

## Analyse de la vulnérabilité des populations de la commune de Grand-Popo face aux risques d'inondation

Bignon Benoit Max ASSOGBA<sup>1\*</sup>, Inoussa TOKO MOUHAMADOU<sup>2</sup>, Soufiyanou KARIMOU<sup>1</sup>, Yvon Lionel Nicaises AMOUSSOU<sup>3</sup> et Ismaïla TOKO IMOROU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université d'Abomey-Calavi- UAC, Ecole Doctorale pluridisciplinaire Espace Culture et Développement (EDP-ECD), Laboratoire de Cartographie, de Télédétection et des SIG, BP 1338, Calavi, Bénin

<sup>2</sup>Institut Régional Africain des Sciences et Technologies de l'Information Géospatiale (AFRIGIST), PMB 5545, Ilé-Ifé, Nigéria

<sup>3</sup>Université Laval, Département de Géographie, 2405, rue de la Terrasse, J1V 0A6 Québec, Canada

(Reçu le 28 Octobre 2025 ; Accepté le 02 Janvier 2026)

---

\* Correspondance, courriel : [max19.assogba@outlook.com](mailto:max19.assogba@outlook.com)

### Résumé

Cette étude analyse la vulnérabilité des populations de la commune de Grand-Popo face aux risques d'inondation à partir d'une approche intégrée fondée sur les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et l'analyse multicritère. La méthodologie repose sur l'exploitation de données climatologiques (1991-2020), d'images satellites Landsat 8 et Sentinel-2B, d'un modèle numérique de terrain (SRTM), ainsi que de données pédologiques et topographiques. Le traitement et l'analyse spatiale des données ont été réalisés à l'aide des logiciels QGIS et ENVI, permettant l'élaboration de cartes d'aléa, de vulnérabilité et de risque d'inondation. Les résultats montrent qu'environ 40 % du territoire communal est soumis à un aléa élevé, notamment dans les localités de Sazué, Djanganmey, Adjaha et Gbehoué. Par ailleurs, près de 30 % de la superficie présente une forte vulnérabilité liée à la densité des infrastructures et aux modes d'occupation du sol, tandis que 35 % du territoire est classé en zone de risque élevé d'inondation. Les zones littorales sableuses, bien que relativement moins exposées aux crues fluviales, demeurent particulièrement sensibles à l'érosion côtière et aux submersions marines. Cette étude met en évidence la nécessité d'une gestion intégrée et spatialisée des risques d'inondation, articulant planification territoriale, aménagements adaptés, préservation des écosystèmes et renforcement de la résilience des communautés locales.

**Mots-clés :** *inondation, vulnérabilité, aléa, risque, Grand-Popo.*

### Abstract

**Vulnerability analysis of populations in the municipality of Grand-Popo face to flood risks**

This study analyzes the vulnerability of populations in the municipality of Grand-Popo to flood risks using an integrated approach based on Geographic Information Systems (GIS) and multi-criteria analysis. The methodology relies on climatological data (1991-2020), Landsat 8 and Sentinel-2B satellite imagery, a digital elevation model (SRTM), as well as pedological and topographic data. Data processing and spatial analyses

were conducted using QGIS and ENVI software, enabling the production of flood hazard, vulnerability, and risk maps. The results indicate that approximately 40 % of the municipal territory is exposed to high flood hazard levels, particularly in the localities of Sazué, Djanganmey, Adjaha, and Gbèhoué. In addition, nearly 30 % of the area exhibits high vulnerability due to infrastructure density and land-use patterns, while about 35 % of the territory is classified as high flood risk. Although relatively less exposed to fluvial flooding, the sandy coastal zones remain highly sensitive to coastal erosion and marine submersion processes. This study highlights the importance of integrated and spatially explicit flood risk management, combining territorial planning, adapted infrastructure development, ecosystem conservation, and the strengthening of community resilience in coastal environments.

**Keywords :** *flood, vulnerability, hazard, risk, Grand-Popo.*

## 1. Introduction

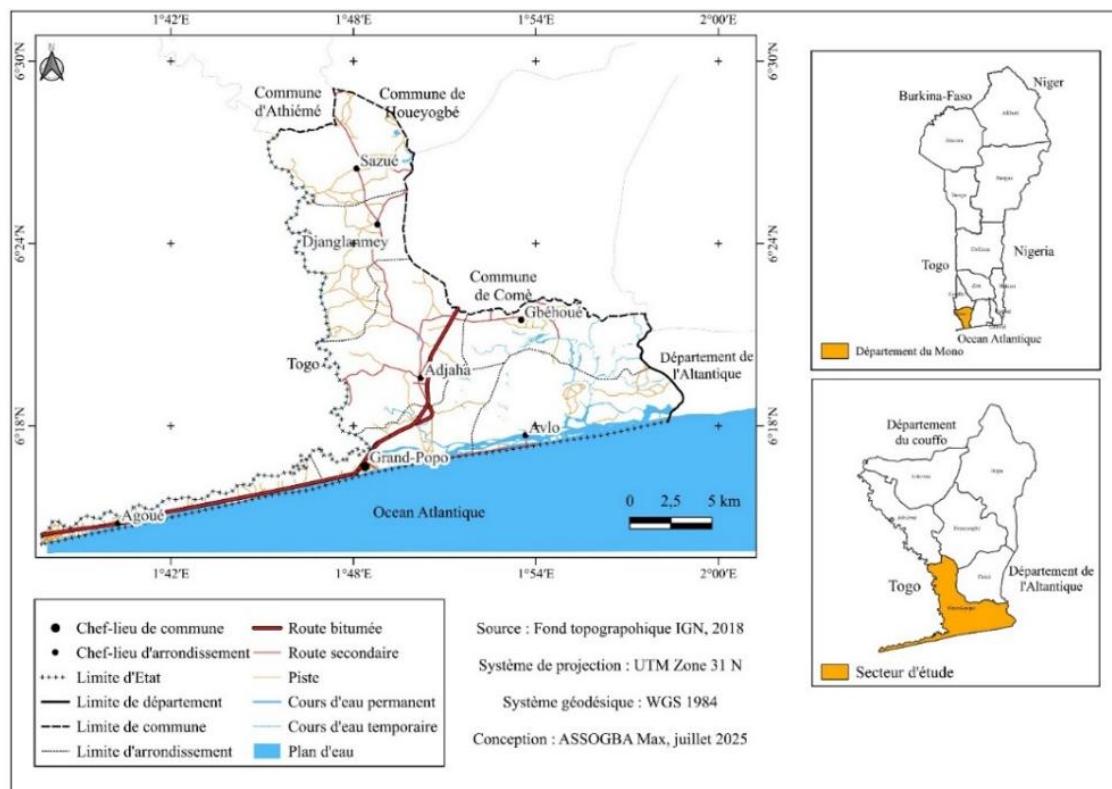
Les inondations figurent parmi les catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus destructrices au monde, affectant des milliards de personnes et provoquant d'importantes pertes économiques, sociales et environnementales [1 - 4]. Leur fréquence et leur intensité s'accroissent sous l'effet du changement climatique, avec des impacts différenciés selon les contextes socio-économiques et environnementaux [2]. Entre 1995 et 2020, près de 2,3 milliards de personnes ont été touchées, ce qui souligne l'urgence de mieux comprendre les mécanismes de vulnérabilité face à ces phénomènes [3, 4]. En Afrique, les inondations constituent un défi majeur pour le développement durable. Elles entraînent la destruction d'infrastructures, des pertes agricoles considérables, le déplacement de populations et une dégradation des conditions de santé publique [5, 6]. La vulnérabilité des communautés résulte de facteurs multiples, notamment l'urbanisation rapide, l'occupation non planifiée des zones inondables, la pauvreté structurelle et la faiblesse des politiques de gestion des risques [7 - 9]. La perception sociale du risque et le niveau de préparation des populations influencent également leur capacité à s'adapter et à réduire les impacts [10]. Au Bénin, les crues majeures de 2010 et 2022 ont touché plusieurs centaines de milliers de personnes, provoquant des pertes humaines et économiques, la destruction d'infrastructures essentielles et une dégradation durable des moyens de subsistance [12, 13]. La vulnérabilité des populations est accentuée par la croissance démographique rapide, la déforestation, la faiblesse de la gouvernance de l'eau et la fragilité des infrastructures [14]. La dépendance aux activités agricoles et halieutiques, fortement sensibles aux aléas hydrologiques, renforce encore l'exposition des communautés [15]. La commune de Grand-Popo, à l'extrême sud-ouest du Bénin, illustre parfaitement ces dynamiques de vulnérabilité. Exposée aux crues fluviales du fleuve Mono, aux submersions marines et à l'érosion côtière, elle combine plusieurs risques naturels avec des fragilités socio-économiques importantes [16]. La population, en croissance constante, développe des stratégies d'adaptation diverses relèvement temporaire des habitations, recours à des abris provisoires, diversification des activités économiques qui restent toutefois insuffisantes face à la récurrence et à l'intensification des inondations [17]. Dans ce contexte, cette étude vise à identifier les facteurs physiques et socio-économiques structurant la vulnérabilité des populations de Grand-Popo et à analyser leur influence sur les capacités locales de résilience. L'objectif est de fournir des recommandations pour une gestion durable et intégrée du risque d'inondation dans cette commune littorale.

## 2. Matériel et méthodes

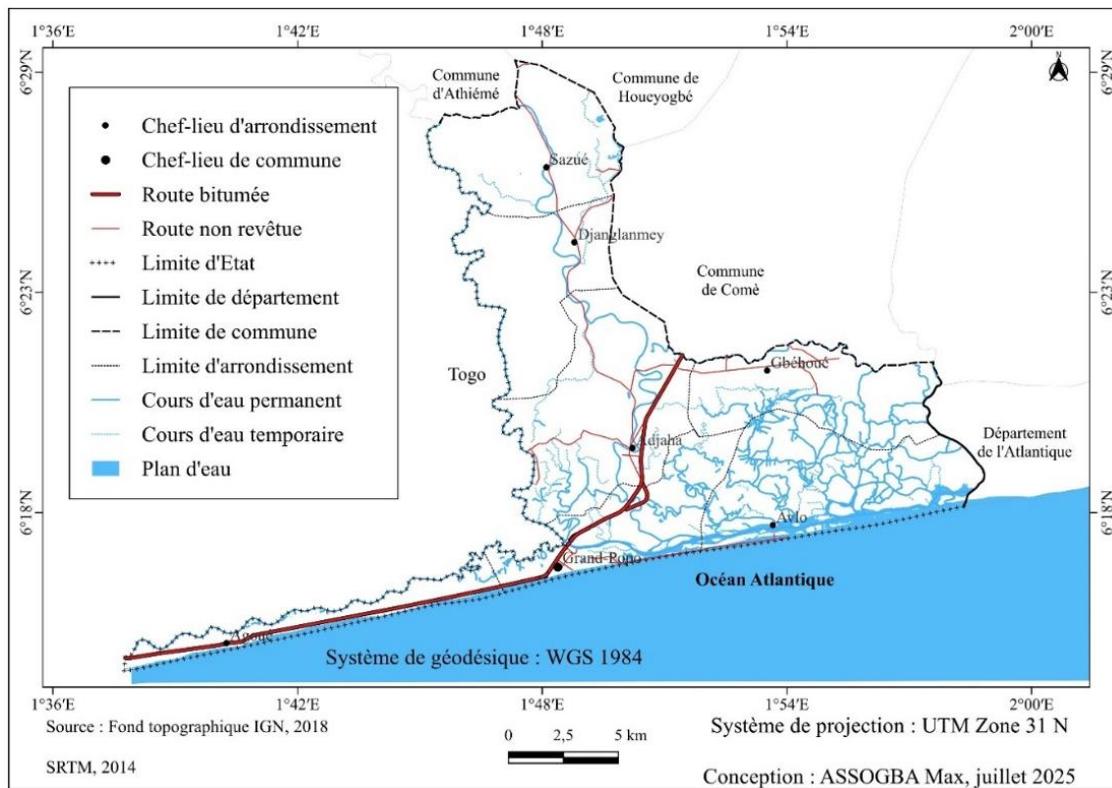
### 2-1. Zone de l'étude

La carte de localisation (*Figure 1*) met en évidence la position stratégique de la commune de Grand-Popo, située dans le sud-ouest du Bénin, le long du littoral Atlantique et à proximité immédiate de la frontière avec le Togo. Cette position confère à la commune un rôle économique et social majeur, en particulier à travers ses activités agricoles, halieutiques et commerciales, tout en l'exposant simultanément à des risques naturels multiples, tels que les inondations fluviales et les submersions marines. La commune s'étend approximativement entre  $6^{\circ}04'$  et  $6^{\circ}28'$  de latitude nord et  $1^{\circ}40'$  et  $1^{\circ}59'$  de longitude est, englobant un territoire combinant plaines littorales étendues et secteurs légèrement surélevés. L'analyse de la répartition des villages et du chef-lieu révèle que les zones densément peuplées sont particulièrement vulnérables aux aléas, en raison de la proximité des habitations avec les cours d'eau et de l'occupation non planifiée des terres. À l'inverse, les zones périphériques, moins habitées, restent exposées aux effets cumulatifs des crues et de l'érosion côtière, tout en offrant des opportunités pour la mise en place de mesures d'aménagement et de prévention. La Figure 1 illustre cette localisation et permet de situer les secteurs à risque pour les analyses ultérieures de vulnérabilité et de gestion des inondations. Le territoire de Grand-Popo est caractérisé par un réseau hydrographique dense, composé de rivières, ruisseaux et lagunes qui drainent le territoire et alimentent les activités agricoles et halieutiques locales. La carte hydrographique (*Figure 2*) identifie les principaux axes fluviaux et les zones humides associées, jouant un rôle clé dans la régulation des eaux de surface. Cependant, la densité élevée de ce réseau augmente la sensibilité du territoire aux crues, notamment dans les secteurs à faible relief.

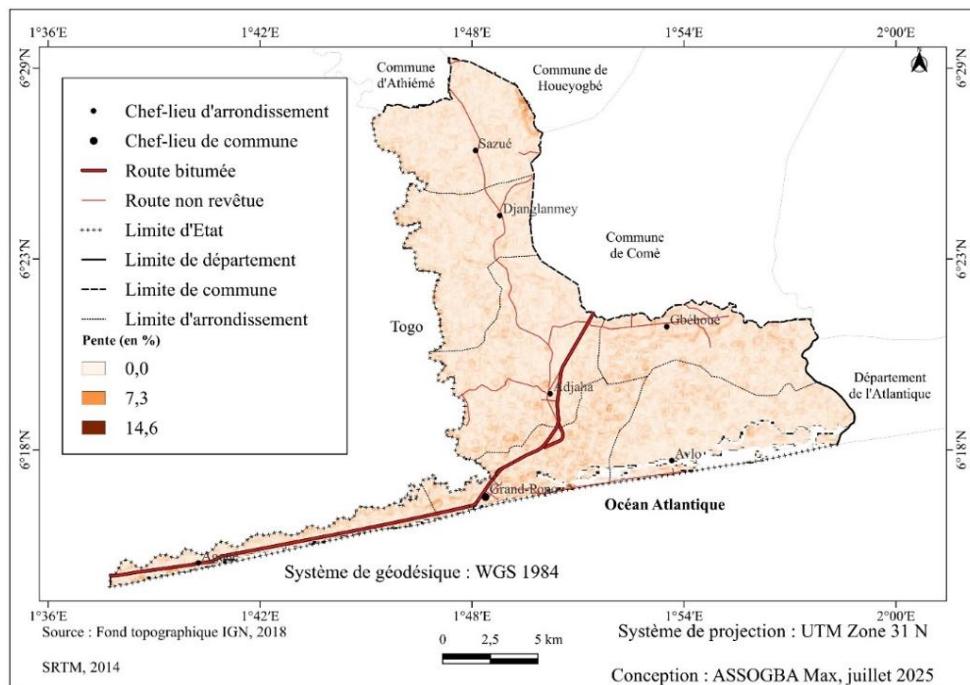
Les zones situées à proximité des cours d'eau et des lagunes sont particulièrement exposées aux débordements, ce qui accentue la vulnérabilité des populations et des infrastructures. Ces observations corroborent les travaux de [18, 19], qui soulignent que la proximité des populations avec les réseaux hydrographiques augmente significativement l'exposition aux risques d'inondation dans les zones littorales et fluviales. L'intégration de paramètres morphométriques, tels que la densité de drainage et la superficie des bassins versants, constitue une étape cruciale pour la modélisation du risque et la cartographie de l'aléa [21]. Le relief de Grand-Popo est majoritairement plat, avec des pentes variant de 0 à 7,3 %, et ne dépassant 14,6 % que dans les rares secteurs légèrement accidentés (*Figure 3*). Cette faible déclivité limite l'écoulement naturel des eaux de pluie et favorise la stagnation des eaux de surface, augmentant le potentiel d'inondation dans les zones habitées et les terrains cultivés [20]. L'analyse de la pente permet de classer le territoire en trois niveaux de risque : faible, moyen et fort. Les zones à pente nulle ou très faible correspondent aux plaines littorales étendues, particulièrement sensibles aux accumulations d'eau. Les secteurs à pente plus élevée, bien que peu étendus, jouent un rôle de drainage naturel, contribuant à limiter l'ampleur des inondations. La combinaison des données hydrographiques et topographiques constitue ainsi la base de la cartographie des aléas, permettant de déterminer les zones prioritaires pour la prévention et la gestion des risques d'inondation dans la commune [18 - 21].



**Figure 1 : Localisation géographique de la commune de Grand-Popo**



**Figure 2 : Hydrographie de / commune de Grand-Popo**



**Figure 3 : Pente de la commune de Grand-Popo**

## 2-2. Matériel et méthodes

### 2-2-1. Données et matériaux utilisés

Les données utilisées pour analyser les risques d'inondation sont multiples et proviennent de plusieurs sources, notamment les séries pluviométriques de 1991 à 2020, les données SRTM 2021 pour le milieu de recherche disponibles sur le site <https://earthexplorer.usgs.gov> permettant de déterminer l'altitude et la densité de drainage, les données pluviométriques de Météo Bénin, l'indice d'humidité topographique et la carte pédologique du Bénin à l'échelle 1/200 000, ainsi que le traitement et l'analyse réalisés à l'aide des logiciels QGIS 3.28 et ENVI 5.3 pour la classification des images Sentinel-2B de 2024.

### 2-2-2. Méthode de traitement et analyse des données

Pour analyser les risques d'inondations dans la commune de Grand-Popo, le fond topographique de la commune est utilisé. Les images sentinelles 2B du milieu de recherche sont extraites, ces images ont subi un prétraitement dans le logiciel ENVI ; Il s'agit de la correction radiométrique qui consiste à améliorer la qualité des images et la précision des images en supprimant ou en réduisant les effets atmosphériques. La composition colorée est réalisée par des combinaisons fausses couleurs des bandes 8-4-3. Ces images satellites ont permis de réaliser la carte d'occupation des terres, d'identifier les zones potentiellement humides (NDWI). Les images MNT ont permis d'apprécier la morphologie du territoire de la commune de Grand-Popo et la carte d'indice d'humidité topographique. Des cartes des différents facteurs de risques des inondations ont été également réalisées.

## 2-3. Méthode d'analyse du risque d'inondation

Le risque est exprimé selon l'UNDRO (United Nations Disaster Relief Office) par le produit d'un aléa et d'une vulnérabilité [18, 19].

$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité} \quad (1)$$

Pour analyser les zones à risque d'inondation dans la commune de Grand-Popo, la méthode d'analyse multicritères a été utilisée. Plusieurs paramètres sont pris en compte dans l'analyse du risque d'inondation. Ces paramètres sont constitués des variables environnementales et naturelles dont la susceptibilité à produire une inondation est effective. Il s'agit des zones humides, la densité de drainage, l'altitude, les types de sol, l'occupation des terres et la densité des infrastructures routières. Une analyse de ces facteurs conduit à définir deux descripteurs de l'inondation : la vulnérabilité du terrain à l'inondation et l'aléa hydro climatique.

### **2-3-1. Codification**

Le **Tableau 1** présente l'échelle descriptive et les côtes associées. Pour caractériser le risque, une échelle descriptive a été établie, attribuant un poids à chaque variable dans le processus de risque. Cette échelle comporte trois niveaux : faible (1), moyen (3) et fort (5) (**Tableau 1**)[20].

**Tableau 1 : Echelle descriptive et côtes associées**

Echelle	Côtes
Faible	1
Moyen	3
Fort	5

### **2-3-2. Détermination de l'aléa**

L'identification de l'aléa est la première phase de l'élaboration de la cartographie des risques. La carte d'aléa résulte de la combinaison de la carte d'altitude, de pente, de la densité de drainage, de type de sol et de l'Indice d'humidité du Sol. Pour ce faire trois niveaux sont retenus (faible, moyen et fort).

#### **- Types de sols**

Les types de sols sont des éléments essentiels pour la détermination des facteurs favorisant l'inondation car ils déterminent la capacité d'absorber et d'infilttrer l'eau. La carte qui est issue du facteur sol a été fait par les cartes de reconnaissance du Bénin.

#### **- Indice d'humidité du Sol**

L'acquisition des images satellites a été la première étape de ce travail, la seconde a été la pré localisation des zones humides potentielles à travers ces images par la méthode de NDWI (Indice d'humidité par Différence Normalisé ou Normalised Difference Wetness Index). La méthodologie NDWI comporte des étapes successives conduisant à la détection de trois (03) classes de zones humides. Elle consiste à l'identification des surfaces d'eau libre par un indice spécifique NDWI se calcule comme suit :

$$\text{NDWI} = (\rho_{\text{Green}} - \rho_{\text{NRI}}) / (\rho_{\text{Green}} + \rho_{\text{NRI}}) \quad (2)$$

avec, *Green* : La réflectance correspondant au spectre du vert ou Bande 3; *NRI* : la réflectance correspondante au spectre du proche infrarouge ou Bande 5.

#### **- Densité de drainage**

La densité de drainage est l'un des indicateurs morpho métriques d'analyse d'un réseau hydrographique. Elle permet, dans le cas de cette recherche, d'exprimer la superficie du bassin au drainage. Cette densité de drainage est générée par l'outil « Spatial Analyst Tools » de ArcGis et reclassée en trois classes. Le **Tableau** présente la classification des paramètres déterminant l'aléa. De ce tableau, il ressort que les facteurs ont été classifiés et sont mesurées selon les échelles différentes. Pendant la classification, la classe fortement favorable à la côte la plus élevée et celle fortement défavorable à la côte la plus faible. Ces côtes varient de 1, 2 et 3, le résultat de la classification des facteurs identifiés est consigné dans le **Tableau 2**.

**Tableau 2 : Classification des paramètres déterminant l'aléa**

Facteurs	Classe	Cotes	Echelle
Densité de drainage (Km/km <sup>2</sup> )	0-328,217	1	Faible
	328,217-492,326	2	Moyen
	492,327-656,435	3	Fort
Pente (°)	0-1,998	3	Fort
	1,999-3,766	2	Moyen
	3,767-19,597	1	Faible
Altitude	-14 - 1	2	Fort
	1 - 16	3	Moyen
	16 - 30	4	Faible
Indice d'humidité du Sol	-0,35 - -0,15	1	Faible
	-0,15- -0,02	2	Moyen
	0,02- -0,09	3	Fort
Types de sols	Sol peu évolué	1	Faible
	Sol hydromorphe	2	Moyen
	Rivière	3	Fort

Source : Assogba, 2025.

### 2-3-3. Détermination de la vulnérabilité

La vulnérabilité constitue l'ensemble des dégâts que peuvent subir l'homme aussi bien dans son intégrité physique que par rapport à ses biens. Les enjeux ici concernent l'occupation des sols et les infrastructures routières. Il s'agit à ce niveau d'identifier les facteurs exposés aux aléas. En fonction de leurs vulnérabilités face aux aléas, une codification est également appliquée. Le traitement a permis d'obtenir des zones à vulnérabilité faible, moyenne, forte et très forte. Le **Tableau 3** présente la classification des paramètres déterminant la vulnérabilité. De ce tableau, il ressort que les facteurs ont été classifiés et sont mesurées selon les échelles différentes. Pendant la classification, la classe fortement favorable à la côte la plus élevée et celle fortement défavorable à la côte la plus faible. Ces cotes varient de 1,2 et 3.

**Tableau 3 : Classification des paramètres déterminant la vulnérabilité**

Facteurs	Classe	Cotes	Echelle
Occupation des terres	Forêt dense ; Forêt claire et savane boisée ; Savane arborée et arbustives	1	Faible
	Culture et jachère Culture et jachère sous palmier Plantation Forêt galerie et formation ripicole	2	Moyen
	Habitation Plan d'eau Sols érodé et dénudé	3	Fort
Densité des infrastructures routières	1 - 1,67	1	Faible
	1,67 - 2,33	2	Moyen
	2,3 - 3	3	Fort

Source : Assogba, 2025

### 2-3-4. Détermination du risque

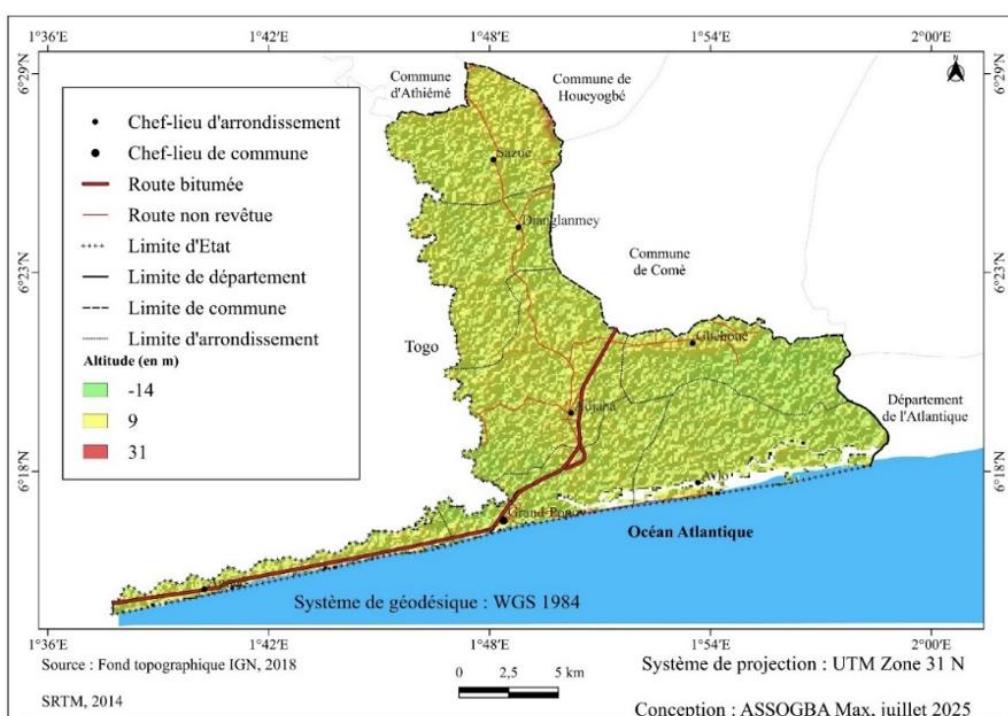
Pour obtenir la carte du risque d'inondations, la combinaison par codification des cartes de vulnérabilité et de l'aléa est faite. Les risques d'inondation sont définis comme le croisement de l'aléa préalablement défini et de la vulnérabilité. Un aléa d'inondation fort dans une zone faiblement vulnérable est fortement risqué. Pour cette combinaison, la fonction somme pondérée (Calculatrice raster) dans le "Menu Raster" du logiciel QGIS est utilisée.

### 3. Résultats

#### 3-1. Caractéristiques physiques et environnementales

##### 3-1-1. Aléa lié au relief

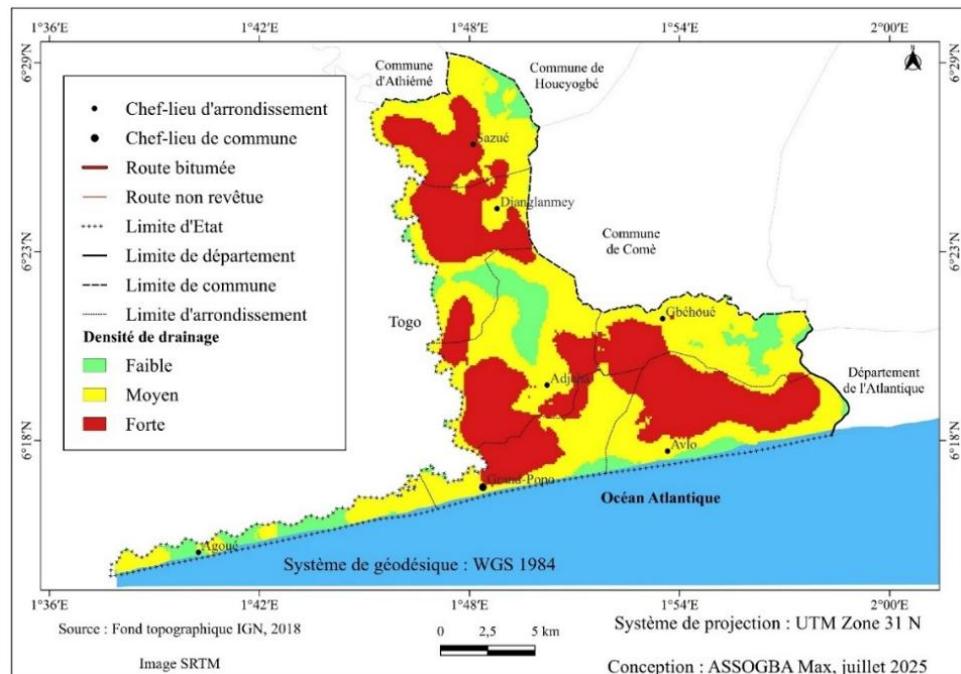
Le traitement des données SRTM a permis de déterminer les altitudes. La **Figure 4** présente l'aléa lié au relief de la commune de Grand-Popo. Les altitudes varient de -14 m à 31 m. Globalement, le territoire est caractérisé par une faible altitude, ce qui confirme sa position littorale. La majorité de la zone est comprise entre les valeurs basses (en vert), indiquant de vastes plaines. Quelques zones légèrement surélevées apparaissent (en jaune et en rouge), mais elles restent limitées en extension. La proximité de l'Océan Atlantique et la prédominance des basses altitudes laissent supposer une vulnérabilité accrue face aux inondations, aux remontées marines et aux aléas hydroclimatiques. Le réseau routier, notamment la route bitumée qui traverse la commune du nord au sud, longe en partie ces zones basses, ce qui peut poser des contraintes d'accessibilité en période de crue.



**Figure 4 : Aléa lié au relief de la commune de Grand-Popo**

##### 3-1-2. Aléa lié à la densité de drainage

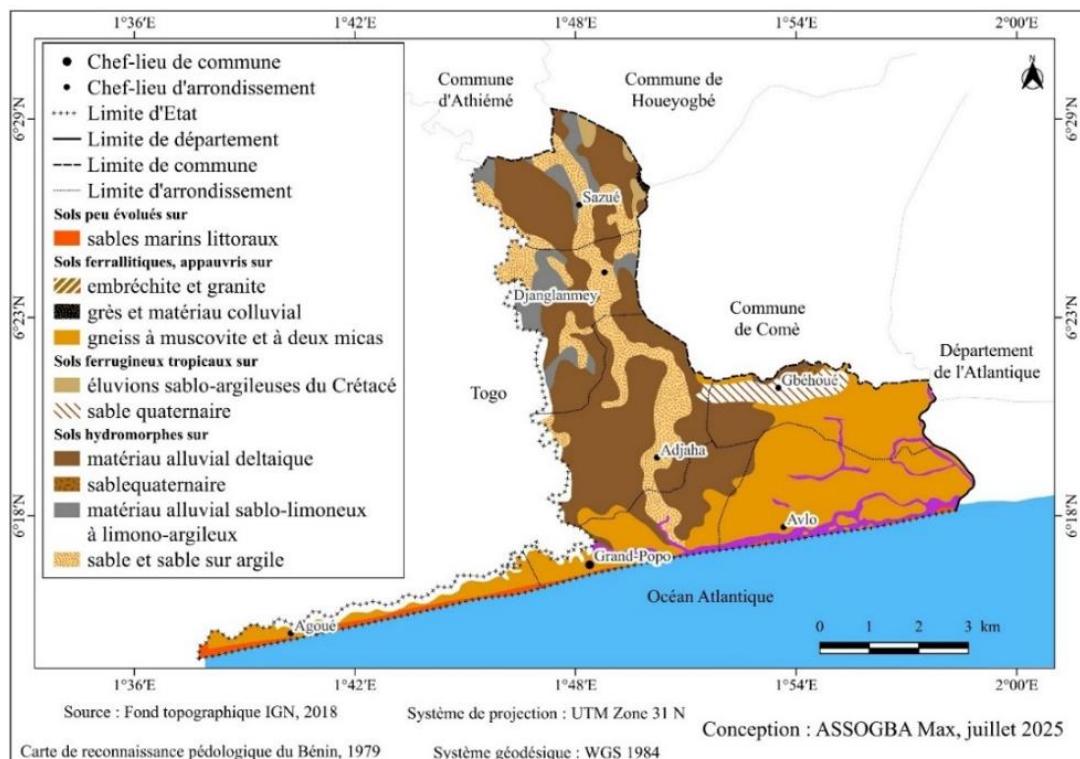
Les débordements des cours d'eau peuvent également déclencher une inondation. En effet, les crues naissent suite à d'importants épisodes pluvieux provoquant le débordement des rivières dans les zones inondables. Plus la distance augmente, plus le risque diminue, car les zones plus proches du réseau fluvial sont sujettes à ce risque. La **Figure 5** présente l'aléa lié à la densité de drainage de la commune de Grand-Popo. Trois classes sont représentées : faible (vert), moyenne (jaune) et forte (rouge). On observe une prédominance des zones à densité de drainage forte (en rouge), notamment dans le centre et le nord de la commune (vers Sazué, Djannlanmey, Adjahé). Cela traduit une présence importante de cours d'eau et de chenaux, qui accentuent les risques d'érosion et d'inondation dans ces secteurs. Les zones à drainage moyen (jaune) forment des transitions assez larges, notamment vers le littoral et l'est du territoire, tandis que les zones à drainage faible (vert) sont localisées et restreintes, correspondant probablement à des secteurs légèrement surélevés.



**Figure 5 : Aléa lié à la densité de drainage de la commune de Grand-Popo**

### 3-1-3. Aléa lié au type de sols

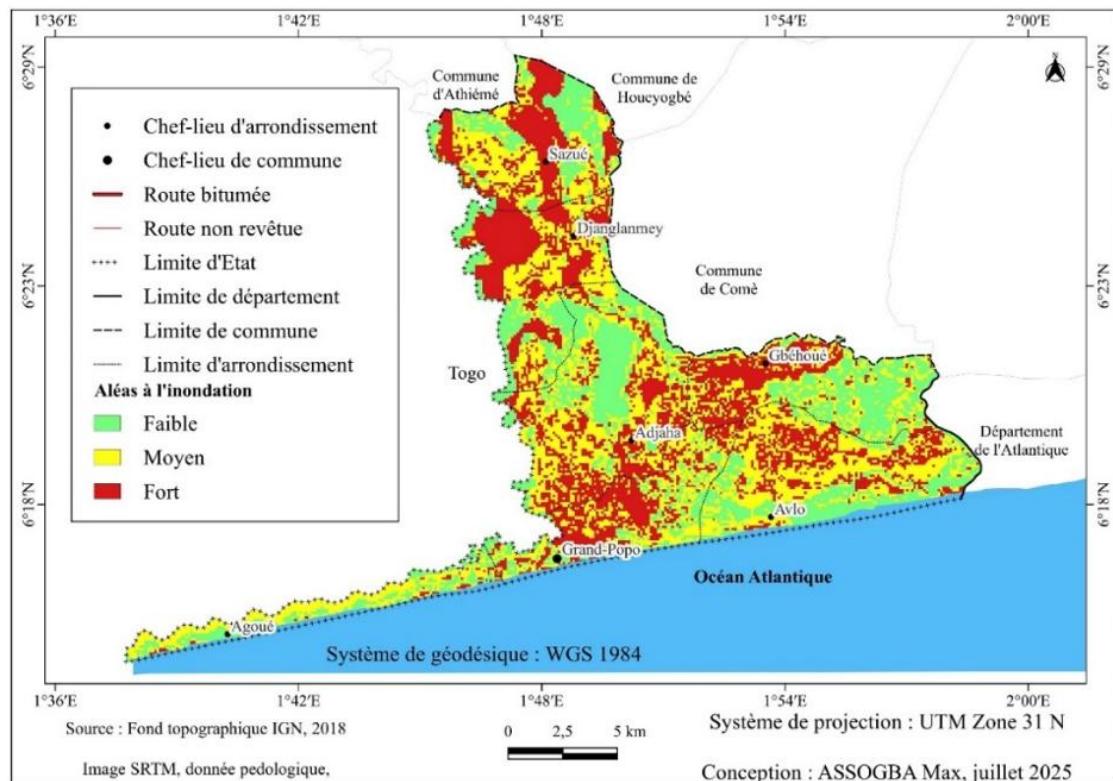
La nature du sol et sa distribution spatiale jouent un rôle déterminant dans la dynamique environnementale et agricole de la commune de Grand-Popo. Dans cet espace, plusieurs types de sols structurent le paysage et conditionnent à la fois l'occupation humaine, les pratiques agricoles et les risques naturels. On distingue d'abord les sols peu évolués sur sables marins littoraux qui s'étendent le long de la frange côtière, notamment à Avlo, Agoué et Grand-Popo. Ces sols, pauvres en éléments nutritifs et très perméables, sont particulièrement vulnérables à l'érosion marine et à la salinisation. Ensuite, les sols ferrallitiques appauvris, issus de l'altération de roches comme le gneiss ou le granite, occupent une grande partie du centre et du nord de la commune (Adjaha, Sazué, Djanglanmey). Leur fertilité est faible, mais ils servent de support principal aux cultures vivrières. Les sols ferrugineux tropicaux, localisés surtout à l'est vers Gbékoué, présentent une composition sablo-argileuse du Crétacé. Ils sont relativement plus fertiles que les ferrallitiques et offrent de bonnes potentialités agricoles, en particulier pour le maraîchage. Enfin, les sols hydromorphes constituent une unité dominante dans les zones basses et deltaïques. On les retrouve dans les vallées inondables et les zones marécageuses proches de la lagune et de l'océan. Ces sols, riches en limons et argiles, sont très favorables à l'agriculture (riziculture, maraîchage), mais leur localisation en zone inondable expose fortement les populations aux risques d'inondation. Ainsi, la prédominance des sols hydromorphes dans la commune témoigne d'une vulnérabilité accrue aux inondations, ce qui impose aux habitants et aux aménageurs de prendre des précautions particulières lors de l'installation des infrastructures et des activités agricoles. La **Figure 6** présente la répartition des types de sols dans la commune de Grand-Popo. Celle-ci met en évidence trois classes d'aptitudes : faible, moyenne et forte, avec une nette dominance de la classe moyenne représentée par les sols hydromorphes.



**Figure 6 : Les types de sols dans la commune de Grand-Popo**

### 3-2. Répartition de l'aléa à l'inondation dans la commune de Grand-Popo

L'analyse cartographique des phénomènes d'inondation dans la commune de Grand-Popo met en évidence une répartition contrastée des aléas, des vulnérabilités et des risques en fonction de la localisation géographique et de l'occupation du sol. Les facteurs qui gouvernent l'aléa pris individuellement ont permis de réaliser la carte de l'aléa à l'inondation dans le secteur d'étude (**Figure 7**). L'analyse spatiale des cartes d'aléas, de vulnérabilités et de risques d'inondation dans la commune de Grand-Popo met en évidence une situation préoccupante qui illustre la forte exposition de ce territoire aux phénomènes hydrométéorologiques. La carte des aléas montre que près de 40 % de la superficie communale est soumise à un aléa fort, principalement concentré autour des localités de Sazué, Djanglanmey, Adjaha et Gbèhoué. Ces zones, situées dans des bas-fonds, des plaines alluviales et des espaces proches des chenaux, constituent des milieux naturellement favorables à l'accumulation d'eau et aux débordements lors des épisodes pluvieux intenses. Les aléas moyens, représentant environ 35 % du territoire, se répartissent dans des zones de transition, tandis que les aléas faibles (environ 25 %) se rencontrent essentiellement dans la bande littorale de Grand-Popo, Avlo et Agoué, où le relief sableux surélevé limite relativement les stagnations, même si ces zones demeurent vulnérables à l'érosion côtière et aux submersions marines.



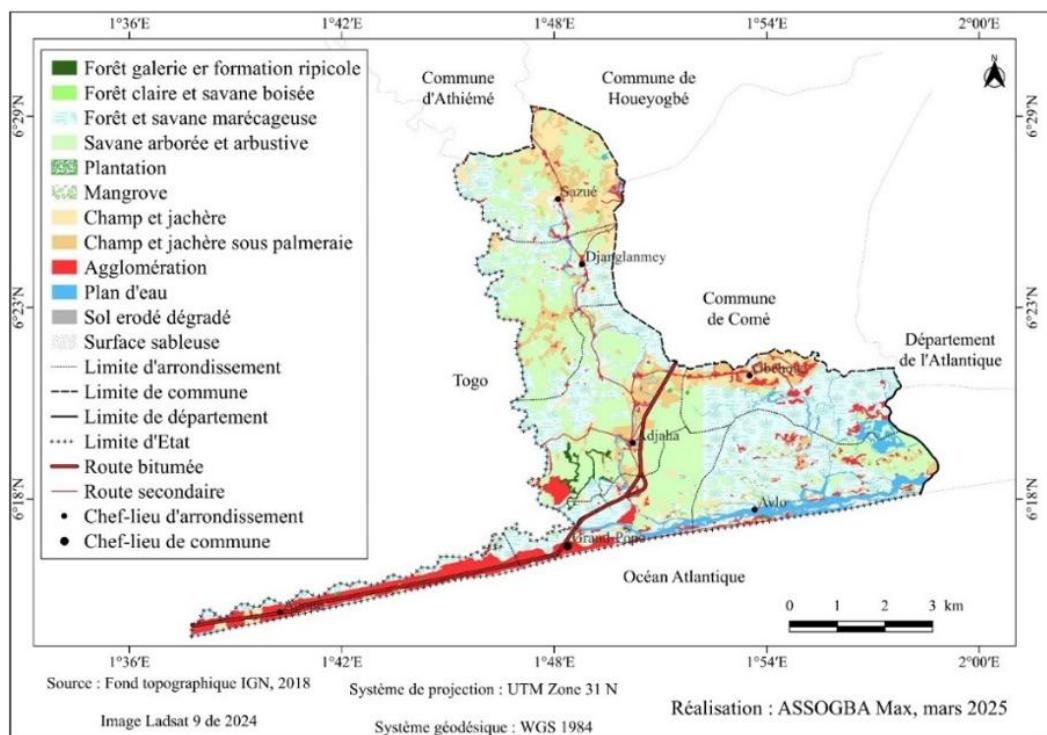
**Figure 7 : Cartographie de l'aléa à l'inondation dans la commune de Grand-Popo**

### 3-3. Vulnérabilité liée à l'inondation

Pour cartographier les niveaux de vulnérabilité dans la commune de Grand-Popo, deux cartes thématiques (Occupation du sol et densité des infrastructures routières) ont été réalisées. La carte de vulnérabilité est obtenue par la combinaison de ces facteurs.

#### 3-3-1. Occupation du sol

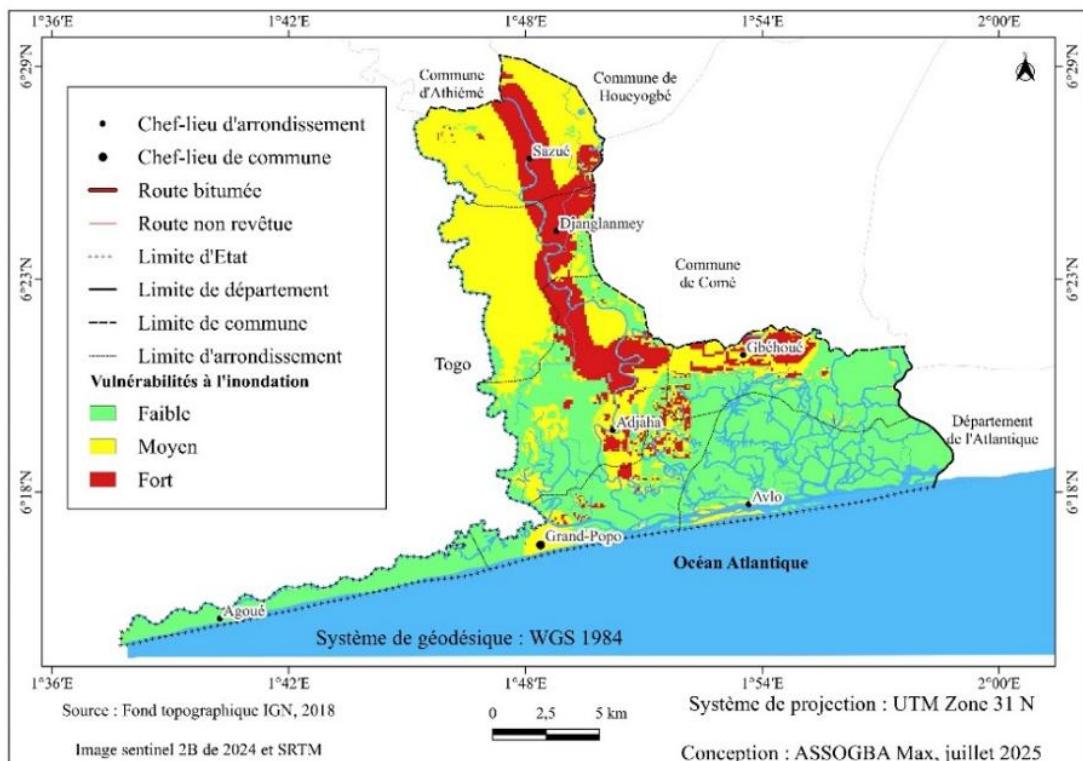
L'occupation du sol constitue un facteur principal pour identifier des zones susceptibles d'être submergées par les crues. Par exemple, la forêt et la végétation favorisent l'infiltration de l'eau. D'autre part, la zone urbaine, qui est principalement constituée de surfaces imperméables et de terres nues, augmente le ruissellement des eaux. La **Figure 8** présente l'occupation du sol de la commune de Grand-Popo. La carte d'occupation du sol de la commune de Grand-Popo (2024) montre une nette prédominance des espaces agricoles qui couvrent 50 % du territoire (champs et jachères : 38 %, champs sous palmeraie : 7 %, plantations : 5 %). Les espaces naturels représentent environ 30 % (savanes : 13 %, forêts claires : 8 %, forêts ripicoles et marécageuses : 5 %, mangroves : 4 %), traduisant une forte fragmentation mais un rôle écologique majeur. Les plans d'eau et zones humides totalisent 6 %, tandis que les sols dégradés et surfaces sableuses atteignent 4 %, concentrés sur le littoral vulnérable. Enfin, les agglomérations s'étendent sur 10 %, principalement le long de l'axe routier bitumé. Cette structure territoriale met en évidence un espace dominé par l'agriculture et l'urbanisation, avec des écosystèmes naturels réduits et un littoral soumis à de fortes pressions environnementales.



**Figure 8 : Occupation des sols de la commune de Grand-Popo en 2024**

### 3-3-2. Synthèse de la vulnérabilité à l'inondation dans la commune de Grand-Popo

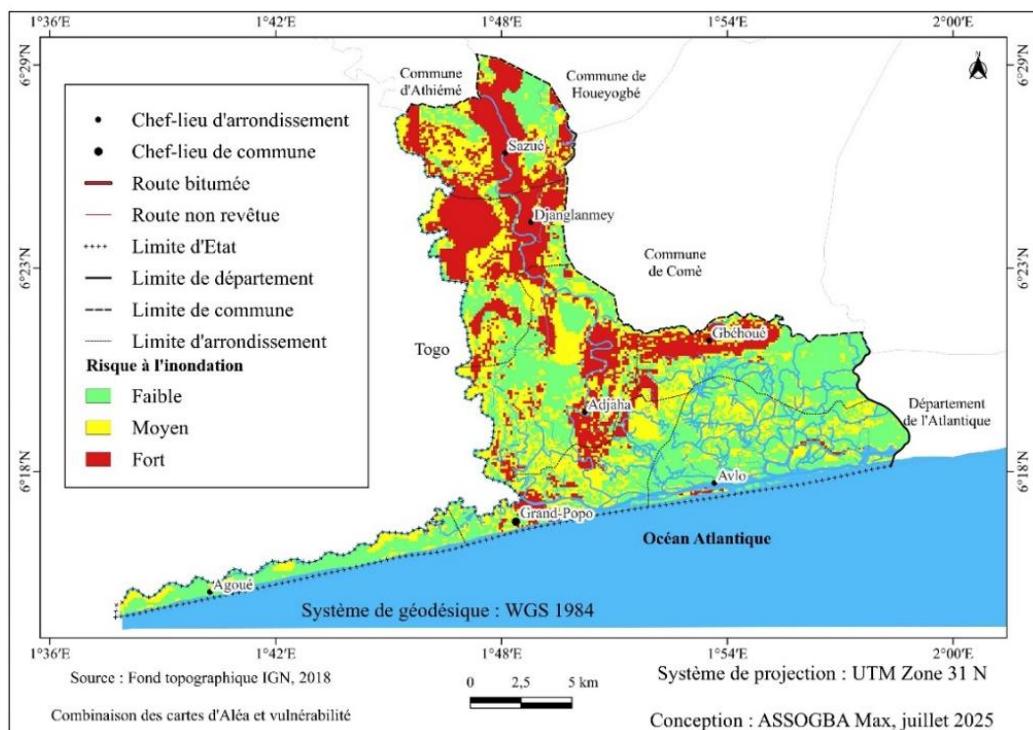
La carte de vulnérabilité est obtenue par combinaison des facteurs d'occupations du sol et des infrastructures routières. La **Figure 9** montrent la synthèse de vulnérabilité à l'inondation. La carte des vulnérabilités apporte une lecture complémentaire en révélant que la fragilité socio-économique et infrastructurelle accentue le risque. Environ 30 % du territoire se trouve en situation de forte vulnérabilité, notamment dans les pôles densément peuplés et stratégiques tels que Sazué, Djanglanmey et Adjaha, où la concentration d'infrastructures (routes, écoles, marchés) et d'activités économiques accroît la sensibilité face aux inondations. Les vulnérabilités moyennes couvrent près de 40 % de la superficie, affectant les zones périurbaines en expansion, tandis que les vulnérabilités faibles, estimées à 30 %, se localisent dans les espaces littoraux faiblement habités ou dans les zones naturelles (mangroves, plantations). Cette distribution met en évidence que la vulnérabilité ne coïncide pas toujours avec l'aléa : certaines zones à aléa fort demeurent peu vulnérables en raison d'une faible densité humaine, tandis que des espaces à aléa moyen deviennent très vulnérables du fait de l'importance des enjeux socio-économiques qu'ils abritent.



**Figure 9 : Cartographie de la vulnérabilité à l'inondation dans la commune de Grand-Popo**

### 3-4. Risques liés aux inondations de la commune de Grand Popo

Le risque d'inondation a été déterminé par la superposition des cartes de vulnérabilité à l'inondation et celle de l'aléa qui est le facteur déclencheur de l'inondation. La figure 10 présente la cartographie du risque d'inondation de la commune de Grand-Popo. De cette **Figure 10**, les niveaux de risques sont classés en trois classes que son faible, moyen, et fort. La combinaison des deux dimensions dans la carte du risque fournit une vision intégrée et hiérarchisée des menaces. Il ressort que 35 % de la commune est exposée à un risque fort, principalement dans les localités de Sazué, Djanglanmey, Adjaha et Gbèhoué, où se superposent une forte probabilité d'inondation et une vulnérabilité marquée. Les zones de risque moyen, représentant environ 40 % du territoire, se situent dans les espaces intermédiaires caractérisés soit par un aléa fort mais une vulnérabilité faible, soit par un aléa et une vulnérabilité modérée. Enfin, les zones de faible risque, estimées à 25 %, se concentrent surtout à Avlo, Agoué et Grand-Popo centre, où l'exposition demeure limitée et la densité de population relativement modérée.



**Figure 10 : Cartographie du risque d'inondation dans la commune de Grand-Popo**

## 4. Discussion

### 4-1. Caractéristiques physiques du milieu et mécanisme des inondations

Les résultats de notre étude indiquent que les inondations dans la commune de Grand-Popo sont fortement influencées par les caractéristiques physiques du milieu. La faible altitude moyenne (souvent inférieure à 10 m dans de nombreux secteurs), la déclivité réduite et la prédominance des sols hydromorphes limitent l'évacuation naturelle des eaux pluviales et favorisent la stagnation prolongée dans les bas-fonds. Les zones situées à proximité des lagunes et des cours d'eau présentent une fréquence de submersion annuelle estimée entre 60 et 75 %, attestant de leur vulnérabilité structurelle [22]. Les plaines alluviales et les bas-fonds constituent ainsi des espaces récurrents d'accumulation des eaux, où la saturation rapide des sols restreint à la fois l'usage agricole et le développement des infrastructures [22 - 24]. Ces observations s'accordent avec les études réalisées sur les littoraux ouest-africains, qui démontrent que la topographie peu contrastée accroît le risque d'inondation en ralentissant l'évacuation naturelle des eaux [23]. À Grand-Popo, la conjonction des apports fluviaux continentaux et des dynamiques marines accentue ce phénomène, provoquant des débordements fréquents au cours de la saison des pluies, principalement entre juin et septembre [24]. La nature hydromorphe des sols, caractérisée par une capacité d'infiltration limitée dès la saturation, prolonge la durée de submersion et favorise la stagnation ainsi que l'érosion des sols cultivables [25]. Bien que ces sols présentent une fertilité élevée, leur exploitation dans les bas-fonds accroît la vulnérabilité agricole, un constat corroboré par plusieurs études menées dans des territoires littoraux d'Afrique de l'Ouest [26]. Ainsi, la combinaison de ces facteurs naturels définit un profil de vulnérabilité structurel aux inondations, difficilement modifiable par des interventions purement techniques.

#### **4-2. Organisation spatiale de l'aléa d'inondation**

La cartographie de l'aléa montre une distribution spatiale différenciée du risque. Les zones à aléa élevé se concentrent dans les bas-fonds, les plaines alluviales et les secteurs riverains des cours d'eau et des lagunes, combinant faibles altitudes, forte densité de drainage et sols hydromorphes, ce qui explique leur forte exposition [27]. Les zones à aléa moyen se situent sur des terrains légèrement surélevés ou sur des formations sableuses, où l'infiltration est meilleure et la stagnation plus limitée [29]. Cependant, ces zones restent vulnérables lors des événements climatiques extrêmes, dont la fréquence et l'intensité augmentent sous l'effet du changement climatique [30]. La proximité des réseaux hydrographiques constitue un déterminant majeur de la fréquence et de l'intensité des inondations [28]. À Grand-Popo, l'analyse des réseaux de drainage naturels et artificiels révèle que les chenaux obstrués et les lagunes peu profondes amplifient la montée des eaux et prolongent la durée des crues dans les villages riverains [27, 30]. Cette approche spatiale souligne la nécessité de considérer topographie, hydrologie et occupation du sol de manière intégrée pour toute stratégie de prévention et de gestion du risque [22, 27, 30].

#### **4-3. Occupation du sol, vulnérabilité et facteurs antropiques**

L'occupation du sol joue un rôle déterminant dans la vulnérabilité des populations et des infrastructures à Grand-Popo. Les zones agricoles, implantées majoritairement dans les bas-fonds afin de profiter de la fertilité des sols hydromorphes, subissent régulièrement des pertes de récoltes et des dommages aux systèmes d'irrigation et aux infrastructures rurales. Ces impacts économiques accentuent la fragilité socio-économique des ménages, un constat similaire à celui observé dans plusieurs régions rurales d'Afrique de l'Ouest [31]. Les zones urbanisées présentent également une vulnérabilité élevée. L'urbanisation rapide, souvent non planifiée et caractérisée par une forte imperméabilisation des sols, favorise le ruissellement et accélère la montée des eaux lors des épisodes pluvieux intenses [32, 33]. À Grand-Popo, les quartiers périphériques cumulent déficit en infrastructures de drainage et exposition aux bassins saturés, les rendant particulièrement vulnérables [32, 33]. À l'inverse, les zones naturelles résiduelles, telles que les mangroves, les zones humides et les ripisylves, jouent un rôle tampon important. Elles contribuent à retarder et stocker temporairement les eaux de crue, réduisant l'intensité et la propagation des inondations [34]. Toutefois, la dégradation progressive de ces écosystèmes, imputable à l'urbanisation et à l'exploitation agricole, réduit leur capacité tampon et augmente la vulnérabilité globale [35]. Ces observations mettent en évidence la nécessité d'une gestion intégrée de l'occupation du sol et de la protection des écosystèmes [34, 35].

#### **4-4. Enjeux d'aménagement et gestion durable du risque**

L'analyse intégrée montre que la vulnérabilité à Grand-Popo résulte de la superposition de facteurs naturels et anthropiques. Les zones où aléa et vulnérabilité se cumulent constituent des espaces prioritaires pour les interventions de réduction du risque [36]. Plusieurs travaux récents insistent sur l'importance d'intégrer la gestion des risques dans les documents de planification urbaine et rurale pour limiter l'exposition des populations et des infrastructures [36, 37]. Notre étude met également en évidence que les zones à risque moyen sont susceptibles d'évoluer vers un risque élevé en raison de l'urbanisation non planifiée et du changement climatique [37, 38]. Dans ce contexte, une planification anticipative incluant zonage réglementaire, amélioration des systèmes de drainage et restauration des zones humides est indispensable pour limiter l'aggravation du risque [38, 39]. La réduction durable du risque d'inondation nécessite ainsi une approche intégrée, combinant l'aménagement du territoire (éviter l'urbanisation dans les bas-fonds), la protection et la restauration des zones humides, l'amélioration des infrastructures de drainage, la sensibilisation et le renforcement de la résilience des populations locales [39, 40]. Ces résultats fournissent des éléments scientifiques solides pour la prise de décision et l'élaboration de politiques locales de gestion durable des risques dans les communes littorales béninoises.

## 5. Conclusion

Les travaux présentés dans cette étude ont permis d'évaluer de manière spatialisée la vulnérabilité et le risque d'inondation dans la commune de Grand-Popo à partir d'une approche intégrée combinant données climatologiques, géospatiales et analyses multicritères sous SIG. Les résultats obtenus révèlent une exposition significative du territoire communal aux inondations, avec une concentration des zones à aléa et à risque élevés dans les secteurs caractérisés par de faibles altitudes, une forte anthropisation et une occupation du sol peu adaptée aux contraintes hydrologiques. L'analyse met en évidence que la vulnérabilité élevée observée dans plusieurs localités résulte non seulement des facteurs physiques, mais également de la densité des infrastructures, de la pression démographique et de l'insuffisance des dispositifs d'aménagement et de gestion du territoire. En outre, les zones littorales, bien que relativement épargnées par les crues fluviales, apparaissent particulièrement fragiles face aux dynamiques d'érosion côtière et aux phénomènes de submersion marine, accentués par le changement climatique. Ces résultats soulignent l'importance stratégique des SIG et de l'analyse spatiale comme outils d'aide à la décision pour la prévention et la gestion des risques d'inondation dans les zones côtières du Bénin. Ils plaident en faveur d'une approche intégrée de gestion des risques, fondée sur la planification territoriale, l'adaptation des infrastructures, la restauration des écosystèmes naturels et le renforcement de la résilience des populations locales. À terme, cette démarche méthodologique pourrait être étendue à d'autres communes côtières ou fluviales confrontées à des problématiques similaires, afin de soutenir une planification durable et proactive face aux risques hydroclimatiques.

## Références

- [1] - GIEC, *Rapport d'évaluation 2021*, Genève : GIEC, (2021) 394 p. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> (Juillet 2025)
- [2] - IPCC, *Climate Change 2022 : Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Cambridge : Cambridge University Press, (2022) 3712 p. (WG II rapport complet) : <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> (Juillet 2025)
- [3] - EM-DAT, The International Disaster Database, Université Catholique de Louvain, Belgique, <https://www.emdat.be> (Juillet 2025)
- [4] - UNDRR, *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2022: Our World at Risk - Transforming Governance for a Resilient Future*, Genève : Nations Unies, (2022) 312 p. <https://www.unrr.org/publication/global-assessment-report-disaster-risk-reduction-2022> (Juillet 2025) UNW WRD Knowledge Hub
- [5] - L. OUEDRAOGO et P. SAWADOGO, Impacts des inondations sur le développement durable en Afrique de l'Ouest, *Journal of Flood Risk Management*, 10 (3) (2017) 245 - 258. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12147> (Juillet 2025)
- [6] - M. SOW et A. DIALLO, Urbanisation et vulnérabilité aux inondations dans les villes africaines, *Revue Africaine de Géographie*, 12 (2) (2015) 35 - 50
- [7] - G. ASSOGBA, Structuration spatiale et impacts des institutions de microfinance dans la commune d'Ifangni (Sud-Est du Bénin), Mémoire de maîtrise, Université d'Abomey-Calavi, (2008) 85 p. (Juillet 2025)
- [8] - A. M. IGUE, F. ATTANDA, M. MOUINOU et F. P. IGUE, Variabilité paysagère et impacts des crues sur les populations, *Journal of Environmental Management in Africa*, 5 (1) (2014) 45 - 60. (Juillet 2025)
- [9] - J. BIRKMANN, Measuring vulnerability to promote disaster resilient societies: Conceptual frameworks and definitions, UNU EHS, Bonn, (2006) 180 p. (Juillet 2025)
- [10] - ONU HABITAT, *Urban Resilience and Flood Risk Management in West Africa*, Nairobi : ONU Habitat, (2021) 220 p. (Juillet 2025)

- [11] - Météo Bénin, *Rapports annuels sur les événements climatiques*, Cotonou : Météo Bénin, (2023) b90 p. (Juillet 2025)
- [12] - Ministère de l'Eau et des Mines du Bénin, *Rapport sur les crues de 2010*, Cotonou : MEM, (2011) 77 p. (Juillet 2025)
- [13] - Ministère de l'Eau et des Mines du Bénin, *Rapport sur les crues de 2022*, Cotonou : MEM, (2023) 85 p. (Juillet 2025)
- [14] - FAO, *State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture*, Rome : FAO, (2017) 445 p. <http://www.fao.org/land-water-resources> (Juillet 2025)
- [15] - A. ADEGBIDI et H. KASSA, Impacts socio-économiques des inondations sur les activités agricoles et halieutiques au Bénin, *Journal of West African Environmental Studies*, 8 (2) (2019) 75 - 92. (Juillet 2025)
- [16] - G. ASSOGBA et R. HOUNGNIHIN, Vulnérabilité des communes littorales au Bénin : le cas de Grand Popo, *African Coastal Studies*, 12 (1) (2020) 55 - 72. (Juillet 2025)
- [17] - T. TOUSSAINT, A. KPELA, J. HOUNSA et M. ADJOVI, Stratégies communautaires d'adaptation aux crues et inondations dans la commune de Grand Popo (Bénin), Université d'Abomey-Calavi, (2022) 98 p. (Juillet 2025)
- [18] - O. ONNA, Analyse des risques d'inondation et gestion des catastrophes : approche multidimensionnelle, Montréal : Presses de l'Université de Montréal, (2005) 256 p. (Juillet 2025)
- [19] - M. EL MORJANI, Méthodologie de codification et échelles descriptives pour l'évaluation des risques naturels, Université Mohammed V, Thèse de Doctorat, (2003) 215 p. (Juillet 2025)
- [20] - A. ALEXANDER, B. K. NYARKO, B. L. LAMPTEY et I. B. MAHAMADOU, Flood disaster risk mapping in the Lower Mono River Basin in Togo, West Africa, *International Journal of Disaster Risk Reduction* 22, 1-10 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.02.005> (Juillet 2025)
- [21] - D. BADOU et R. N. YEBEMEY, Sectorial climate change impacts and adaptation in Benin, in *Climate Change and Development in Africa*, (2021) 45 - 62. (Juillet 2025)
- [22] - S. B. DIOP, J. EKOLU, Y. TRAMBLAY, B. DIEPOIS, S. GRIMALDI, A. BODIAN, J. BLANCHET, P. RAMESHWARAN, P. SALAMON et B. SULTAN, Climate change impacts on floods in West Africa: new insight from two large-scale hydrological models, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 25 (2025) 3161 - 3184. <https://doi.org/10.5194/nhess-25-3161-2025> (Juillet 2025)
- [23] - J. N. A. ARYEE, F. O. T. AFRIFA, K.-H. AGYAPONG, N. A. GYAU FRIMPONG, K. T. QUAGRAINE et P. DAVIES, Quantifying climatic heavy-precipitation-induced floods in West Africa using multiple precipitation indices, *Scientific African*, (2024). <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02309> (Juillet 2025)
- [24] - T. TETOU-HOUYO BLAKIME, K. KOMI, K. ADJONOU, A. G. EKOUE, K. SENANOU GBAFA, B. POLORIGNI, P. OYEDELE et K. KOKOU, Communities' perceptions and coping strategies to flood hazard in a peri-urban catchment : the case study of the Zio River Basin, Togo, West Africa, *International Journal of Sustainable Development Research*, 10 (2) (2024) 43 - 55. <https://doi.org/10.11648/j.ijsdr.20241002.11> (Juillet 2025)
- [25] - B. N. NKA, L. OUDIN, H. KARAMBIRI, J. E. PATUREL et P. RIBSTEIN, Trends in floods in West Africa : analysis based on 11 catchments in the region, *Hydrology and Earth System Sciences*, 19 (2015) 4707 - 4719. <https://doi.org/10.5194/hess-19-4707-2015> (Juillet 2025)
- [26] - A. I. ADELEKAN, Vulnerability of poor urban coastal communities to flooding in Lagos, Nigeria, *Environment and Urbanization*, 22 (2) (2010) 433 - 450. <https://doi.org/10.1177/0956247810380141> (Juillet 2025)
- [27] - S. TAZEN, A. DIARRA, R. F. W. KABORE, B. IBRAHIM, M. BOLOGO, M. TRAORE, K. TRAORE et H. KARAMBIRI, Trends in flood events and their relationship to extreme rainfall in an urban area of Sahelian West Africa : The case study of Ouagadougou, *Journal of Flood Risk Management*, 12 (S1) (2019) e12507. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12507> (Juillet 2025)

- [28] - J. HOUNKPE, D. F. BADOU, A. Y. BOSSA, Y. YIRA, J. ADOUNKPE, E. A. ALAMOU, E. A. LAWIN, L. O. C. SINTONDJI, A. A. AFOUDA et E. AMOUSSOU, Assessment of flood discharge sensitivity to climate indexes in West Africa, *Proceedings of IAHS*, 384 (2021) 219 - 224. <https://doi.org/10.5194/piahs-384-219-2021> (Juillet 2025)
- [29] - B. D. WELDEGEBRIEL et B. E. AMPHUNE, Livelihood resilience in the face of recurring floods: an empirical evidence from Northwest Ethiopia, *Geoenvironmental Disasters*, 4 (1) (2017) 10. <https://doi.org/10.1186/s40677-017-0074-0> (Juillet 2025)
- [30] - C. E. HAQUE, J. R. ZAMAN et D. WALKER, Risk reduction, coping, and adaptation to flood hazards in Manitoba, Canada: evidence from communities in the Red River Valley, *Geosciences*, 13 (3) (2023) 88. <https://doi.org/10.3390/geosciences13030088> (Juillet 2025)
- [31] - D. DANSO et I. Y. ADDO, Coping strategies of households affected by flooding: a case study of Sekondi-Takoradi metropolis in Ghana, *Urban Water Journal*, 14 (5) (2017) 539 - 545. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2016.1176223> (Juillet 2025)
- [32] - H. MENSAH et D. K. AHADZIE, Causes, impacts and coping strategies of floods in Ghana : a systematic review, *SN Applied Sciences*, 2 (5) (2020) 792. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2548-z> (Juillet 2025)
- [33] - Y. D. TOMETY, Exposition et vulnérabilité face aux risques d'inondation au Burkina Faso : cas de la ville de Dori, Université de Liège, Belgique (mémoire, 2017). Disponible en ligne sur plateforme universitaire (Juillet 2025)
- [34] - P. K. KOUAME, G. FOKOU, A. J. D. KOFFI, A. SANI, B. BONFOH et K. DONGO, Assessing institutional stakeholders' perception and limitations on coping strategies in flooding risk management in West Africa, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (2022) 6933. <https://doi.org/10.3390/ijerph19116933> (Juillet 2025)
- [35] - K. BLAKIME, K. KOMI, K. ADJONOU, A. G. EKOUE et K. S. GBAFA, Dynamics of built-up areas and challenges of planning and development of urban zone of Greater Lomé in Togo, *Land*, 13 (1) (2024) 84. <https://doi.org/10.3390/land13010084> (Juillet 2025)
- [36] - M. KETCHA ARMAND KABLAM, K. DONGO et M. COULIBALY, Assessment of social vulnerability to flood in urban Côte d'Ivoire using the MOVE framework, *Water*, 9 (4) (2017) 292. <https://doi.org/10.3390/w9040292> (Juillet 2025)
- [37] - S. G. DOLUWEERA et R. H. THABREW, Flood risk perception and awareness: a key factor for community flood resilience, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 46 (2020) 101735. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101735> (juillet 2025)
- [38] - F. TAZEN, A. DIARRA, R. F. W. KABORE, B. IBRAHIM, M. BOLOGO et H. KARAMBIRI, Trends in flood events and their relationship to extreme rainfall over Sahelian West Africa, *Journal of Flood Risk Management*, 12 (S1) (2019) e12507. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12507> (Juillet 2025)
- [39] - A. R. NDIRITU, M. S. KGOSANA et J. P. HOPEWELL, Flood hazard mapping and spatial planning implications in Sub-Saharan Africa, *Natural Hazards*, 95 (2023) 1231 - 1256. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3456-z> (Juillet 2025)
- [40] - Z. NOUACEUR, La reprise des pluies et la recrudescence des inondations en Afrique de l'Ouest sahélique, *Physio-Géo*, 15 (2020) 89 - 109. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.10966> (Juillet 2025)