

Cartographie Des Aléas Associés Aux Inondations Dans Le Département Du Mono, Bénin (Afrique De l'Ouest)

[Mapping Floods Hazards In The Department Of Mono, Benin (West Africa)]

BESSAN M. V ¹, VISSIN E. W ², OGOUWALE E ³, OGOU K. F ^{4,*}

^{1,2,3}Laboratoire Pierre Pagney Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi, 03 BP 1122, Jéricho, Bénin.

Emails : ¹mvbessan@gmail.com, ²exlaure@gmail.com, ³ogkelson@yahoo.fr

⁴Laboratory of Atmospheric Physics, Department of Physics, Faculty of Science and Technology, University of Abomey-Calavi, Godomey, Benin.

*Auteur correspondant : ogofaustin@gmail.com; ORCID : 0000-0002-0342-7929



Résumé – Le Bénin est un pays de l'Afrique de l'Ouest qui subit chaque année les inondations soit générales ou locales. Ces disparités au niveau régional s'observent également au niveau local comme pays et à plus basse échelle avec d'énormes dégâts sur plusieurs secteurs. Le département du Mono fait partie de zones du Bénin qui subissent ces conséquences des inondations qui seraient liées à plusieurs facteurs. Ainsi, cette étude vise à élucider la contribution de quelques paramètres combinés aux inondations dans ce département entre la période 1960 et 2023. La méthode de cartographie par combinaison des facteurs a été utilisée. Les résultats ont montré que les sensibilités très fortes à forte occupe une proportion de 25% du territoire du Mono pendant que celle moyenne occupe une proportion d'environ 25% du territoire. Ajoutons qu'environ 50% de la région sont exposés faiblement aux risques d'inondations. Tous les territoires des communes de Athieme et de Grand-Popo sont plus sous la grande menace mais celles de Come et de Bopa sont en partie sous la menace principalement leur côté Est. Les résultats de ce travail permettront de renforcer le plan d'aménagements de la zone mais aussi de prendre de meilleures décisions par les organisations ou autorités en cas d'occurrence des inondations.

Mots clés – Aléas climatiques, Inondations, département du Mono, Afrique de l'Ouest, Cartographie

Abstract – West African country suffers from floods every year, either generally or locally. These disparities at the regional level are also observed at the local level as a country and at a lower scale with enormous damage in several sectors. The Mono department is part of Benin country that suffers these consequences of floods, which are linked to several factors. Thus, this study aims to elucidate the contribution of some combined parameters to floods in this department between the period 1960 and 2023. The method of mapping by combination of factors was used. The results showed that very high to high sensitivities occupies a proportion of 25% of the territory of Mono while the average one occupies a proportion of approximately 25% of the territory. The districts of Athieme and come are found to be under pressure of inundation whereas eastern part of the districts of Come and Grand-Popo underwent this pressure. In addition, approximately about 50% of the region is exposed to low risks of flooding. The results of this work will make it possible to strengthen the development plan of the area but also to make better decisions by organizations or authorities in the event of flooding.

Keywords – Hazards events, Inundations, department of Mono, West Africa, Cartography.

I. INTRODUCTION

Les inondations sont des événements de hasards la prévention se révèle difficile. Elles causent de nombreux dégâts inclus humains, socio-économiques, infrastructures, agricoles etc. Plusieurs facteurs favorisent l'occurrence de ces événements extrêmes dont le non-respect du plan de l'aménagement territorial ou l'installation anarchique des populations. Par exemple, La grimpée des eaux dans les fleuves de l'Ouémé au centre et au sud-est du Bénin et dans ceux du Mono et du Couffo au sud-ouest du pays, due à des pluies diluviennes qu'a éprouvé le pays, avait occasionné au moins un mort par noyade et plusieurs d'autres dégâts matériels, particulièrement la destruction de plusieurs habitations et de considérables superficies de champ de culture vivrière [1]. Afin de réduire les effets de ces événements et principalement dans le département du Mono, il est indispensable d'évaluer de manière scientifique, les facteurs contribuant à l'amplification des inondations. Dans le département du Mono au Bénin, une étude effectuée par [2] indique que pour gérer au mieux les effets des changements climatiques, les populations du département du Couffo (département frontalier) ont recouru à la modification des pratiques de labour, au paillage du sol, la culture des essences pérennes comme les palmiers, les orangers, les bananiers, l'association des cultures, etc. Ces stratégies ont arboré leur efficacité du fait qu'elles sont toujours en vigueur. Mais, elles présentent aussi des limites du fait des péjorations révélées par les recherches [2-4]. Les travaux réalisés par [5] révèlent que la stratégie d'occupation des unités de paysage n'est pas trop développée dans les communes d'Athiémé et de Lokossa.

Le département du Mono est constitué des communes de Lokossa, Athiémé, Grand-Popo, Houéyogbé, Comè et Bopa et est limitrophe aux départements du Couffo, des collines, du Zou et de l'Atlantique comme le montre la figure 1 ci-dessous. Il est situé au Sud-Ouest du Bénin entre 6°15' et 7°45' de latitude Nord et entre 1°35' et 2°13' de longitude Est couvrant une superficie de 1605 km² avec une population d'environ 497243 d'habitants selon le recensement de l'Institut National de la Statistique et de l'analyse Economique 2013 [6]. Le département du Mono bénéficie d'un climat de type subéquatorial avec une succession de quatre saisons, une pluviosité variant entre 850 mm et 1160 mm, la température pouvant atteindre 27,9°C, une humidité relative variant entre 55% et 95% et une insolation annuelle moyenne de 2024 h/an [6].

L'objectif de la présente étude vise à déterminer les degrés d'exposition du département aux événements d'inondation en fonction d'un certain nombre de paramètres par la cartographie et en ressortir les valeurs statistiques qui y sont liées. Une technique similaire a été employée et a permis de caractériser parfaitement une région au Maroc [7,8]. Après une analyse de la contribution individuelle des variables aux inondations, une synthèse de la combinaison de ces contributions sera présentée pour permettre une caractérisation de la zone.

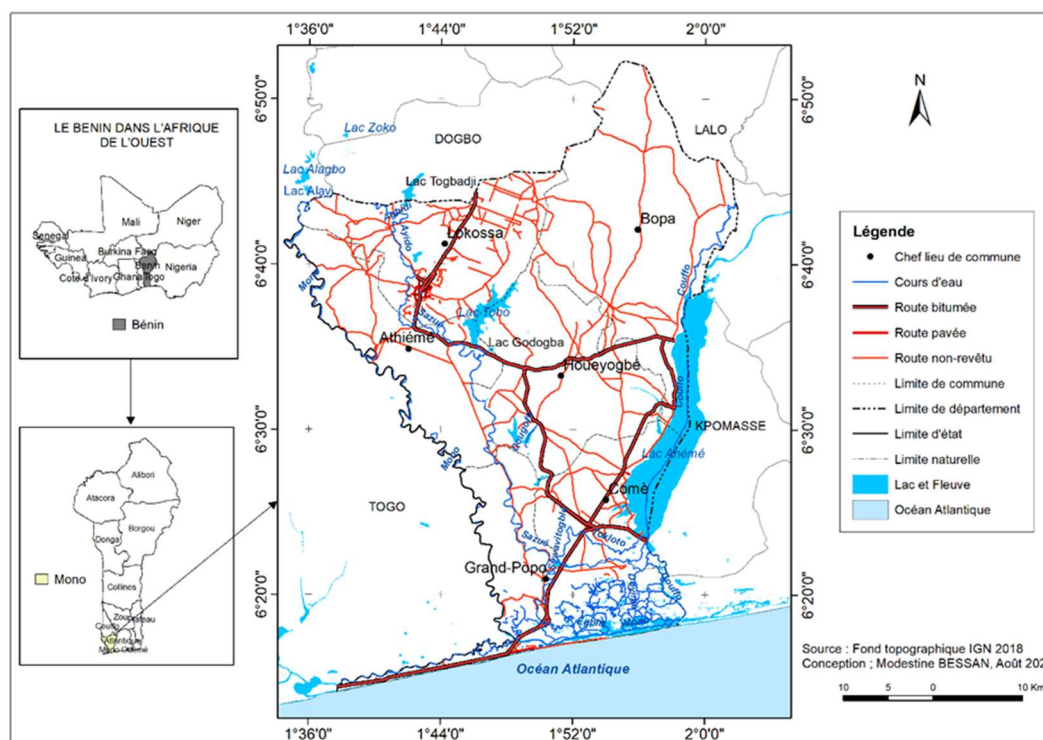


Figure 1 : localisation du département du Mono au Bénin (Jaune) et agrandi à droite.

II. MATERIELS ET METHODES

2.1 Matériels

2.1.1 Données cartographiques

Elles regroupent les données nécessaires à la cartographie des aléas, des enjeux et des risques liés à l'inondation et celles ayant servi à la détection et l'analyse des changements d'occupation des terres. Ces données de base utilisées sont constituées de données planimétriques, de données satellitaires, de données démographiques et de données climatiques. Elles données sont aussi bien quantitatives que qualitatives.

- Les données planimétriques sont obtenues sur le site de USGS ;
- Les données démographiques sont issues du Recensement Général de la Population et de l'Habitation effectué par l'INSAE, aujourd'hui l'INSTAD. Elles ont permis d'étudier la dynamique de la population du milieu de recherche et les atouts humains dont dispose ce secteur ;
- Les données climatologiques, à savoir les données de hauteurs de pluie des stations pluviométriques du milieu de recherche. Les données planimétriques ont été également utilisées. Elles concernent essentiellement : le fond topographique IGN au 1/600000 sur lequel figurent le réseau routier, les cours d'eau et quelques villages du milieu de recherche ; la carte pédologique au 1/200000 couvrant le milieu de recherche ; la carte géologique au 1/200000 couvrant le milieu de recherche ; la carte géomorphologique du Bénin.

2.1.2 Données collectées pour la cartographie de l'occupation du sol

Les données satellitaires utilisées permettent d'apprécier l'occupation du sol et d'extraire l'indice d'humidité (NDWI). L'évaluation de l'état de la réserve en eau d'un sol, par rapport à sa réserve optimale (réserve utile). Lorsque l'indice d'humidité des sols (NDWI) est voisin de 1, le sol est humide (> 1 , le NDWI indique que le sol tend vers la saturation). Inversement, lorsqu'il tend vers 0, le sol est en état de stress hydrique (inférieur à 0, il indique que le sol est très sec) (OFB, 2022). Les images DEM ont servi à la réalisation des cartes de reliefs et de pente. Ainsi, différentes images satellitaires ont été utilisées pour atteindre les objectifs fixés. Comme données satellitaires utilisées dans le présent travail, on distingue : les données SRTM sur le milieu de recherche téléchargé sur dataexplorer.com et les images Landsat 9 des scènes 192-55 et 192-56 B2 de l'année 2023 avec une résolution de 30 mètres. Les caractéristiques des images satellitaires utilisées sont présentées par le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques des données satellitaires utilisées

Capteur	Date d'acquisition	Résolution	Nombre de bandes
Landsat 9	Janvier 2023	30m	11
SRTM	Janvier 2022	30 m	-

2.2 Méthodologie

2.2.1 Méthodes de traitement et d'analyse des différentes données collectées

Cette partie met l'accent sur les différentes méthodes et modèles de traitement et d'analyse des données pluviométriques, hydrométriques, cartographiques, de température et des données socio-économiques collectées lors des enquêtes. Elle repose sur l'approche par objectif et similaire à celui de [9]. Les humidités de l'air ont été également analysées pour comprendre les conditions de l'atmosphère en relation avec la pluie. Les images satellitaires ont permis de réaliser la carte d'occupation du sol (COO), afin d'identifier les zones potentiellement humides (NDWI), les zones potentiellement à risque d'inondation et d'apprécier la morphologie (MNT) du territoire.

2.2.2 Approches d'analyse des facteurs déclencheurs et amplificateurs des inondations

L'identification des facteurs déclencheurs et amplificateurs des inondations repose sur l'étude de la variabilité pluviométrique et hydrométrique, la dynamique de l'occupation du sol, la cartographie des zones à risque d'inondation, l'étude de la dynamique de la population et l'analyse de la dynamique des événements extrêmes de 1960-2023.

2.2.3 Méthode d'analyse de la variabilité pluviométrique et hydrologique

Selon [10], l'étude de la variabilité pluviométrique et hydrologique nécessite l'utilisation des outils statistiques que sont : les paramètres de tendance centrale et de dispersion et ceux de mise en évidence des ruptures et tendances. Il s'agit ici d'attribuer des valeurs allant de 1 à 5 à des pixels déterminants les niveaux de sensibilités des différents facteurs du risque [11]. Il faut noter que cette codification est généralement réalisée par des experts avec, toutefois, une validation effectuée auprès des décideurs. Ici, le risque est perçu comme une éventuelle occurrence d'un Aléa sur les enjeux potentiellement vulnérables. Il a été question ici de l'identification des facteurs favorisant les inondations. En fonction de leurs importances, une codification est appliquée à chaque facteur d'aléa identifié. Pour ce faire des cartes de facteurs à l'inondation sont réalisées. Il s'est agi dans la présente des cartes : du relief ; de la répartition des hauteurs pluviométriques ; des zones humides et densité de drainage. Le croisement des différentes cartes de facteurs dans le logiciel ArcGis avec l'outil *Weighted Sum*.

La vitesse d'écoulement de l'eau dépend des pentes. Ces pentes ont été générées automatiquement dans Global Mapper 20 à l'aide de l'opération « Slope » avec SRTM comme donnée d'entrée. Plus la pente est faible, plus le risque d'inondation est élevé, car les zones basses constituent les points de convergence des différents cours d'eau. Les types de sols constituent un élément très important pour la détermination des facteurs favorisant l'inondation. La carte qui est issue du facteur sol a été pondérée puis convertie en

raster. 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'Eau par Différence Normalisé ou Normalised Difference Water Index). La méthodologie NDWI comporte des étapes successives conduisant à la détection de trois (03) types de zones humides. Elle a combiné des informations de différents néo-canaux, de seuillages, de classifications non dirigées, dont le cadre est contraint par l'indice topographique de [12]. En cela la méthode peut être qualifiée d'hybride [13]. Elle consiste à l'identification des surfaces d'eau libre par un indice spécifique NDWI se calcule comme suit :

$$NDWI = \frac{(\rho_{Green} - \rho_{NRI})}{\rho_{Green} + \rho_{NRI}}$$
 ; Avec Green : La réflectance correspondant au spectre du vert ou Bande 3 et NRI : la réflectance correspondante au spectre du proche infrarouge ou Bande 5

La densité de drainage est l'un des indicateurs morpho métriques d'analyse d'un réseau hydrographique. Elle permet de catégoriser l'aptitude d'un terrain à laisser écouler plus ou moins facilement et rapidement l'eau gravitaire qu'il contient, et cela de façon naturelle [14]. Cette densité de drainage est générée par l'outil « Spatial Analyst Tools » de ArcGis et reclassifiés. La figure 2 suivante décrit le diagramme de méthode appliquée aux aléas.

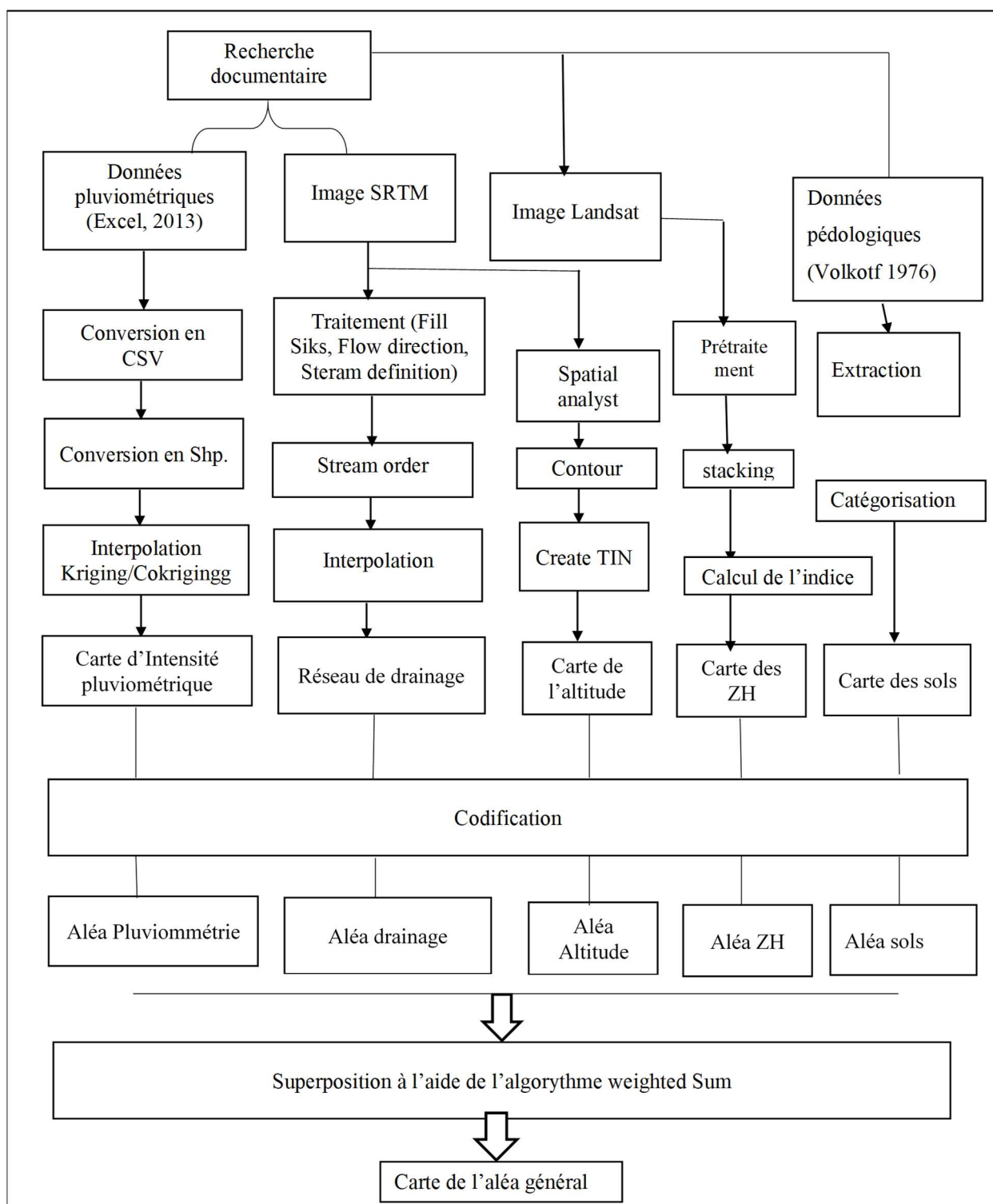


Figure 2 : Diagramme méthodologique de l'aléa.

2.2.4 Cartographie de la vulnérabilité à l'inondation

Les variables nécessaires à la cartographie de la vulnérabilité à l'inondation sont entre autres la densité de drainage, le réseau hydrographique, la géologie, la topographie, le drainage souterrain, la pente et la perméabilité induite suivant le type de sol, etc.[15]. Seules les données sur le réseau hydrographique, la densité de drainage, la géologie, la pente et la pédologie sont considérées dans ce travail en raison du manque de données sur les autres paramètres. Ainsi, sur la base de ces données et celles collectées sur les événements passés dans le secteur d'étude et validées sur le terrain, des buffers ont été réalisés autour des fleuves Mono, Couffo et leurs affluents. Les données pédologiques, topographiques, la carte de densité de drainage a été combinées avec celles géologique, de perméabilité et des pentes pour donner la carte de vulnérabilité physique à l'inondation. La figure 3 ci-dessous résume le processus de cartographie de la vulnérabilité à l'inondation.

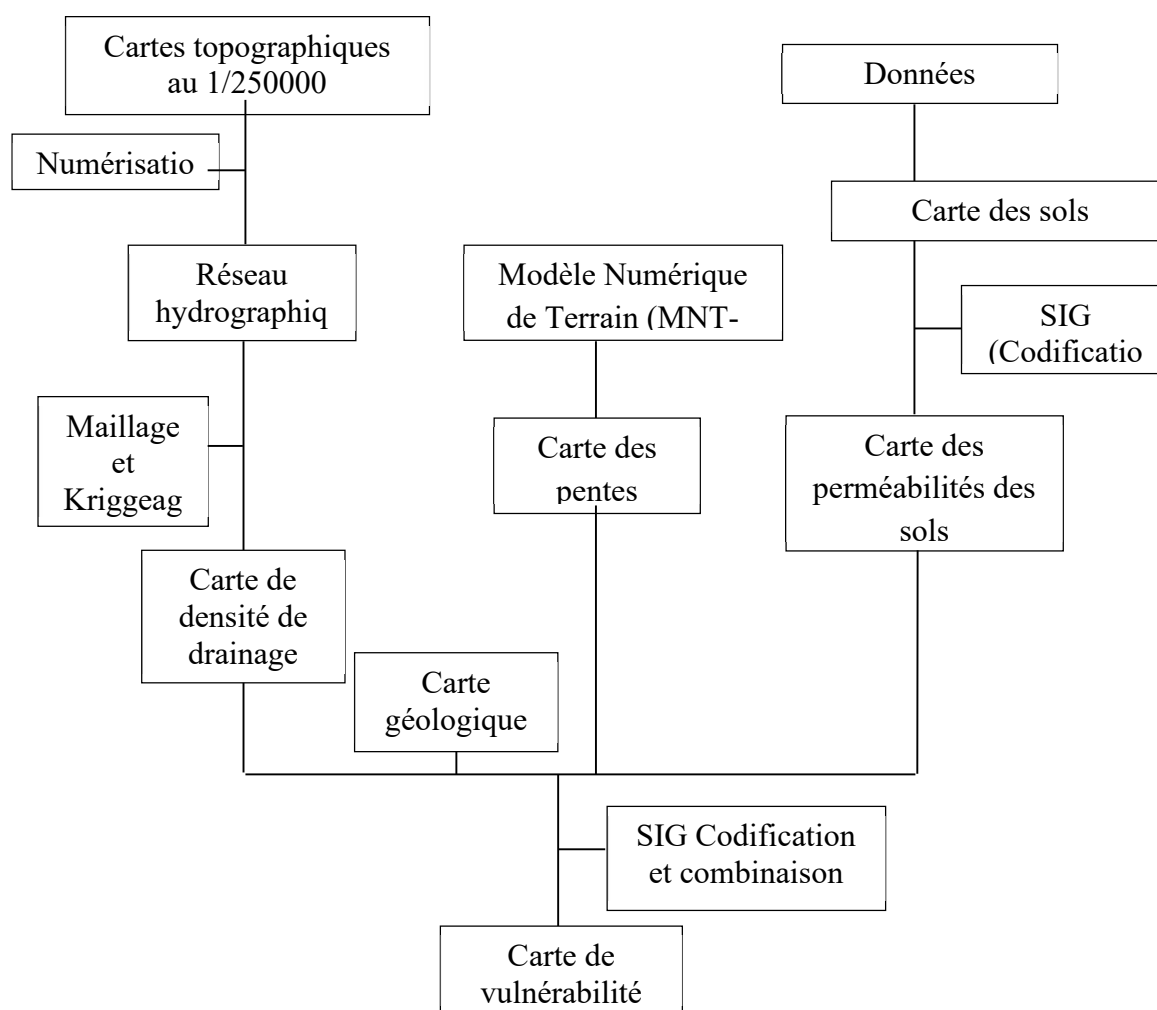


Figure 3 : Méthode d'élaboration de la carte de vulnérabilité à l'inondation.

Source : Adaptée de [16] et complété par Bessan, 2020.

La fusion des couches hydrographiques, de la topographie, de la pédologie et des buffers a permis de définir la grille de la vulnérabilité à l'inondation présentée dans le tableau 2.

Tableau 2 : Grille de vulnérabilité physique à l'inondation

Niveau de vulnérabilité	Critères
Fort	Présence d'un cours d'eau, plaine inondable et de forte dépression (pente < 5 %) et sol hydromorphe et imperméabilité réduite avec des maisons
Moyen	Présence d'un cours d'eau, zone de dépression près de la plaine inondable et sol hydromorphe avec zone d'altitude et pente moyenne
Faible	Absence de cours d'eau important, zone très peu dépressionnaire, parfois les plateaux avec des pentes et altitudes moyennement élevées.

Source : Adapté de [17] et complété par Bessan, 2020

2.2.5 Cartographie des zones à risque d'inondation

La carte des zones à risques d'inondation est obtenue par le croisement dans un SIG, de la carte de vulnérabilité et de celle de l'aléa à l'inondation car, par définition, risque = aléa x vulnérabilité [18]. Ainsi, ces deux cartes préalablement codées, ont permis de générer les niveaux de risques présentés par le tableau 3.

Tableau 3 : Grille d'appréciation du niveau de risque d'inondation

Niveau de risque	Critères
Élevé	Aléa élevé x Vulnérabilité modéré, élevé et très élevé Aléa modéré x Vulnérabilité très élevé Aléa faible x Vulnérabilité très élevé
Moyen	Aléa faible et moyen x Vulnérabilité modéré et élevé
Faible	Aléa faible, moyen et élevé x Vulnérabilité faible et très faible

Source : Adapté de [17] et complété par Bessan, 2023

III. RESULTATS

3.1 Aléas liés au relief

Les différentes altitudes du milieu d'étude ont permis d'identifier l'aléa relief lié aux risques d'inondation dans ce secteur. La figure 4 illustre cet aléa.

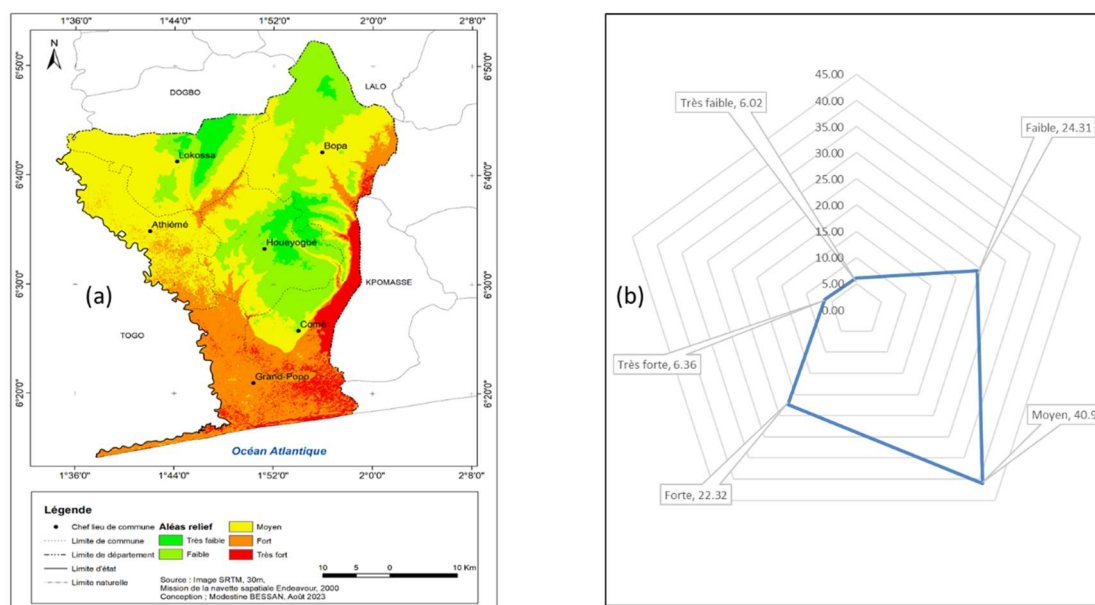


Figure 4: Carte montrant la distribution (a) de l'aléa lié au relief et (b) la proportion de contribution aux inondations.

La carte d'aléa liée au relief montre une prédominance des sensibilités moyennes et faibles. Par ailleurs, ces sensibilités représentent les zones de dépressions ou les zones plus basses. Par la suite vient la sensibilité forte qui occupe moins de superficies (figure 4-a). La figure 4-b montre les proportions occupées par les sensibilités de l'aléa liées au relief dans le département du Mono. Les proportions du territoire impactées par les différentes sensibilités pour cet aléa se présentent comme suit : 40,99 % pour la sensibilité moyenne 24,31 % pour la sensibilité faible et 22,32 % pour la sensibilité forte. Les aléas très fortes et très faibles occupent respectivement 6,36 % et 6,02 %.

3.2 Aléas liés à la densité de drainage

Les données issues de la densité de drainage du département de Mono ont permis d'identifier les différentes sensibilités de l'aléa lié à ce facteur (figure 5).

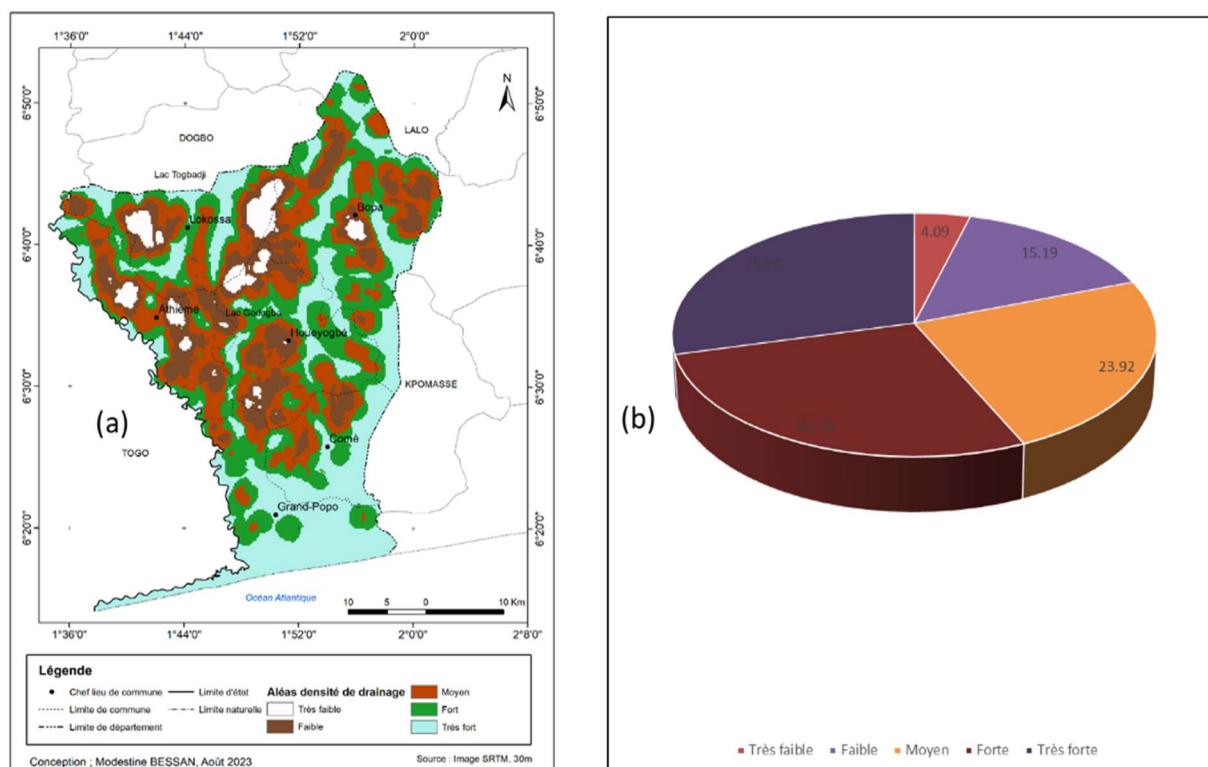


Figure 5 : Carte montrant la distribution (a) de l'aléa lié au drainage et (b) la proportion de contribution aux inondations.

La carte d'aléa liée à la densité de drainage montre une prédominance des sensibilités fortes, moyennes et très forte (figure 5-a). Figure 5-b : Proposition des sensibilités de densité de drainage Les sensibilités fortes (forte et très fortes) occupent 31,79 % du territoire du Mono. La sensibilité moyenne occupe 23,92 % et la sensibilité faible (faible et très faible) occupe 44,29 %.

3.3 Aléas liés à la précipitation

Le facteur principale source de l'inondation est lié aux précipitations. Dans le mono, elle n'impacte tout le territoire de la même façon (figure 6-a).

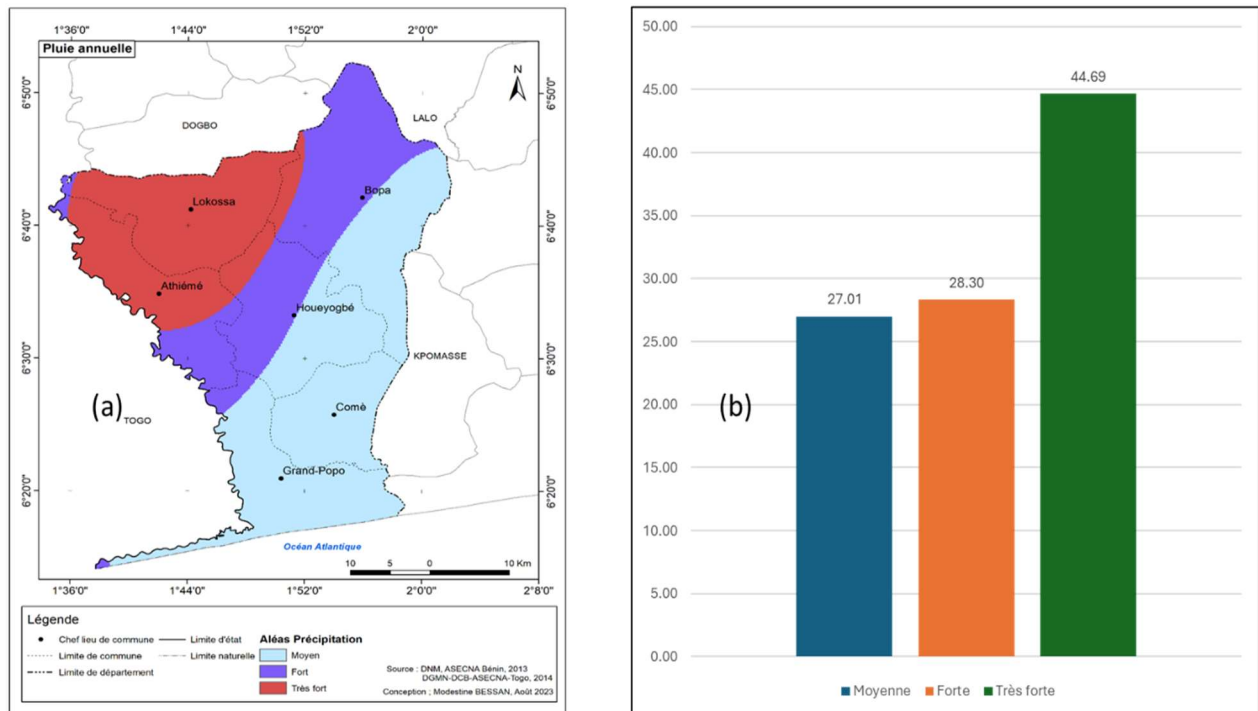


Figure 6 : Aléa lié à la précipitation et (b) diagramme en bande montrant les proportions de contribution aux inondations.

Trois niveaux de sensibilités sont rencontrés sur le territoire. Il s'agit des sensibilités moyennes, fortes et très fortes. La Figure 6-b présente les sensibilités. Le département du Mono est très bien arrosé. La sensibilité forte (forte et très forte) occupe 72,99 % de son territoire. Plus de la moitié du territoire sont donc susceptibles d'enregistrer des cas d'inondation dues aux fortes pluies.

3.4 Aléas liés à l'indice d'humidité du sol

Les données issues de l'indice de l'humidité du sol du département de Mono ont permis d'identifier l'aléa lié à ce facteur (figure 7). La carte d'aléa liée à l'indice de l'humidité des sols montre une petite partie du territoire occupant les sensibilités fortes figure 7-b). La sensibilité faible occupe plus de la moitié du territoire (68,36 %). La sensibilité moyenne occupe 27,55 % et la sensibilité forte occupe 4,09 %. Les zones les plus humides sont situées au sud du département.

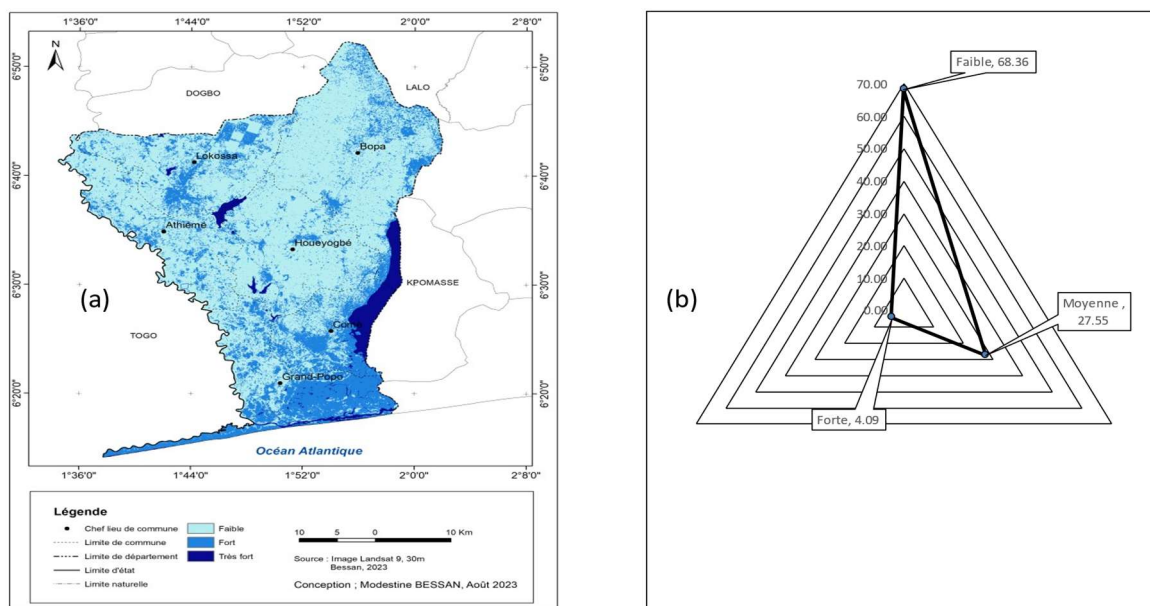


Figure 7 : Aléa lié à l'humidité des sols

3.5 Aléas liés au type de sol

La figure 8 présente la carte de l'aléa lié au type de sol dans le secteur d'étude.

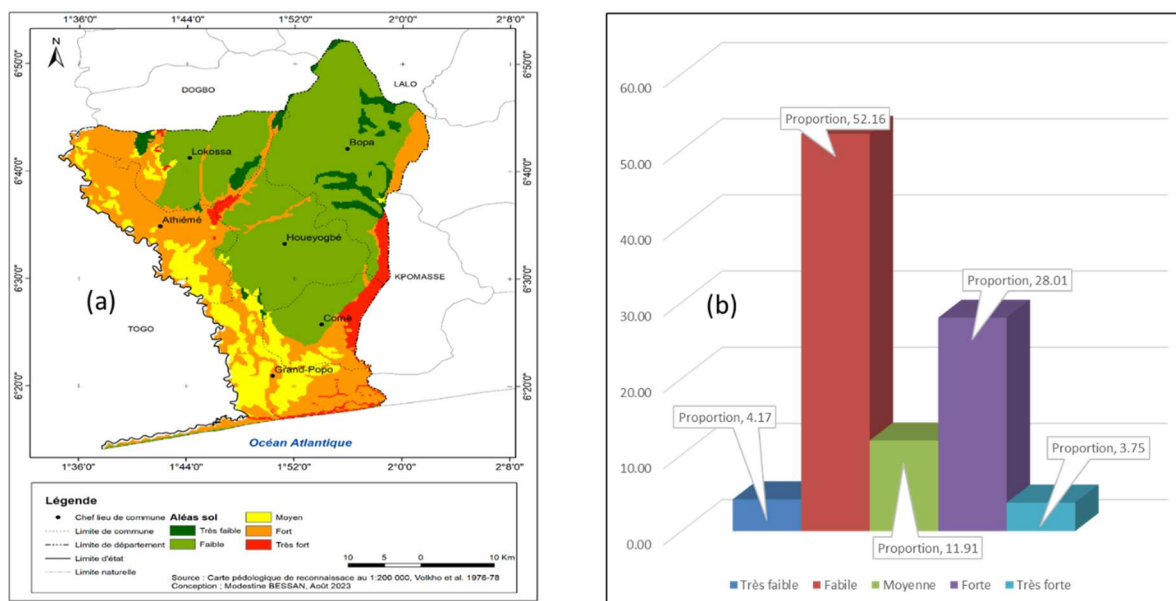


Figure 8 : L'aléa lié aux types de sols

D'après la figure 8-a, on distingue trois (5) types de sensibilités, à savoir la sensibilité très faible, la sensibilité faible, la sensibilité moyenne, la sensibilité forte et la sensibilité très forte. Les superficies occupées par chaque sensibilité se présentent comme suit (figure 8-b). L'analyse de la figure 5.13 montre la répartition des sensibilités liées aux types de sols avec une sensibilité faible

(très faible et faible) occupant plus de la moitié du territoire (56,33 %). La sensibilité moyenne occupe 11,91 % du territoire et la sensibilité forte (forte et très forte) occupe 31,76 %. Près du tiers de la superficie totale du département dispose de sol favorisant l'inondation.

3.6 Répartition de l'aléa à l'inondation dans le département du Mono

Les aléas pris individuellement ont permis de réaliser la carte synthèse des aléas liés à l'inondation dans le secteur d'étude (figure 9-a).

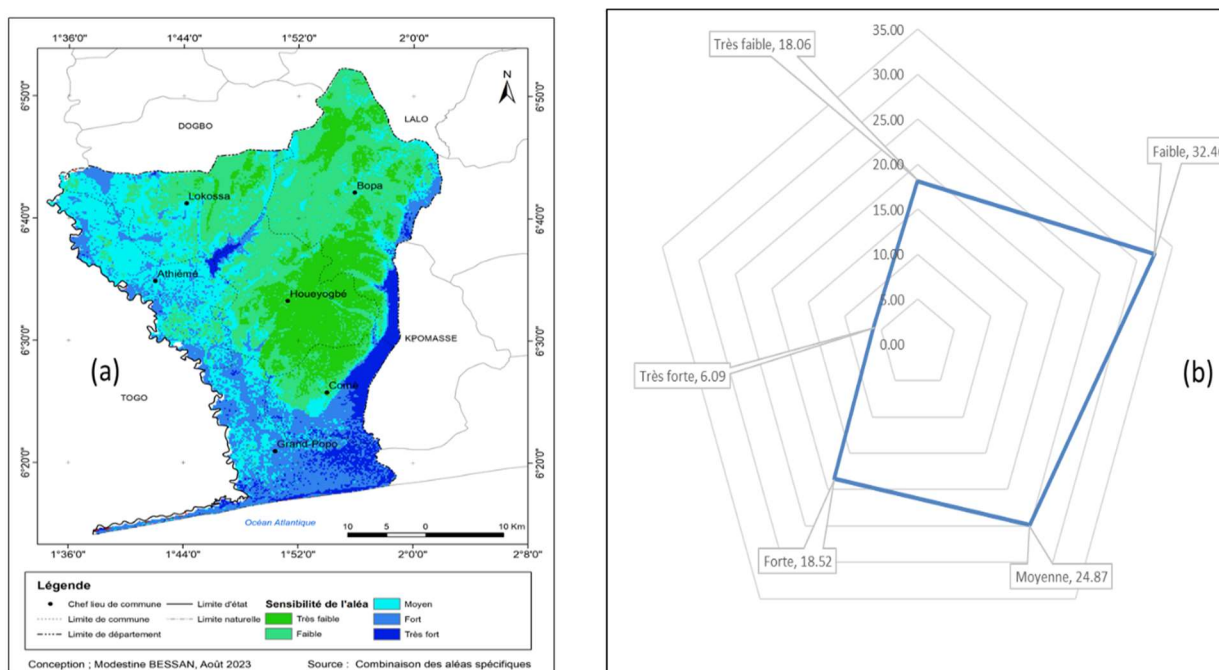


Figure 9 : carte de la synthèse des aléas liés aux inondations dans le Mono

La figure 6-b présente la répartition des aléas selon cinq niveaux de sensibilité, à savoir très faible, faible, moyenne, forte et très forte. Les proportions du territoire occupées par chaque type sensibilité sont présentées par la figure 6a. Les différentes sensibilités à l'aléa à l'inondation dans le Mono occupent les proportions suivantes :

- La sensibilité très forte, 6,09 % du territoire du Mono.
- La sensibilité forte, 18,52 % du territoire du Mono.
- La sensibilité moyenne, 24,87 % du territoire du Mono
- La sensibilité faible, 32,46 % du territoire du secteur d'étude
- La sensibilité très faible, 18,06 % du territoire du Mono.

IV. DISCUSSIONS

La cartographie des zones vulnérables aux inondations dans le département du Mono a permis d'identifier que les zones à risque élevé d'inondation occupent 31% du milieu d'étude et sont localisés le long des cours et plans d'eau avec une activité humaine développée (zones essentiellement agricoles avec de nombreuses agglomérations groupées et précaires), tandis que les zones à risque modéré d'inondation occupent 48.32 % du territoire du Mono et sont réparties sur l'ensemble du secteur d'étude surtout dans les milieux à pentes moyennes, non loin des lits majeurs des cours d'eau. Enfin, les zones à faible risque d'inondation occupent

20.67% du territoire et concernent les milieux à pentes moyennes à élever, où on note une faible présence de cours d'eau, il s'agit des plateaux avec très peu d'activités agricoles et des maisons relativement en dur (mélange sol-ciment). [19] dans le cadre d'une étude des facteurs du milieu mis à contribution dans le processus d'inondation de la zone de Maga et ses environs au Cameroun ont démontré que les conditions naturelles de ce milieu sont très favorables au processus d'inondation et aussi l'évolution des paysages associée au changement d'usage des sols a des incidences directes sur la genèse des inondations. Ce qui a conduit ces auteurs à ensuite utilisé la télédétection et les SIG pour cartographier les zones à risque s'inondation. Ainsi, ils ont trouvé que 32,31% de la superficie totale de Maga et ses environs sont soumis à un risque fort d'inondation et ces zones correspondent aux territoires à démographie galopante et à exploitation intensive des terres. Alors que 19,75% du territoire de Manga sont sujets à un risque moyen d'inondation et 47,94% à un risque faible (Zones où les cours d'eau ont une influence moindre sur les activités)[19]. Les résultats de ces travaux réalisés en Afrique centrale (Cameroun) sont en très bonne concordance avec les résultats de la présente étude malgré la différence dans le secteur d'étude (Afrique centrale : climat de type sahélo-soudanien et Afrique de l'Ouest : climat de type subéquatorial). Cette grande similitude des résultats est sûrement liée aux méthodologies utilisées qui sont quasiment semblables.

[20] arrivent à des conclusions semblables lorsqu'ils réalisent une étude sur la cartographie des zones à risque d'inondation dans la région Tanger-Tétouan au sein du bassin versant de Martil, au nord du Maroc. Les résultats de ces auteurs ont révélé que 14% de la superficie totale du périmètre urbain de la région de Tanger-Tétouan ont une faible vulnérabilité aux inondations, alors que 51,8 % de cette superficie ont une vulnérabilité moyenne aux inondations et les 34,2 % restants de la superficie totale du périmètre urbain ont la plus forte vulnérabilité aux inondations. Ces résultats s'alignent dans le même ordre que ceux de la présente étude, à la différence, que les travaux de cartographie de risque d'inondation de [20] ont consisté à évaluer l'ampleur des inondations à l'échelle exclusive du périmètre urbain des deux villes Tétouan et Martil situées entre l'océan Atlantique et la mer méditerranée. Ce qui explique selon les auteurs que la vulnérabilité aux inondations est de plus en plus ressentie avec une urbanisation galopante qui n'a cessé de croître sur l'ensemble des deux villes. Alors que dans la présente étude, la cartographie des zones à risques d'inondation a pris en compte de façon globale, les zones urbaines, périurbaines et rurales du département du Mono.

V. CONCLUSION

On retient globalement que ces différents travaux, y compris la présente thèse, dans leur similitude et diversité ont pour point commun la mise à disposition d'outils de gestion rationnelle des territoires pour une bonne prévention des inondations, car, de façon générale :

- Les zones à risques faible concernent les secteurs pour lesquels l'occupation humaine usuelle et permanente est conseillable ;
- Les zones à risques modéré d'inondation regroupent les territoires où l'installation des hommes et de leurs activités permanentes restent possible, mais avec des précautions spécifiques à prendre en compte et respectées ;
- Les zones à risques élevé d'inondation sont les milieux dans lesquels l'occupation humaines de façon permanente est fortement déconseillée sauf, en cas de prise de précautions exceptionnelles

CONFLIT D'INTERET

Les auteurs déclarent qu'il n'y pas de conflit d'intérêt

REFERENCES

- [1] ABP, Montée des eaux dans les fleuves Ouémé, Mono et Couffo au Bénin : plusieurs communes déjà sous l'eau, French.Xinhuanet (2018). https://french.xinhuanet.com/afrique/2019-10/18/c_138483604.htm (accessed October 3, 2024).
- [2] S. Houssou-Goé, Agriculture et changements climatiques au Bénin : risques climatiques, vulnérabilité et stratégies d'adaptation des populations rurales du département du Couffou. Thèse pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, Université Abomey-Calavi, Bénin, 2008.
- [3] J. Sènahoun, Risques, pratiques anti-risques et attitudes des paysans face aux risques sur le plateau ADJA. Mémoire pour

l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome FSA, UAC, 1994.

- [4] A. V, Civilisation et agriculture paysanne en pays Adja dans le Mono (Bénin) : Rites, Production, réduction des risques et gestion de l'incertitude. Thèse de Doctorat. 398 p. Agence Nationale de Protection Civile, 2020. Inondations en 2019 au Bénin ; Rapport de, 1991.
- [5] D.S.M. Agossou, C.R. Tossou, V.P.V.K.E. Agbossou, PERCEPTION DES PERTURBATIONS CLIMATIQUES , SAVOIRS LOCAUX ET STRATÉGIES D ' ADAPTATION DES PRODUCTEURS AGRICOLES BÉNINOIS Les catastrophes engendrées par les phénomènes de changements et perturbations climatiques ont de lourdes influences sur l ' agricult, 20 (2012) 565–588.
- [6] INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE ET DE L'ANALYSE ÉCONOMIQUE(INSAE), Cahier des villages et quartiers de ville du departement de Mono (RGPH-4, 2013), 2016.
- [7] M. EL GHACHI, R. BISSOUR, F.-A. MORCHID, Y. EL KHALKI, Caractérisation et cartographie des zones à risque d'inondations dans la ville de Khénifra (Moyen Atlas occidental, Maroc), in: Lab. « Dynamiques Des Paysages, Risques Patrim. », Fac. Des Lettres Des Sci. Hum. Univ. Sultan Moulay Slimane Béni Mellal, Maroc, 2018: pp. 62–71.
- [8] M. Youn Ta, A.C. Njeugeut Mbiafeuf, J.-R. Kamenan Satti, T.V. Assoma, J.P. Jourda, Cartographie Automatique des Zones Inondées et Evaluation des Dommages dans le District d'Abidjan depuis Google Earth Engine, Eur. Sci. Journal, ESJ 19 (2023) 54. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n32p54>.
- [9] A.H. Ngoniri, A.O. Ntouda, F.T. Seukep, J.C.A. Bekono, C.L. Lissouck, O. Leumbe, B.K. Pagna, Flood risk mapping in the urban center of Meiganga (Adamawa, Cameroon), Bull. l'Institut Sci. Sect. Sci. La Terre (2024) 173–185.
- [10] E.W. Vissin, Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger., Université de Bourgogne, France, 2007.
- [11] L. Bigot, S. Canovas, J. Denis, L. Cotier, A. Languedoc-Roussillon, L. Athamantes, Y. Hbnocque, E. Dutrieux, S. Canovas, J. Denis, Y. Henocque, J. Quod, Guidelines for Vulnerability Mapping of Coastal Zone in The Indian Ocean, 2000.
- [12] K.J. Beven, M.J. Kirkby, A physically based, variable contributing area model of basin hydrology, Hydrol. Sci. Bull. 24 (1979) 43–69. <https://doi.org/10.1080/02626667909491834>.
- [13] S.A. Sader, D. Ahl, W.S. Liou, Accuracy of landsat-TM and GIS rule-based methods for forest wetland classification in Maine, Remote Sens. Environ. 53 (1995) 133–144. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(95\)00085-F](https://doi.org/10.1016/0034-4257(95)00085-F).
- [14] S. Boukrim, A. Lahrach, A. Midaoui, F. Benjelloun, M. Benabdelhadi, H. Lahrach, A.-A. Chaouni, Cartographie De L'erosion Qualitative Des Sols Du Bassin Versant De L'aoudour (Rif-Maroc), Eur. Sci. Journal, ESJ 12 (2016) 295. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n11p295>.
- [15] S. WADE, J.P. RUDANT, K. BA, B. NDOYE, Télédétection Et Gestion Des Catastrophes Naturelles : Applications Télédétection Et Gestion Des Catastrophes Naturelles : Applications À L ' Étude Des, Rev. Télédétection 8 (2008) 203–210.
- [16] A. Aït Sliman, A. Fekri, N. Laftouhi, K. Taj-Eddine, A GIS based drastic model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Berrechid area, Morocco, Geogr. Tech. (2009) 81–93.
- [17] J.B. Henry, Systèmes d'information spatiaux pour la gestion du risque d'inondation de plaine., Université de Strasbourg I, France, 2004.
- [18] R.D. Ngongang, L.A.D. Tchotchou, B.E. Ossombo, B.B.S. Wandjie, A. Lenouo, Analyse météorologique de l ' évolution temporelle, Meteorologie 113 (2021) 47–55.
- [19] O.L. Leumbe, D. Bitom, L. Mamdem, D. Tiki, A. Ibrahim, Cartographie des zones à risques d'inondation en zone soudano-

sahélienne : cas de Maga et ses environs dans la région de l'extrême-nord Cameroun, Afrique Sci. Rev. Int. Des Sci. Technol. 11 (2015) 45–61.

- [20] M. Karrouchi, M.O. Touhami, M. Oujidi, M. Chourak, Cartographie des zones à risque d'inondation dans la région Tanger-Tétouan: Cas du bassin versant de Martil (Nord du Maroc) [Mapping of flooding risk areas in the Tangier-Tetouan region: Case of Martil Watershed (Northern Morocco)], Int. J. Innov. Appl. Stud. 14 (2016) 1019–1035. <http://www.ijias.issr-journals.org/>.