analyse multicritères couplé au SIG présente l'avantage d'exploiter en synergie des données multi sources et de parvenir à la résolution des problèmes variées et complexes.

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 K. D. Kouassi et *al.*, (2021, p.32) pour l'évaluation et la prévention du risque dans la commune d'Abobo et A. E. 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 car le relief de la zone d'étude l'impose. Les observations de terrain montrent que les eaux de pluie s'accumulent davantage dans les basses altitudes pendant qu'elles ruissellent beaucoup plus dans les hautes où il n'existe pas des dépressions fermées (cuvette). La prise en compte de ce facteur a largement rehaussé la précision de la carte des zones d'aléa inondation. En effet, pour la validation des cartes d'aléa inondation, de vulnérabilité et du risque d'inondation, des coordonnées prélevées sur les différentes cartes puis rentrées dans un gps ont été confrontées à la réalité du terrain. Il s'est avéré une bonne concordance entre les informations recueillies sur les cartes et la réalité terrain, notamment avec le réseau naturel de drainage (vallées) des eaux de pluie. Cette méthode de validation a également été utilisée par de K. D. Kouassi et *al.*, (2021, p.34) pour la validation de la carte d'aléa inondation dans la commune d'Abobo en comparant cette dernière avec les éléments naturels.

Au niveau des résultats, les cartes des zones à risque de la ville montrent que 38 % de l'étendue spatiale de la ville d'Agboville constituent des zones à risque d'inondation allant de moyen à très élevé. Les zones à risques élevé et très élevé constituent 18 % alors que les zones à risque moyen occupent 20 % du territoire urbain.

Ces zones à risque ont la particularité non seulement d'avoir une pente très faible mais occupent également les zones les plus basses de la ville. Elles servent généralement d'axes de concentration et d'écoulement des eaux de ruissèlement collectées sur les auteurs de la ville. Les susceptibilités à l'inondation (aléa) dans ces zones sont très élevées surtout aux points de confluence de plusieurs axes de drainages. Malheureusement, ces zones ont été investies par des habitations. Les zones à haut risque se retrouvent dans la partie centrale de la ville, au niveau des quartiers Centre-ville, Commerce et Dioulakro. Au sud-ouest dans les quartiers Adahou ; au Nord-ouest dans le quartier Caron ; au Nord, au niveau des quartiers Kouakoukro, Sokoura, et Gantois.

Le SIG comme le disent les auteurs O. Dembele et I. Ouattara (2019, p. 258), demeure un outil essentiel d'évaluation du risque. Il constitue avec l'analyse multicritères de Saaty de véritables moyens d'évaluation du risque et la prise de décisions.

## **Conclusion**

L'utilisation du SIG a conduit d'abord à la cartographie des facteurs d'aléa et de vulnérabilité dans la ville d'Agboville après leur identification. Ensuite, l'analyse multicritère de Saaty a facilité la hiérarchisation, la pondération de ces facteurs et l'attribution des cotes de sensibilité aux différentes classes. Les fonctions d'aléa, de vulnérabilité et du risque ont également été déterminées par la méthode combinatoire de Voogd. Enfin, l'application de ces fonctions dans un SIG ont conduit à la production des cartes d'aléa inondation, de vulnérabilité et des zones à risque d'inondation dans la ville d'Agboville.

Les résultats cartographiques obtenus révèlent plusieurs niveaux de risque dans la ville d'Agboville. Les zones à risque faible couvrent 62 % du territoire urbain pendant que les zones de risque moyen à très élevé s'étendent respectivement sur 20 % ; 12 % et 6 %.

Les quartiers situés dans la centre-ville sont les plus menacés par le risque d'inondation car ils comportent plusieurs zones à risque élevé et ou très élevé. L'insuffisance du réseau d'assainissement dans ces zones favorise le risque d'inondation.

Pour éviter les drames comme c'est le cas chaque année pendant les saisons pluvieuses, les personnes situés dans ces zones à risque doivent être

évacués vers des zones plus sécurisées. Aussi, le réseau d'assainissement doit être renforcé et surveillé pour éviter qu'il soit obstrué.

**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. EBA Anowa Evrade Larissa, AKE Gabriel Etienne, GOUADOU D'Avila Françoise, JOURDA Jean patrice, 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). In European Scientific Journal, ESJ, Vol. 17 n°14 Pp 277 – 299.
2. Desbordes Michel. 1994 - Principales causes d'aggravation du risque d'inondation par ruissellement pluvial en milieu urbanisé. In: Crues et inondations. 23èmes journées de l'hydraulique. Congrès de la Société Hydrotechnique de France. Nimes (France). Tome 2, Pp. 487-492
3. Kangah Armand, 2022. Croissance Urbaine Et Risques D'inondation : Cas de la ville de Bouaké. In International Journal of Humanities and Social Science Invention (IJHSSI). Vol. 11, n°11. Pp 83-96
4. Kangah Armand et DELLA Alla André, 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). In Geo-Eco-Trop, Vol. 39 n°2. Pp 297-308
5. Iratxe Calvo-Mendieta et Jérôme Longuépée, 2010, Risque d'inondation et développement durable, in développement durable et territoire. Presses universitaires du Septentrion, Villeneuve d'Ascq. Pp 315-326. DOI : 10.4000/books.septentrion.15373
6. Kouassi Kan Désiré, Kouadio Boyossoro Helene, Délla André Alla, Saley Mahaman Bachir, Diaby Hamed Aly, 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, pp 31-37
7. Kouadio Boyossoro Hélène, Oularé Sékouba, Boka Kouakou Charles, Miessan Adja Germain, et Biemi Jean, 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, In International journal of advances research (IJAR) Pp 116 - 134
8. Renard Florent et Chapon Pierre-Marie, 2010 une méthode d'évaluation de la vulnérabilité urbaine appliquée à l'agglomération Lyonnaise. In Espace géographique Paris Éditions Belin vol. 39, n°. 1, p. 35-50
  9. Saaty L. Thomas, 1980, The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resources Allocation. McgrawHill, New York, 19 p
  10. OCHA, 2010 Bulletin d'information humanitaire régional pour l'Afrique de l'Ouest et du Centre, p. 5
  11. Oumar Dembele et Issa Ouattara, 2019, Contribution du SIG à la Prévention et à la Gestion des Risques d'inondation dans le District de Bamako au Mali, in European Scientific Journal edition Vol.15, No.30. pp 256-277. Doi:10.19044/esj.2019.v15n30p256 URL:<http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n30p256>
  12. Voogd, J. Henk, 1983, Multi-criteria evaluation for urban and regional planning, Pion Ltd., Londres, 370p.
  13. Wallez Lucile, 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