

Cartographie du risque d'inondation dans le centre urbain de Meiganga (Adamaoua, Cameroun)

Flood risk mapping in the urban center of Meiganga (Adamawa, Cameroon)

Alexis HAMDJA NGONIRI^{1*}, Alex ONANA NTOUDA¹, Fortune TCHIENGANG SEUKEP², Judith CYNTHIA AKAMBA BEKONO¹, Catherine LAURE LISSOUCK³, Olivier LEUMBE¹ & Bertin KAGONBE PAGNA⁴

1. Laboratoire de Recherche sur les Risques Naturels, Institut National de Cartographie, BP : 157, Yaoundé, Cameroun *(hamdjaalexis@yahoo.fr).
2. Département de Cartographie Géologique et Géomatique, Ecole de Géologie et d'Exploitation Minière, BP : 115, Meiganga, Cameroun.
3. Laboratoire de Traitement d'images pour la Stéréo-restitution, Institut National de Cartographie, BP : 157, Yaoundé, Cameroun.
4. Mission pour la Promotion des Matériaux Locaux, BP : 2396, Yaoundé, Cameroun.

Résumé. Les risques d'inondation affectent différents pays et suscitent plusieurs inquiétudes à l'échelle internationale et nationale. Au Cameroun, les inondations évoluent au fil des années car l'on enregistre de nouvelles localités (ou quartiers) qui autrefois étaient épargnées mais qui sont désormais en proie à ce phénomène. Ainsi, la ville de Meiganga connaît, depuis deux ans, des épisodes d'inondations avec des dégâts plus ou moins importants. Les effets des épisodes d'inondations sont multiples du fait des pluies diluviennes, de l'urbanisation accélérée et de l'occupation anarchique des quartiers situés dans les zones à risque. Cette étude soulève les problèmes liés à l'aménagement urbain avec l'occupation anarchique de l'espace et propose de faire une cartographie des zones à risque d'inondations dans le but d'évaluer les enjeux exposés à ces zones. La méthodologie de cette étude repose sur plusieurs méthodes à savoir : l'analyse multicritère (Processus d'Analyse Hiérarchique AHP) à l'aide de l'outil d'attribution de poids de Saaty utilisée pour l'aléa ; l'équation non mathématique Risque = Aléa x Vulnérabilité pour la classification du risque d'inondation, la télédétection à partir des images Landsat 8, des images Google Earth et des cartes topographiques pour évaluer la vulnérabilité, les questionnaires en guise de compléments d'informations sur les causes, la fréquence et les conséquences des inondations, enfin les levés GPS de toutes les infrastructures de la ville ainsi que des points preuves d'inondation. Le traitement des données montre que la carte du risque obtenue a été classifiée en trois catégories à savoir faible, moyen et fort. A chaque catégorie correspondent les superficies suivantes : 7,3 km², 1,79 km² et 0,54 km². Les quartiers les plus à risque sont : Gbakoungué, Ngassiri, Sabongari et Zandaba 1. Dans le centre ville de Meiganga, les principaux enjeux exposés sont : une école primaire, deux puits traditionnels, un forage, 906 maisons et 1,83 km² de zone agricole.

Mots clés : Cartographie, Risque, Inondation, Analyse multicritère, Meiganga, Cameroun

Abstract. Flood risks affect different countries and create different problems at international and national levels. Flooding in Cameroon has become increasingly common over the years, with new towns (or regions) that were previously spared, but are now falling victim to this phenomenon. For example, Meiganga has experienced varying degrees of flooding over the past two years. The impacts of these floods are manifold: heavy rainfall, accelerated urbanization, and anarchic occupation of communities in risk areas. This study raises the issue of anarchic occupation of space in urban development and recommends mapping of flood risk areas to assess assets exposed to these areas. The method is based on several methods, namely multi-criteria analysis (Analytic Hierarchy Process AHP) using the Saaty hazard weighting tool; the non-mathematical equation "Risk = Hazard x Vulnerability" for flood risk classification, remote sensing of Landsat 8 images, the OpenStreetMap database of Cameroon and topographic maps to assess vulnerability, questionnaires as additional information on causes, frequency and consequences of flooding and GPS surveys of urban infrastructure and flood detection points in all areas. Data processing showed that the resulting risk map was classified into three categories, namely low, medium and high. The areas for each category are as follows: 7.3 km², 1.79 km² and 0.54 km². The most vulnerable communities are Gbakoungué, Ngassiri, Sabongari and Zandaba 1. In central Meiganga, the main issues are: a primary school, two traditional wells, one borehole, 906 houses and 1.83 km² of farmland.

Keywords: Mapping, Risk, Flood, Multi-criteria analysis, Meiganga, Cameroon.

Abridged English version

Among all natural hazards in Cameroon, floods are the most recurrent and disastrous (Zogning 2017, Paprotny *et al.* 2018). For the last decades, they have occurred in large metropolises such as Yaounde, Douala, Maroua, Garoua (Nankap Djangue *et al.* 2020, Adama Amaya *et al.* 2021, Nguendo Yongsi 2021, Onana Ntouda *et al.* 2022), etc. However, in the last few years and more recently, some towns faced their first floods. This is the case with Meiganga. Center. This town is characterized by a fast and uncontrolled growth, exposing people to flooding

risks. It's grown from approximately 11.565 dwellings in 2011 to 27.221 in 2020. This urbanization was increased with the arrival of students from the School of Geology and Mining Engineering as well as the massive immigration of Central African refugees following the socio-political crisis in the Central African Republic (Lissouck & Hamdja Ngoniri 2020). To anticipate the management of likely flooding in Meiganga, this article aims to map the flooding hazard areas and to assess the stakes exposed to these areas.

To achieve this, a documentary review provided a history of past flooding as well as the dynamic development of

Meiganga urban center. The fieldwork gives us, on the one hand, the reasons why people choose to live in those flood-prone areas. On the other hand, the socio-economic equipment of the city as well as the flooding proof were surveyed with a GPS. The laboratory work consisted of extracting topographical features from the digital terrain model. These features were then weighted according to the Saaty scale to obtain the hazard map. The land use was done using Landsat 8 images, topographic maps of Meiganga and Cameroon OpenStreetMap database. The vulnerability is deduced from the land use map and represents the total damage that affects humans in their physical integrity or in relation to their goods. The risk map is obtained by the non-mathematical equation $Risk = Hazard \times Vulnerability$.

The results obtained are the hazard map, the land use and vulnerability map, the map of flood risk areas and the exposed stakes. Concerning the hazard map, two hazard areas were identified, namely the floodable and flooded zones with 6.67 km² and 2.96 km², respectively. According to Onana Ntouda *et al.* (2022), the floodable area is defined as an area that is usually dry, but which can become submerged in the event of heavy rainfall. On the other hand, these same authors define the flooded zone as an area that is always immersed, except in case of a long dry season. These results show that the neighbourhoods near the waterbodies are highly exposed: Gbakoungué, Ngassiri, Sabongari, Yjoro, Dan Haoussa, Zandaba 1, Zandaba 2, etc. The validation of these results was made with 15 points collected in some neighbourhoods of the city of Meiganga. The vulnerability map shows the exposed buildings, agricultural areas and infrastructures. The map of

flood risks shows three levels: low, medium, and high, with respective areas of 7.3 km², 1.79 km² and 0.54 km². According to this risk scale, the districts most affected by flooding are: Gbakoungué, Ngassiri, Sabongari et Zandaba 1. About four infrastructures (among 3%), are located in these risk areas. These include a primary school, two traditional wells and a borehole. In addition to these infrastructures, there is 1.83 km² of agricultural area to be added.

Several authors (Fogwe & Lambi 2001, Bahoken & Akoa 2003, Wade *et al.* 2009, Zogning Moffo 2015, 2017) have shown that in addition to rainfall, other factors increase flood risks in cities. Several studies such as Sene & Ozer (2002), Hangnon *et al.* (2015), Sidi Cheikh (2015), Zogning Moffo (2017), Amanejieu (2018), Nguendo Yongsi (2021) present poorly controlled urbanization, as well as urban expansion due to galloping demography and environmental degradation as factors that amplify flooding in several African cities: Douala, Yaounde-Cameroon, Ouagadougou-Burkina Fasso, Bangui-RCA, Dakar-Senegal, Nouakchott-Mauritania, etc. Based on the effects of flooding in other cities, the municipal authorities of Meiganga would benefit from anticipating possible disasters. We therefore, suggest people to avoid flood-prone areas when building, and this should be done by drawing up and updating the Land Use Plan for the city in aim to highlight the risk areas. Seeing the over population, we suggest that an effective waste management system be put in place in the neighbourhoods to reduce the obstruction of watercourses. People who live in "at-risk areas" should be relocated.

INTRODUCTION

Dans le monde, les changements climatiques constituent la principale cause des catastrophes naturelles (Bertoni 2006, De Groeve *et al.* 2008, Zogning Moffo 2017, Paprotny *et al.* 2018). Les réchauffements climatiques augmentent la fréquence de ces catastrophes parmi lesquelles les risques d'inondation. L'Observatoire des Inondations de Dartmouth a enregistré environ 4536 cas d'inondations entre 1985 et 2017. D'après Kundzewicz *et al.* (2014), ces phénomènes sont amplifiés dans les villes par les activités humaines telles que l'urbanisation continue et non contrôlée (Golnaraghi *et al.* 2020, Jakob *et al.* 2015). Les effets du changement climatique sont particulièrement importants en Afrique subsaharienne. Au Cameroun, les inondations ont affecté environ 367 276 personnes entre 2007 et 2015 (CRED 2016) et sont enregistrées principalement dans les grandes métropoles urbaines, notamment Yaoundé (Zogning Moffo 2017, Jordan 2019, Tchekote *et al.* 2019, Onana Ntouda *et al.* 2022), Douala (Meva'a Abomo *et al.* 2015, Amanejieu 2018, Bruckmann *et al.* 2019, Ngongang *et al.* 2021, Nguendo Yongsi 2021), Maroua (Ndongo *et al.* 2015, Bouba *et al.* 2017, Adama Amaya *et al.* 2021), Garoua (Tchotsoua *et al.* 2007, Nankap Djangué *et al.* 2020), etc. ; et certaines villes en pleine expansion à l'instar de la ville de Meiganga. Le choix de cette ville est très caractéristique des effets néfastes des changements climatiques au Cameroun car historiquement, la première inondation observée dans la ville de Meiganga date de juillet 2021 et depuis 2022, deux épisodes d'inondations ont été enregistrés à intervalles de temps très réduit (avril 2022 et septembre 2022). La ville de Meiganga est caractérisée par une urbanisation rapide et incontrôlée exposant les populations aux risques d'inondation. Elle est passée d'environ 11 565 habitations en 2011, à 27 221 en 2020. Cette urbanisation

s'est accrue avec l'arrivée des étudiants de l'Ecole de Géologie et d'Exploitation Minière et les déplacements massifs des réfugiés centrafricains suite aux crises socio-politiques que connaît la République Centrafricaine (Lissouck & Hamdja Ngoniri 2020). Dès lors, l'extension de la ville vers les zones de basses altitudes potentiellement inondable s'est fortement accrue. Il est donc urgent de mettre en place des mécanismes de la lutte contre le risque d'inondation et d'attirer l'attention des décideurs sur les éventuelles conséquences. Les hypothèses de recherche sont nombreuses et l'une d'elles est la connaissance limitée des surfaces inondables. Pour y répondre, les Systèmes d'Information Géographique (SIG) peuvent être mis à contribution. Cette étude vise donc à travers la méthode d'attribution des poids de Saaty, de produire la carte de l'aléa inondation de la ville de Meiganga et faire une évaluation des enjeux exposés aux inondations.

PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

L'arrondissement de Meiganga est situé dans la région de l'Adamaoua, département du Mbéré et couvre une superficie de 7 000 km² (PCD 2013) pour une population de 88 745 habitants (Brucrep 3^{ème} RGPH 2005). Son climat est de type soudano-guinéen (Boutrais 1980) avec deux saisons inégalement réparties : une saison sèche, courte de quatre à cinq mois et une saison de pluies, longue de sept à huit mois. Les températures moyennes annuelles croissent en saison sèche (36°C) et décroissent en saison de pluies (20°C). L'arrondissement de Meiganga est formé d'une zone rurale et d'une zone urbaine. La zone urbaine de Meiganga sur laquelle est centrée cette étude occupe une superficie de 40 km² et est constitué de 19 quartiers (PCD 2013, Hamdja Ngoniri *et al.* 2018) où vivent 38 096 habitants (Brucrep 3^{ème} RGPH 2005). Il a un réseau hydrographique de type dendritique et parallèle,

constitué du Yoyo (cours d'eau principal) qui draine plusieurs affluents notamment, le Dzer Zongo, le Gbakoungué, le Zandaba et le Djounzami. Ces cours d'eaux servent de limites naturelles entre certains quartiers de la ville (Fig. 1).

Le centre urbain de Meiganga est situé à une altitude moyenne qui varie entre 1000 et 1200 mètres. Son relief, relativement contrasté, constitué de collines et d'interfluvés séparés par des larges vallées. La végétation est le reflet du climat. Elle est de type savane soudano-guinéenne composée des forêts galeries, savanes boisées, arborées, arbustives et herbeuses. Les principales activités pratiquées dans la ville de Meiganga sont l'agriculture périurbaine (patates douces, manioc, arachides, tomates, maïs, etc.), le commerce (produits manufacturés, viviers, etc.), le transport (mototaxis), l'élevage (bovins, caprins, volailles, etc.), etc.

MÉTHODOLOGIE

L'équation non mathématique (Eq. 1) : Risque = Alea x Vulnérabilité, a été mise à contribution pour la cartographie des zones à risque d'inondation dans la ville de Meiganga.

$$R = A \times V \text{ (Eq.1)}$$

La première étape a consisté en la recherche bibliographique et a permis d'avoir des informations sur les anciennes inondations survenues dans la ville, ainsi que la dynamique de développement du centre urbain de Meiganga.

Des travaux de terrain ont ensuite été menés. Ils ont consisté à administrer un questionnaire préalablement conçu. L'objectif de cette enquête était d'avoir l'opinion des populations sur la perception et la manifestation des inondations, et par la même occasion, comprendre leurs choix

de résider dans les zones inondables. Ce questionnaire a été mené auprès d'un échantillon de 200 ménages répartis de manière aléatoire dans les quartiers sinistrés en fonction de l'ampleur du phénomène. Les coordonnées GPS de toutes les infrastructures socio-économiques de la ville, ainsi que les points preuves des inondations ont enfin été levée à l'aide d'un GPS de navigation de marque Garmin de précision 5 m. Ces infrastructures ont préalablement été recensés auprès de la commune de Meiganga et des services déconcentrés de l'Etat.

L'extraction des données d'occupation du sol (habitation, routes, cours d'eau, zones agricoles, etc.) s'est faite à partir de la feuille NB_33_XV_3b, des images Landsat 8 et complétée par la base de données d'OpenStreetMap Cameroun disponible en ligne. Les éléments topographiques (altitude, distance verticale au chenal, distance euclidienne au cours d'eau, indice d'humidité topographique, pente) sont obtenus à partir du modèle numérique de terrain SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) qui a recueilli des données d'altitude à l'échelle mondiale grâce à un projet international dirigé par la « National Geospatial-Intelligence Agency » (NGA) et la « National Aeronautics and Space Administration » (NASA), sous les logiciels ArcGIS 10.3 et Saga GIS 7.2 (Fig. 2). Ces couches ont ensuite été pondérées suivant l'échelle d'importance de tâche de Saaty (1980) et croisées pour obtenir la carte d'aléa d'inondation. La vulnérabilité est déduite de la carte de l'occupation du sol et représente l'ensemble des dommages que peuvent subir l'homme dans son intégrité physique ou par rapport à ses biens.

Attribution des poids

La méthode d'aide à la décision multicritère AHP, bien qu'ancienne, est très utilisée et se présente de différentes

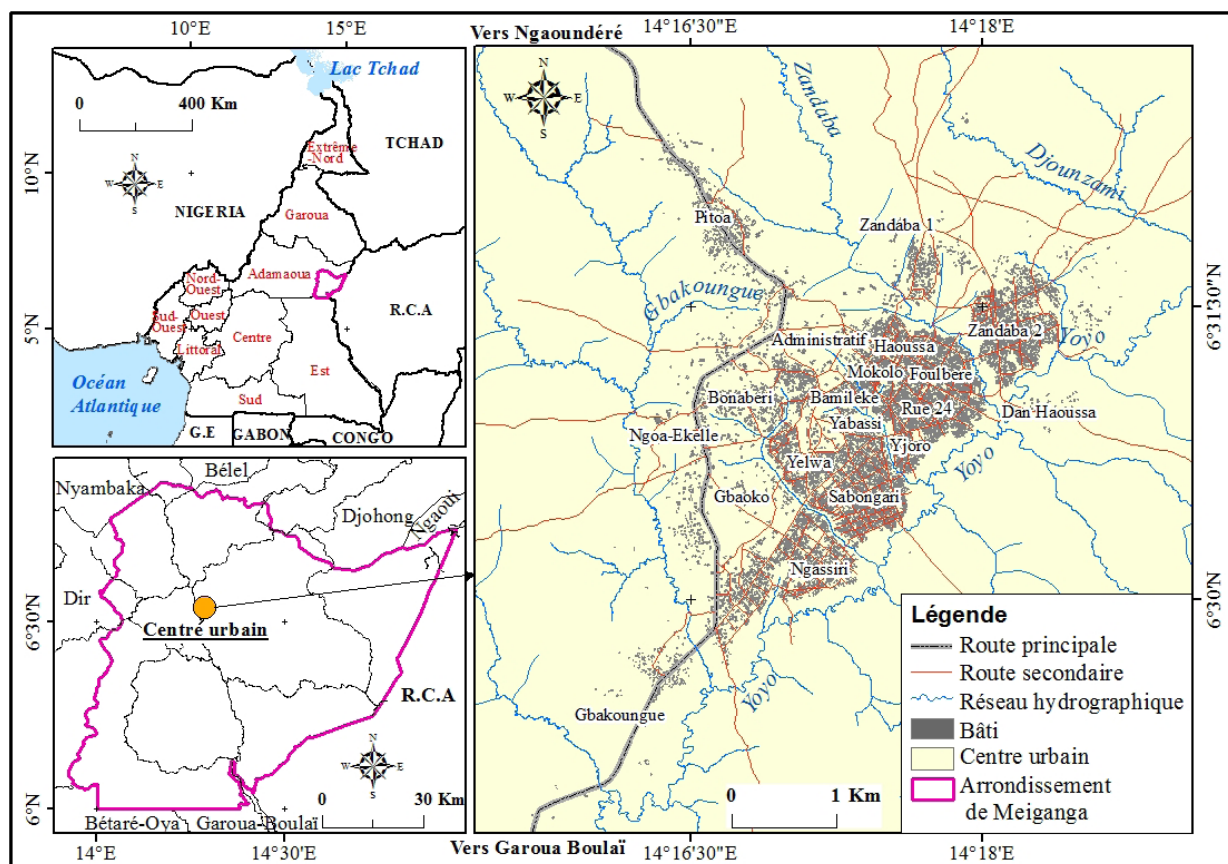


Figure 1. Localisation de la zone urbaine de Meiganga.
Figure 1. Location of the urban area of Meiganga.

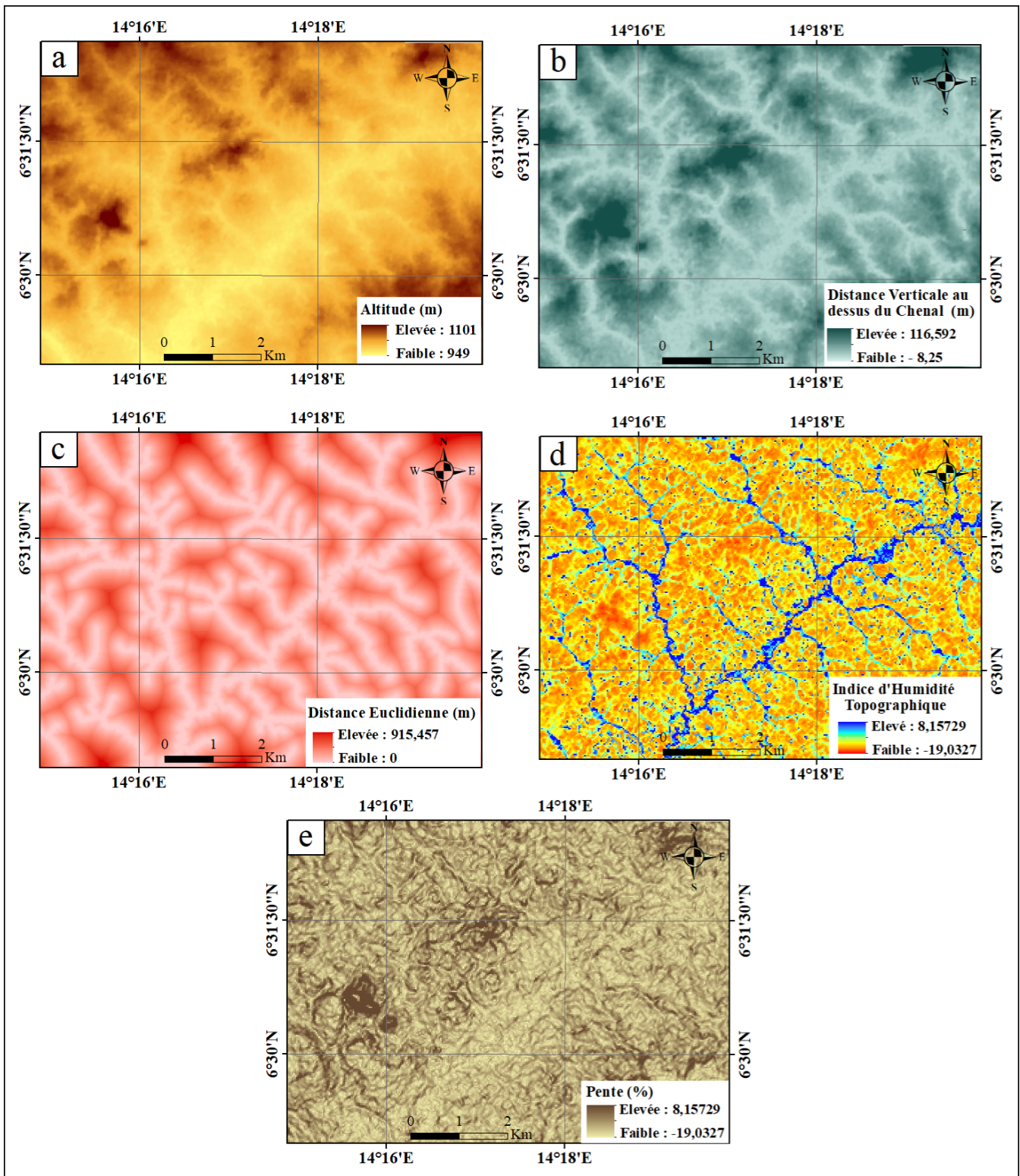


Figure 2. Paramètres de l'aléa. Fig.2a Altitude ; Fig.2b Distance verticale au-dessus du chenal ; Fig.2c Distance euclidienne ; Fig.2d Indice d'humidité topographique ; Fig.2e Pente.

Figure 2. Hazard parameters. Fig.2a Altitude; Fig.2b Vertical distance above the channel; Fig.2c Euclidean distance; Fig.2d Topographic humidity; Fig.2e Slope.

manières selon l'utilisateur (Tangmouo Tsoata *et al.* 2020, Nanfack 2021, Onana Ntouda *et al.* 2022). Dans le cadre de cette étude, il sera présenté la démarche méthodologique d'obtention des poids des couches entrant dans la génération de la couche de l'aléa inondation (Tableau 1).

La matrice de comparaison binaire est une attribution d'intensité préférentielle (Tab.2) de deux paramètres. Cette comparaison paire par paire de couche se voit attribuer une valeur associée montrant l'importance de la couche par rapport à l'autre sur l'aboutissement du phénomène (Tab. 3).

Les éléments de la matrice de jugement (Tab. 4) sont obtenus en divisant la valeur de chaque cellule par la somme des valeurs correspondant à la colonne de cette cellule (Tab. 3).

Enfin, pour obtenir les poids (Tab. 5), la somme par ligne obtenue du tableau 4 correspondant à chaque facteur a été divisée par la somme totale des lignes du dit tableau.

L'évaluation de la cohérence des jugements (Tab. 6) s'est effectuée en multipliant colonne par colonne la valeur associée de la matrice de comparaison binaire (Tab. 3) par le poids du facteur correspondant.

Ensuite, la cohérence a été calculée (Tab. 7) en divisant chaque somme des lignes du résultat de l'évaluation de la cohérence des jugements (Tab. 6) par le poids correspondant au facteur.

Enfin, nous devons déterminer :

$$Y_{max} = \frac{\sum \text{Cohérence}}{5} = 5,13004 \quad (\text{Eq.2})$$

$$IC = \frac{Y_{max-n}}{n-1} = 0,0325 \quad (\text{Eq.3})$$

$$RC = \frac{IC}{IA} = 0,029 \quad (\text{Eq.4})$$

Dans l'équation 2, représente la valeur propre max, et le chiffre 5 du dénominateur représente le nombre de critère. S'agissant des équations 3 et 4, n représente le nombre de facteurs ; IC représente l'Indice de Cohérence, IA représente l'Indice Aléatoire lié au nombre de facteurs (Tab. 8) et RC le Rapport de Cohérence.

0,029 < 0,1 donc la matrice est suffisamment cohérente.

RÉSULTATS

Cartographie de l'aléa inondation

La cartographie de l'aléa inondation obtenue dans le centre urbain de Meiganga, a été catégorisée en deux zones à savoir les zones inondable et inondée (Fig. 3). Ces zones couvrent respectivement 6,67 km² (16,67% de la surface totale) et 2,96 km² (7,4%). D'après les travaux d'Onana Ntouda *et al.* (2022), la zone inondable est définie comme une zone habituellement sèche mais qui peut être immergée en cas de fortes pluies. Par ailleurs, ces mêmes auteurs définissent la zone inondée comme une zone toujours immergée dans l'eau, exceptée en cas de grande et longue saison sèche. La validation de ces résultats a été faite à l'aide de 15 points preuves collectés dans quelques quartiers de la ville de Meiganga (Fig. 3).

Tableau 1. Echelle verbale.

Table 1. Verbal scale.

Expression	Valeur numérique	Explication
Importance égale	1	Les deux activités contribuent à l'objectif de façon équivalente
Importance modérée	3	L'expérience et le jugement favorisent une activité plutôt que l'autre
Importance forte	5	L'expérience et le jugement favorisent fortement une activité plutôt que l'autre
Importance très forte	7	Une activité est fortement favorisée et sa dominance est démontrée dans la pratique
Importance extrême ou absolue	9	L'évidence favorisant une activité plutôt que l'autre est du plus haut ordre d'affirmation possible
Degré d'importance intermédiaire	2 ; 4 ; 6 ; 8	Lorsqu'un compromis entre deux expressions est requis
Importance réciproque	1/2 ; 1/3 ; 1/4 ; 1/5 ; ... ; 1/9	La réciproque des 5 premiers degrés

Tableau 2. Échelle d'importance de tâche pondérée de Saaty.

Table 2. Saaty's weighted task importance scale.

Intensité de la préférence	Valeur associée
Importance égale des deux facteurs	1
Un facteur a une importance modérée comparativement à l'autre	3
Un facteur a une importance forte que l'autre	5
Un facteur a une importance très forte que l'autre	7
Un facteur a une importance absolue sur l'autre	9
On préfère un peu moins le premier facteur que le second	1/3
On préfère moins le premier facteur que le second	1/5
On préfère beaucoup le second facteur au premier	1/7
On préfère beaucoup moins le premier facteur au second	1/9

Tableau 3. Matrice de comparaison binaire.

Table 3. Binary comparison matrix.

	Pente	Altitude	Distance Euclidienne	Distance verticale	Indice d'humidité topographique
Pente	1	2	2	3	3
Altitude	1/2	1	2	2	3
Distance euclidienne	1/2	1/2	1	2	3
Distance verticale	1/3	1/2	1/2	1	2
Indice d'humidité topographique	1/3	1/3	1/3	1/2	1
Somme de colonne	2,6666	4,3333	5,8333	8,5	12

Tableau 4. Résultat de la matrice de jugement.

Table 4. Result of the judgment matrix.

	Pente	Altitude	Distance Euclidienne	Distance verticale	Indice d'humidité topographique	Somme de ligne
Pente	0,3750	0,4615	0,3429	0,3529	0,25	1,7823
Altitude	0,1875	0,2308	0,3429	0,2353	0,25	1,2465
Distance euclidienne	0,1875	0,1154	0,1714	0,2353	0,25	0,9596
Distance verticale	0,1250	0,1154	0,0857	0,1176	0,1666	0,6103
Indice d'humidité topographique	0,1250	0,0769	0,0571	0,0588	0,0833	0,4011
Somme des lignes						4,9998

Tableau 5. Résultats du poids des facteurs.

Table 5. Results of factor weights.

Facteur	Pente	Altitude	Distance euclidienne	Distance verticale	Indice d'humidité topographique
Poids	0,3565	0,2493	0,1919	0,1221	0,0802
Poids en %	35,65	24,93	19,19	12,21	8,02
	P1	P2	P3	P4	P5

Tableau 6. Résultats de l'évaluation cohérence des jugements.

Table 6. Results of the assessment consistency of judgments.

	Pente	Altitude	Distance Euclidienne	Distance verticale	Indice d'humidité topographique	Somme de ligne
Pente	0,3565	0,4986	0,3838	0,3663	0,2406	1,8458
Altitude	0,1783	0,2493	0,3838	0,2442	0,2406	1,2962
Distance euclidienne	0,1783	0,1246	0,1919	0,2442	0,2406	0,9796
Distance verticale	0,1188	0,1246	0,0959	0,1221	0,1604	0,6218
Indice d'humidité topographique	0,1188	0,0831	0,064	0,0610	0,0802	0,4071

Tableau 7. La cohérence.

Table 7. consistency.

Facteur	Pente	Altitude	Distance euclidienne	Distance verticale	Indice d'humidité topographique
Cohérence	5,1775	5,1994	5,1047	5,0925	5,0761

Tableau 8. Indice Aléatoire (Saaty 1980).

Table 8. Random index (Saaty 1980).

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IA	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

A l'observation de ces résultats, les quartiers situés à proximité des cours d'eau sont les plus exposés aux zones inondables et inondées : on peut citer entre autres Gbakoungué, Ngassiri, Sabongari, Yjoro, Dan Haoussa, Zandaba 1, Zandaba 2, etc.

Cartographie de l'occupation du sol et de la vulnérabilité

La carte de l'occupation du sol du centre urbain de Meiganga en 2020, est composée des bâtis, des sols nus, zones agricoles, savanes herbeuse et arborée (Fig. 4). S'agissant des bâtis, on en compte 27221 et couvre une superficie d'environ 4 km². Ils sont plus concentrés dans les quartiers situés à l'Est de la ville (Hamdja Ngoniri *et al.* 2018), aux abords du cours d'eau Yoyo (Ngassiri, Sabongari, Yjoro, Rue 24, Foulbéré, Zandaba 2). La zone agricole couvre une superficie d'environ 5 km² et se pratique principalement dans les marécages près du Yoyo. La zone agricole est caractérisée par la culture des légumineuses (arachides, haricot, etc.), des céréales (maïs, mil, etc.) et des féculents (manioc, patate, igname, macabo, etc.). On note également, la culture de la tomate, du concombre, du gombo et autres.

La savane herbeuse avec une superficie d'environ 7 km² sert de pâturage pour les bêtes (bœufs, moutons, chèvres, etc.). Elle couvre les portions Nord, Est et Sud de la ville. Quant à la savane arborée (3 km²), on la retrouve uniquement dans le secteur Ouest de Meiganga. Elle est souvent exploitée par les populations comme bois de chauffe. Les sols nus sont

observés au centre-ville, entre les bâtis et dans les zones de culture répartie sur une superficie d'environ environ 21 km².

Cartographie du risque d'inondation

D'après Wackermann (2004), le risque (R) désigne le croisement entre l'aléa (A) et la vulnérabilité (V) d'où la formule $R = A \times V$ (Eq.1). Dans le même sens, Wade *et al.* (2009) définissent le risque naturel comme étant la rencontre entre un aléa d'origine naturelle et des enjeux humains, économiques ou environnementaux. Dans le cadre de cette étude, l'aléa représente l'ensemble des conditions naturelles du milieu qui lorsqu'elles sont réunies, concourt au danger ; et la vulnérabilité est l'ensemble des dommages que peuvent subir l'homme dans son intégrité physique ou par rapport à ses biens. Ainsi, la carte des zones à risque d'inondation obtenue a été classifiée en trois zones à savoir les zones à risque d'inondation fort, moyen et faible (Fig. 5). Ces zones couvrent des superficies de 0,54 km², 1,79 km² et 7,3 km² respectivement. La zone à risque d'inondation fort est le résultat du croisement entre la zone inondée et la vulnérabilité. Quant à la zone à risque d'inondation moyen, elle est issue du croisement entre la zone inondable et la vulnérabilité. En ce qui concerne la zone à risque d'inondation faible, elle est composée des zones inondables et inondées exemptes de toutes vulnérabilités. Les habitations et les zones agricoles à proximité du cours d'eau principal Yoyo des quartiers Gbakoungué, Ngassiri, Sabongari et Yjoro sont plus exposées au risque d'inondation.

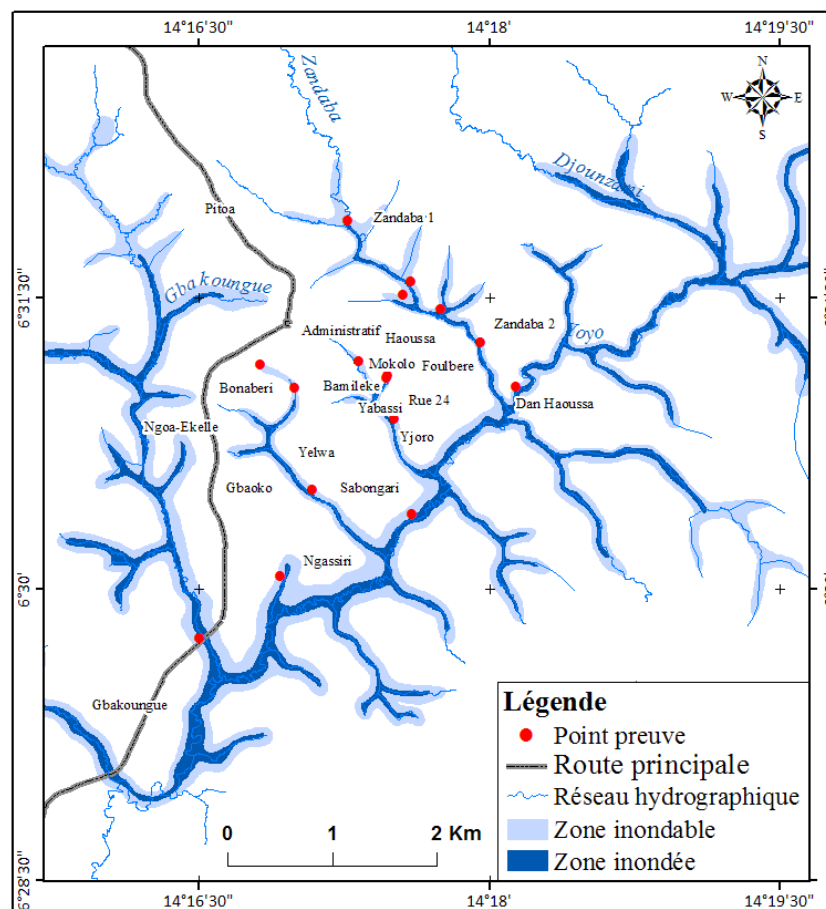


Figure 3. Carte de l'aléa inondation du centre urbain de Meiganga.

Figure 3. Flood hazard map of the urban center of Meiganga.

Cartographie des enjeux exposés

Quantification et spatialisation du bâti dans les zones inondables

La quantification du bâti en zones inondables par quartier est présentée dans le tableau 9 ci-après.

Au regard de ces résultats, tous les quartiers de la ville de Meiganga sont exposés aux risques d'inondation, excepté le quartier Pitoa et le quartier Administratif. Les quartiers les plus exposés sont ceux de Ngassiri, Sabongari et Zandaba 1 avec plus de 100 bâtis construits dans la zone à risque élevé. S'agissant des autres quartiers, 4 sont moyennement exposés aux risques d'inondation (60–90 maisons), on peut citer Yelwa, Yjoro Bonabéri, Bamiléké ; 1 est faiblement exposé (32 maisons) à savoir Foulbéré ; et 9 sont très faiblement exposés (moins de 30 maisons), il s'agit de Ngoa-Ekelle, Gbaoko, Zandaba 2, Gbakoungué, Dan Haoussa, Rue, Mokolo, Yabassi and Haoussa (Fig. 6). Au total, en 2020, 906 maisons étaient construites dans les zones inondables. Si on estime en moyenne 05 habitants par ménage au Cameroun (RGPH, 2005), on obtient une population de 4530 personnes, directement exposée au risque d'inondation dans la ville de

Meiganga, ce qui représente environ 12% de la population qui s'y trouve.

Les enquêtes et les observations de terrain montrent qu'au fil des années, les zones inondables sont de plus en plus occupées par les populations. En 2011 par exemple, la ville de Meiganga comptabilisait 384 bâtis construits en zone inondable. 5 ans plus tard c'est-à-dire en 2016, ce chiffre est passé du simple au double avec près de 802 bâtis identifiés dans la zone inondable. Les raisons de cette augmentation sont (i) le bitumage de la Nationale N°1 entre Ngaoundéré et Garoua Boulaï, (ii) l'ouverture de l'Ecole de Géologie et d'Exploitation Minière, (iii) et les crises socio-politiques qu'a connu la République Centrafricaine (Lissouck & Hamdja Ngoniri 2020). Entre 2016 et 2020, l'installation des populations dans les zones inondables s'est presque ralenti (passant de 802 à 906 bâtis) contrairement aux années antérieures. Les raisons de cette observation se justifie d'une part par l'accalmie en République Centrafricaine et d'autre part, par la prise de conscience de certaines populations car d'après elles le risque était déjà perceptible.

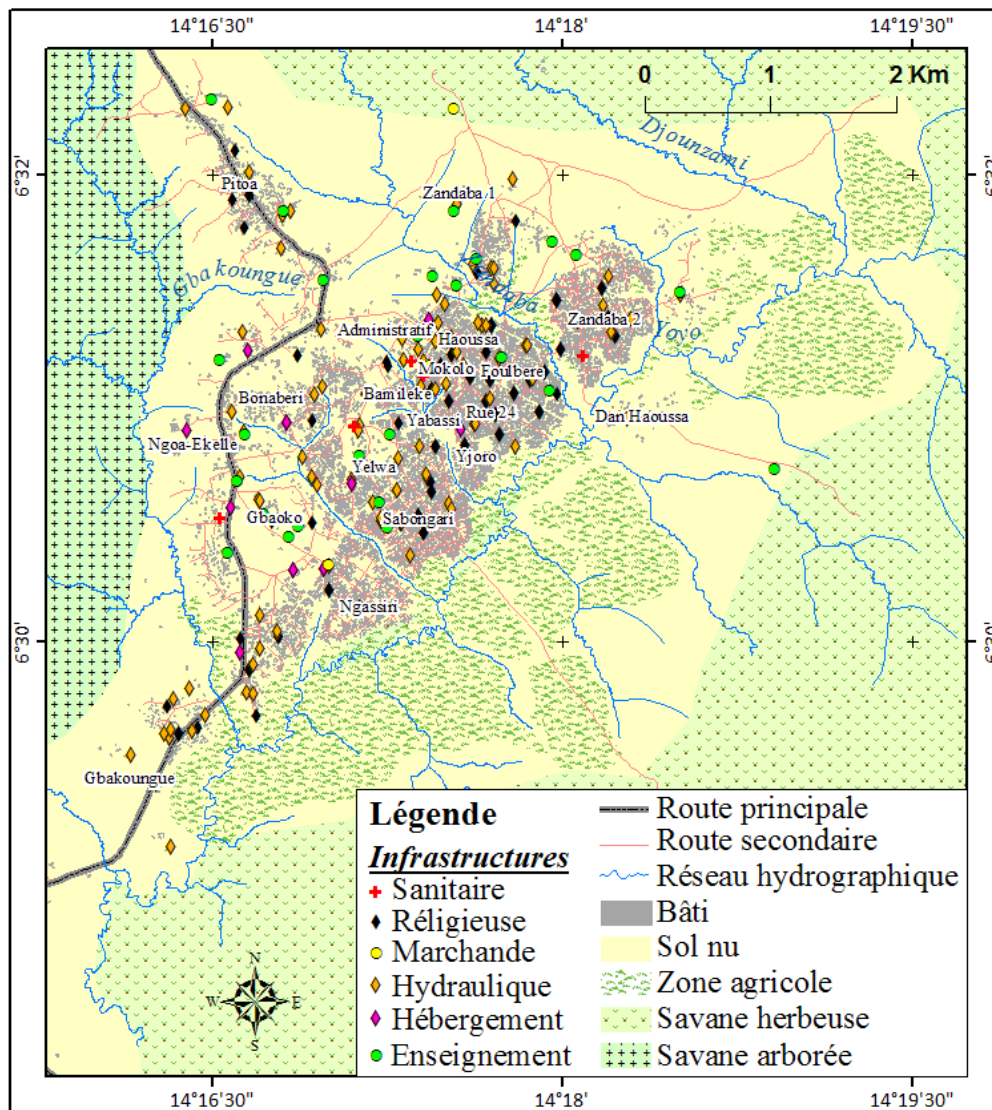


Figure 4. Carte d'occupation du sol du centre urbain de Meiganga en 2022.

Figure 4. Land use map of the urban center of Meiganga in 2022.

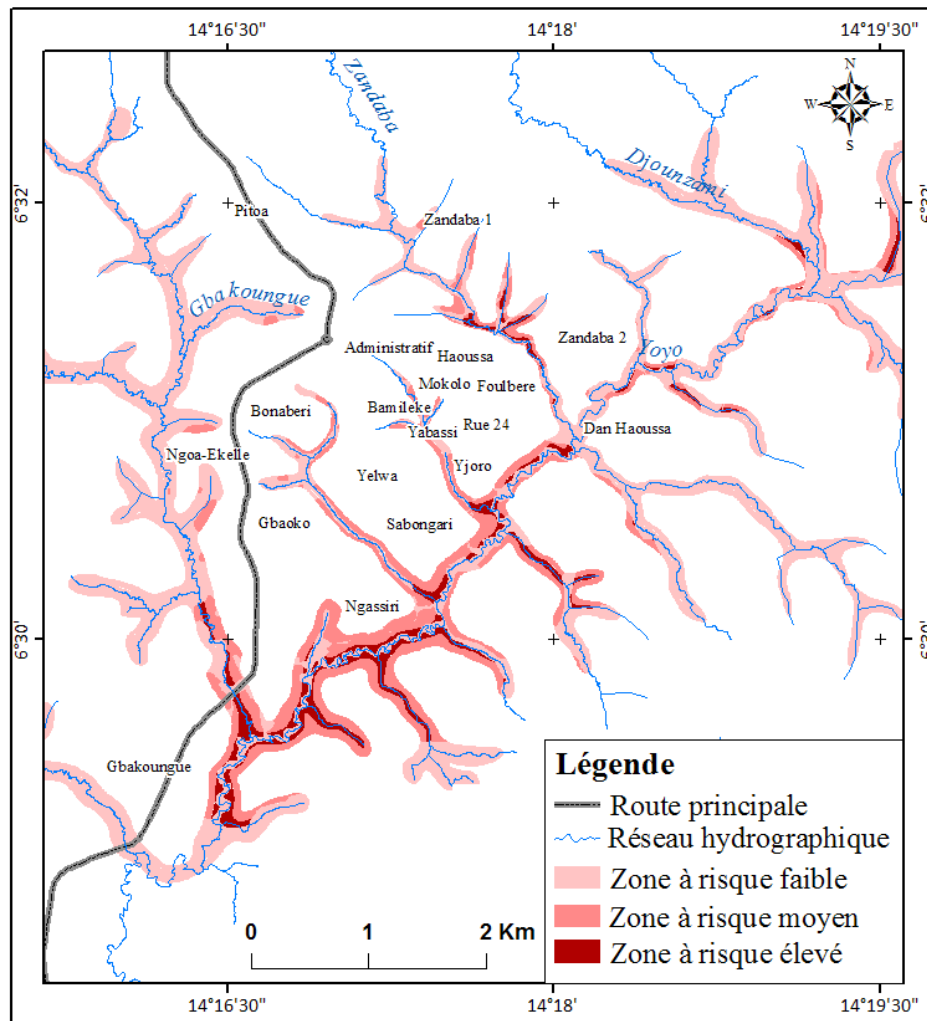


Figure 5. Carte du risque d'inondation dans le centre urbain de Meiganga.

Figure 5. Map of flood risk in the urban center of Meiganga.

Quantification et spatialisation des infrastructures socio-économiques dans les zones inondables

La ville de Meiganga compte 137 infrastructures composées des infrastructures sanitaires (hôpital de district, centres de santé, pharmacies), d'hébergements (hôtels), d'enseignements (écoles primaires, lycées, ENIEG (Ecole Normale des Instituteurs de l'Enseignement Général), locaux de l'Ecole de Géologie et d'Exploitation Minière), hydrauliques (puits, forages), religieuses (églises, mosquées) et marchandes (marchés). La carte des inondations et le tableau 10, signalent que 4 infrastructures sont exposées aux risques d'inondation, soit 3% du total des infrastructures de la ville. Parmi ces infrastructures exposées, on note 3 infrastructures hydrauliques (un forage et 2 puits traditionnels) et une école primaire (Fig. 6).

S'agissant des infrastructures hydrauliques, 8% sont implantées en zones inondables. Elles sont principalement constituées des puits traditionnels. Ces puits construits sans mesures de protection adéquates, sont exposés aux contaminations par des eaux souillées. On les retrouve dans les quartiers Yelwa, Mokolo et Zandaba 1. Cette situation serait à l'origine des maladies hydriques telles que la typhoïde et l'amibiase qui sévissent épisodiquement dans ces quartiers (Hamdja Ngoniri *et al.* 2018).

Parmi les infrastructures d'enseignement, une école primaire (école publique groupe 1) du quartier Zandaba 1 est

construite dans une zone inondable. Cette école enregistre 790 élèves qui sont encadrés par 15 enseignants. En cas d'inondation, 803 personnes seront directement affectées.

En ce qui concerne les infrastructures marchandes, le grand marché de Meiganga se retrouve à moins de 10 m de la zone inondable. Au regard des activités menées dans ce marché, la situation pourrait s'empirer, car la majeure partie des déchets produits sont déversés dans les lits des cours d'eau qui traversent ce marché, ce qui a pour conséquence l'obstruction et plus tard le débordement des eaux.

Spatialisation des zones agricoles dans les zones inondables

La zone agricole exposée aux risques d'inondation est évaluée à 1,83 km², soit 1,29 km² pour le risque moyen et 0,54 km² pour le risque élevé (Fig. 6). Les cultures les plus exposées sont la tomate, le maïs, les arachides.

DISCUSSION

Le réchauffement climatique augmente les risques d'inondation grave et la fréquence de ces catastrophes dans les villes. Comme de nombreuses villes du monde sont construites sur des plaines inondables, leurs populations, leurs propriétés et leurs infrastructures sont exposées à ces risques (Golnaraghi *et al.* 2022, Jakob *et al.* 2015). Avec la croissance de la population et les nouveaux aménagements en

Tableau 9. Quantification du bâti par quartier dans la zone inondable du centre urbain de Meiganga.

Table 9. Quantification of the Building by quarter in the flood zone of the urban center of Meiganga.

Quartiers	Nombre de bâtis	Quartiers	Nombre de bâtis
Ngassiri	196	Zandaba 2	17
Sabongari	174	Gbakoungué	14
Zandaba 1	106	Haoussa	6
Yelwa	90	Yabassi	6
Yjoro	80	Mokolo	5
Bonabéri	69	Rue 24	4
Bamiléké	60	Dan Haoussa	2
Foulbéré	32	Administratif	0
Ngoa-Ekelle	23	Pitoa	0
Gbaoko	22	-	-

Source : Enquêtes de terrain, 2020.

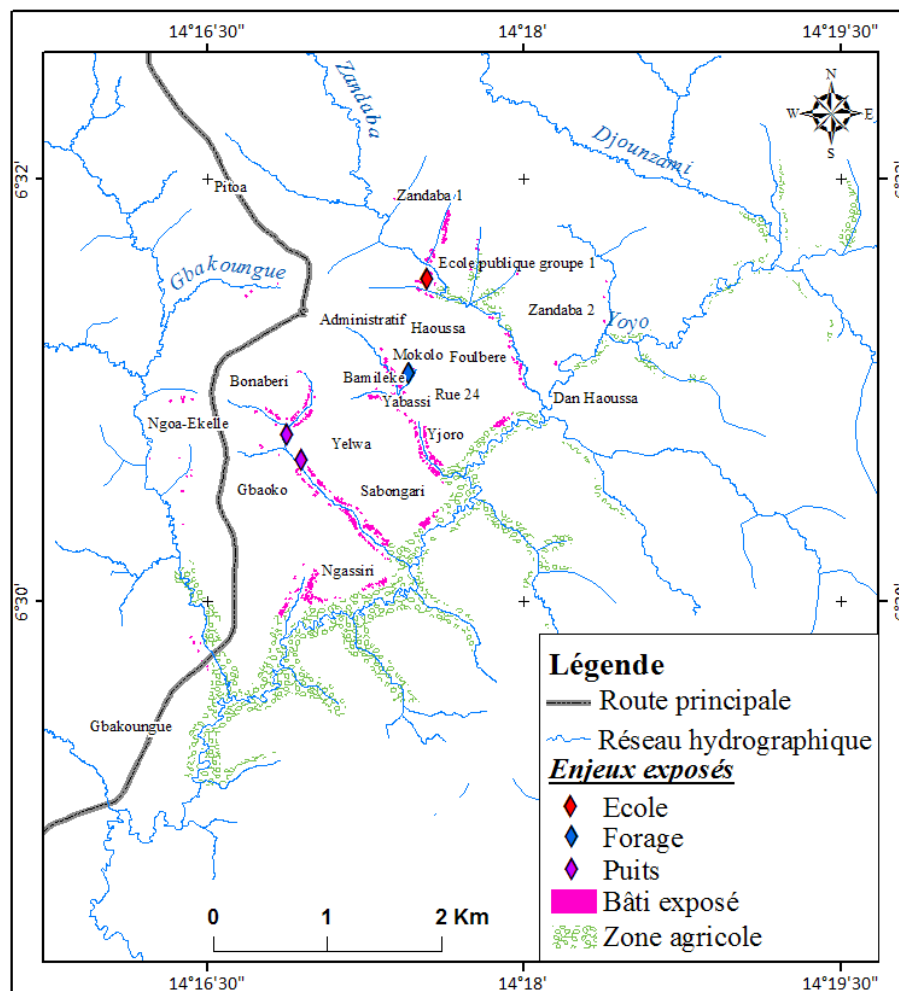


Figure 6. Bâtis exposés aux risques d'inondation.

Figure 6. Buildings at r flooding risks.

zones inondables, le bilan socioéconomique des inondations en milieu urbain devrait s'alourdir (Burn & Whifield 2016, Honegger & Oehy 2016, Zhang *et al.* 2019) au fil des années. Ces observations sont conformes à celle faites dans la ville de Meiganga.

En effet, la principale cause d'inondation dans cette ville est la forte pluviométrie. A cela, il faut ajouter, l'urbanisation mal maîtrisée, l'expansion urbaine due à la démographie

galopante et la dégradation de l'environnement. Toutes ces causes sont typiques des villes en voie de développement tels que évoqués par Thouret & D'Ercole (1994), November (1994), Dauge, (1999), Fogwe & Lambi (2001), Bahoken & Akoa (2003), Wade *et al.* (2009), Zogning Moffo (2005, 2017). Ces auteurs indiquent que la croissance urbaine mal contrôlée aggrave l'effet de site, car l'extension des surfaces imperméables ralentit l'infiltration et accentue le ruissellement.

Ainsi les inondations ne devraient plus être considérées comme des risques naturels dans la ville, mais plutôt comme des risques inhérents à la croissance de la ville. C'est dans ce sens que, les études de Tchotsoua (1996) dans la ville de Yaoundé, signalent qu'au fur et à mesure que les versants sont urbanisés et sans aménagements adéquats, la fréquence des inondations catastrophiques est de plus en plus importante : c'est le cas des quartiers Mokolo-Elobi, Briqueterie-Est, Melen-Parc et Nkolmesseng, etc. La cartographie des zones à risque d'inondation dans la ville de Meiganga montre que les quartiers les plus exposés sont Gbakoungué, Ngassiri, Sabongari, Yjoro, Zandaba 2. S'agissant des enjeux exposés aux inondations, on note 906 maisons, une école primaire, 2 puits traditionnels, un forage, et 1,83 km² de culture. Zogning Moffo (2017) ayant fait une étude sur la quantification du bâti dans la zone inondable de la même ville de Yaoundé montre une évolution sans cesse croissante. Il indique que de 1965 à 2010, le nombre de bâti exposé aux risques d'inondation est passé de 2902 à 62 126 maisons. Ces chiffres ont largement évolué avec la croissance de la population en 45 ans. La situation est d'autant plus grave car les populations en quête d'une habitation s'installent de plus en plus sur des surfaces inondables. A titre d'exemple, dans la ville de Yaoundé en 2010, 4013 maisons sont installées à moins de 5 mètres d'un cours d'eau et 1728 à moins d'un mètre (Zogning Moffo, 2017). C'est dans ce sens que Valy (2010) affirme que l'urbanisation redouble le risque puisqu'elle conduit à l'augmentation de la vulnérabilité et modifie l'expansion des inondations. Dans la ville de Douala, Amanejieu (2018) insiste sur les facteurs anthropiques (occupation des lits de cours d'eau) comme étant des facteurs aggravants des risques d'inondation. Entre 1986 et 2017, près de 2830 ha de zones basses (zones inondables) ont été urbanisées suite à la croissance urbaine et l'installation des migrants ruraux. Cette conquête des zones inondables a provoqué 34 inondables avec comme conséquence 49 décès, 71 blessés, 90923 sinistrés. Nguendo Yongsy (2021), évoque d'autres conséquences liées à l'installation des populations dans les zones inondables dans la ville de Douala. Ces conséquences sont entre autres la destruction des biens, la perturbation des activités professionnelles, la destruction du cadre de vie, le stress, le trouble du sommeil et le développement de certaines maladies (grippe, bronchite, pneumonie, diarrhée, dysenterie, typhoïde, paludisme, etc.).

Ces risques d'inondation décrits au Cameroun, sont également vécus dans d'autres villes Africaines. Dans la ville

de Ouagadougou (Burkina Fasso), Hangnon *et al.* (2015) montrent que les mutations rapides dans l'occupation des sols dues à la forte demande en parcelles d'habitation liée à l'augmentation de la population sont des facteurs favorisant les inondations en cas de précipitations supérieures ou égales à la normale. A ce jour, les causes naturelles expliquent moins le risque d'inondation dans la ville de Ouagadougou (Hangnon *et al.* 2015). Ces inondations sont plutôt liées à un développement urbain mal maîtrisé et au détriment des orientations décrites dans les documents de planification tel que martelés par Alla Della *et al.* (2018) dans la ville de Daloa en Côte d'Ivoire. Dans les villes de Bangui et de Dakar, Sene & Ozer (2002), ont remarqué une augmentation du risque d'inondation ces dix dernières années en dépit d'une diminution des extrêmes pluviométriques à partir des années 1970. Ces derniers concluent qu'il s'agit d'une déficience de l'aménagement urbain face au risque d'inondation liée à une augmentation de la population, ce qui engendre une urbanisation intensive et non organisée. Sidi Cheikh (2015) explique que l'exode rural des années 70 et 80 due à la sécheresse a provoqué le processus de sédentarisation des nomades dans la ville de Nouakchott (Mauritanie). Cette dernière s'est agrandie considérablement et les nouveaux arrivants ont construits leur habitation dans les zones à risque sans aménagement préalable (Sidi Cheikh *et al.* 2007). Cette forte démographie est à l'origine des nouveaux risques d'inondation de la ville pendant la saison des pluies mettant la santé des personnes en danger en raison des conditions favorables à la propagation des épidémies (Séméga 2006).

Si aujourd'hui dans la ville de Meiganga les populations réussissent à s'insérer et à survivre en zone à risque, il est possible que dans les années à venir, la situation prenne une autre tournure. Au regard des situations décrites dans les villes camerounaises et africaines, la ville de Meiganga, gagnerait à anticiper sur les éventuelles catastrophes. Ainsi nous proposons la sensibilisation des populations à éviter les zones inondables lors des constructions et ceci passe par l'élaboration d'un Plan d'Occupation du Sol actualisé de la ville qui définira exactement les zones à risque. Au regard de l'augmentation sans cesse croissante de la population, nous recommandons la mise en place un système de gestion de déchets efficace dans les quartiers afin de réduire l'obstruction des cours d'eau. En ce qui concerne, les populations déjà installées dans les zones à risque, une délocalisation de ces dernières est souhaitable.

Tableau 10. Infrastructures exposées aux risques d'inondation.

Table 10. *Infrastructures at flooding riskd.*

Infrastructures	Effectifs Totaux	Effectifs exposés
Sanitaires	5	0
Hébergements	9	0
Enseignements	25	1
Hydrauliques	36	3
Religieuses	59	0
Marchandes	3	0

Sources : Enquêtes de terrain, 2019.

CONCLUSION

Cet article avait pour but de faire la cartographie des zones à risque d'inondation et l'évaluation des enjeux exposés à ces zones dans la ville de Meiganga. La méthodologie de cette étude repose sur plusieurs méthodes à savoir : l'analyse multicritère (Processus d'Analyse Hiérarchique AHP) à l'aide

de l'outil d'attribution de poids de Saaty utilisée pour l'aléa ; l'équation non mathématique $Risque = Aléa \times Vulnérabilité$ pour la quantification du risque d'inondation ; les images Landsat 8, la Base de données OpenStreetMap et la carte topographique de la zone pour évaluer la vulnérabilité, les questionnaires en guise de compléments d'informations sur

les causes, la fréquence et les conséquences des inondations, et enfin les levés GPS de toutes les infrastructures de la ville ainsi des points preuves d'inondation. Ainsi, la carte des zones à risque d'inondation obtenue a été classifiée en trois catégories, à savoir faible, moyen et fort de superficie 7,3 km², 1,79 km² et 0,54 km² respectivement. Les quartiers les plus exposés aux risques sont Gbakoungué, Ngassiri, Sabongari et Zandaba 1. Quatre infrastructures sont exposées aux risques d'inondation soit 3% du total des infrastructures de la ville. Ces infrastructures sont composées d'une école primaire, deux puits traditionnels et un forage. A ces infrastructures exposées, il faut associer 906 maisons, 1,83 km² de zone agricole. Etant donné que le réchauffement climatique augmente les risques d'inondation et la fréquence de ces catastrophes dans les villes, Meiganga gagnerait à tirer des leçons, des événements malheureux qu'ont vécu certains villes camerounaises et africaines. Dans nos prochaines études, il serait judicieux, d'analyser les degrés de vulnérabilités sociale, économique, physique et environnementale des populations et des enjeux exposés.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements sont adressés aux évaluateurs et à l'éditeur du journal Hamid Slimani qui nous ont permis d'améliorer la qualité de cet article.

REFERENCES

- Alla Della A., Atta Kouacou J.M. & Yassi Assi G. 2018. Les risques naturels et leurs manifestations dans une ville secondaire : Erosion et inondation à Dalao (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, 2, 101–113.
- Amanejieu A. 2018. *Analyse temporelle de la représentation du risque d'inondation de 1980 à 2018 à Douala-Cameroun*. Mémoire de Master, Université de Liège, 69 p.
- Amaya A., Ntombé M., Kepnamou Diguim A. *et al.* 2021. Cartographie de la susceptibilité aux inondations par la méthode de l'Analyse Multicritère Hiérarchique (AHP) combinée au Système d'Information Géographique (SIG) : cas du département du Diamaré (Extrême-Nord, Cameroun). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 491–501.
- Bahoken F. & Akoa S. 2003. La prévention des risques liés aux inondations au Cameroun. Dossier (Enjeux N° 16 juillet-Septembre 2003).
- Bertoni J.C. 2006. Inondations urbaines en Amérique Latine : réflexions sur le rôle des facteurs de risque. *Frontiers in Flood Research*, 123–141.
- Bouba L., Sauvagnargues S., Gonne B. *et al.* 2017. Tendances pluviométriques et aléa inondation à l'Extrême-Nord Cameroun. *Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Écologie Tropicales*, 41(3), 339–358.
- Boutrais J. 1980. L'arbre et le bœuf en zone soudano-guinéenne. *Cahier Orstom, série Science Humaine*, 17 (3–4), 235–246.
- Bruckmann L., Amanejieu A., Moffo M.O.Z. *et al.* 2019. Analyse géohistorique de l'évolution spatio-temporelle du risque d'inondation et de sa gestion dans la zone urbaine de Douala (Cameroun). *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, 13, 91–113.
- Burcrep, 2005. 3^{ème} RGPH, Rapport de présentation des résultats définitifs, 67 p.
- Burn D.H. & Whifield P.H. 2016. Changes in floods and flood regimes in Canada. *Canadian Water Resources Journal*, 41, 139–150.
- CRED, 2016. <http://www.emdat.be>
- Dauge Y. 1999. Les politiques publiques de préventions des inondations. Rapport au Premier Ministre Français, 56 p.
- De Groeve T., Vernaccini L., Annunziato A. *et al.* 2008. Real-time impact estimate of large earthquakes using USGS shakemaps. International disaster and risk conference, 21 p.
- Fogwe Z.N. & Lambi C.M. 2001. Combating Inundation in some Cameroonian Cities: An appraisal of Indigenous Strategies. In C. M. Lambi (ed) *Environmental Issues: Problems and Prospects Unique Printers and Publishers, Bamenda*, 133–146.
- Golnaraghi M., Thistlethwaite J., Henstra D. *et al.* 2020. Flood risk management in Canada: Building flood resilience in a changing climate. *The Geneva Association*, 61 p.
- Golnaraghi M., Surminiski S. & Kousky C. 2022. Purguing the climate crisis agenda. *Renewable Resources Journal*, 36(4), 21 p.
- Hamdja Ngoniri A., Fofe Meli C., Lissouck C.L. *et al.* 2018. Analyse spatiale de la distribution des infrastructures d'eau potable dans le centre urbain de Meiganga (Adamaoua Cameroun). *Revue Internationale de Géomatique, Aménagement et Gestion de Ressources*, 3, 2520–9574
- Hangnon H., De Longueville F. & Ozer P. 2015. Précipitations extrêmes et inondations à Ouagadougou : quand le développement urbain est mal maîtrisé. *XXVIII Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège*, 6 p.
- Honegger C. & Oehy C. 2016. The road of flood resilience in Canada. Zurich, Switzerland, Swiss Reinsurance Company, 16 p.
- Jakob M., Holm K., Lazarte E. *et al.* 2015. A flood risk assessment for the city of Chilliwack on the fraser river, Bristish Columbia, Canada. *International Journal of River Basin Management*, 13(3), 263–270.
- Jordan C. 2019. *Approche mixte instrumentation-modélisation hydrologique multi-échelle d'un bassin tropical peu jaugé soumis à des changements d'occupation des sols : Cas du bassin de la Méfou (Yaoundé, Cameroun)*. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier, 430 p.
- Kundzewicz Z.W., Kanae S., Seneviratne S.I. *et al.* 2014. Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*, 59(1), 28 p.
- Lissouck C.L. & Hamdja Ngoniri A. 2020. Réfugiés centrafricains et insécurité foncière dans la ville de Meiganga (Adamaoua, Cameroun). *Territoire de développement au Cameroun : Mutations récentes, implications socio-économiques et politiques*. Edition Clé, Yaoundé, 2, 258–271.
- Meva'a Abomo D., Fouda M., Nguehan B.S. *et al.* 2015. Vulnérabilité de l'agriculture urbaine aux inondations dans le bassin versant du Mbanya à Douala (Cameroun). *Les Annales de la Recherche Urbaine*, 110, 164–173.
- Nanfack G. 2021. Application de l'Analyse Multicritère Hiérarchique dans l'évaluation de la vulnérabilité aux inondations dans l'espace urbain de Kékem (Ouest-Cameroun). *International Multilingual Journal of Science and Technology*, 6(9), 2528–9810.
- Nankap Djangué M., Sandjong Kanda J., Mbiadjeu-Lawou P.S. *et al.* 2020. Cartographie des facteurs climatiques et topographiques de l'aléa d'inondation dans la communauté urbaine de Garoua, Cameroun. *Afrique science*, 16, 136–146.

- Ndongo B., Mbouendeu S.L. & Hiregued J.P. 2015. Impacts socio-sanitaires et environnementaux de la gestion des eaux pluviales en milieu sahélien : cas de Maroua, Cameroun. *Afrique Science*, 11, 237–251.
- Ngongang R.D., Tchotchou L.A.D., Ossombo B.E. *et al.* 2021. Analyse météorologique de l'évolution temporelle du risque d'inondation à Douala (Cameroun). *La Météorologie*, 113, 47–55.
- Nguendo Yongsu H.B. 2021. Vulnérabilité aux risques naturels et santé en milieu urbain : Inondations et risques socio-sanitaires dans le bassin versant de Bobongo à Douala-Cameroun. *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, 1, 58–70.
- November V. 1994. Risques naturels et croissance urbaine : Réflexion théorique sur le rôle et la nature du risque dans l'espace urbain. *Revue de Géographie Alpine*, 82(4), 113–123.
- Onana Ntouda A., Leumbe O., Lemotio W. *et al.* 2022. Contribution à la cartographie de l'aléa inondation dans le bassin versant du Mfoundi à Yaoundé (Cameroun) par analyse multi critère (AMC) basée sur le Processus d'Analyse Hiérarchique (AHP). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Terre*, 44, 13–27.
- Paprotny D., Sebastian A., Morales-Napoles O. *et al.* 2018. Trends in flood losses in Europe over the past 150 years. *Nature communications*, 9, 1985.
- Plan Communal de Développement (PCD) de Meiganga 2013. PNDP-ACAGER, 353 p.
- Saaty T.L. 1980. The analytic hierarchy process McGrawhill. New York, 324 p.
- Séméga B.M. 2006. Eaux pluviales à Nouakchott : de l'éclaboussure à l'embourbement plus qu'un bourbier. *Actes de la manifestation « Nouakchott 1958–2006 : Défis pour un cinquantenaire », 13 février – 5 mars, Nouakchott, Mauritanie*, 5 p.
- Sene S. & Ozer P. 2002. Evolution pluviométrique et relation inondations - événements pluvieux au Sénégal. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 42, 27–33.
- Sidi Cheikh M.A. 2015. La croissance de la ville de Nouakchott et son impact sur la vulnérabilité aux inondations. *Revue de Recherche*, 3 p.
- Sidi Cheikh M.A. Ozer P. & Ozer A. 2007. Risques d'inondation dans la ville de Nouakchott (Mauritanie). *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, 31, 19–42.
- Tangmouo Tsoata F., Yemmafouo A. & Ngouanet C. 2020. Cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain à Bafoussam (Cameroun). Approche par analyse multicritère hiérarchique et Système d'Information Géographique. *Revue Internationale de Géomatique, Aménagement et Gestion de Ressources*, 6–7, 2520–9574.
- Tchekote H., Djofang N.P., Ndongo B. *et al.* 2019. Enjeux socio-économiques et environnementaux de l'occupation des zones à risque d'inondation du bassin versant de l'Abiergué (Yaoundé-Cameroun). *Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo*, 13, 69–80.
- Tchotsoua M. 1996. Urbanisation et érosion accélérée dans la ville de Yaoundé : comment améliorer la conservation de l'environnement urbain en milieu tropical humide. Union pour l'étude de la population africaine. *UEPA, Nouvelles imprimeries du Sénégal*, 131 p.
- Tchotsoua M., Fotsing J.M. & Moussa A. 2007. Evaluation des risques d'inondation dans la vallée de la Bénoué en aval du barrage de Lagdo (Cameroun). *Actes des JSIRAUF, Aanoi*, 9 p.
- Thouret J.C. & D'Ercole R. 1994. Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain : effets, facteurs et réponses sociales. *Cahier des sciences humaines*, 32(2), 407–422.
- Valy J. 2010. Approches méthodologiques du croisement entre croissance urbaine et risque d'inondation, in : Foltête J.-C. (dir.), *Actes des Neuvièmes Rencontres de Théo Quant, Besançon*, 1769–6895, 11 p.
- Wackermann G. 2004. La géographie des risques dans le monde. *Colloque Carrefour les Dossiers, Ellipses*, 501 p.
- Wade S., Faye S., Dieng M. *et al.* 2009. Télédétection des catastrophes d'inondation urbaine : le cas de la région de Dakar (Sénégal). *Journées d'Animation Scientifique (JAS09) de l'AUF Alger*, 7 p.
- Zhang Y., Wang Y., Chen Y. *et al.* 2019. Assessment of future flash flood inundations in coastal regions under study of Hadahe River basin in northeastern China. *Science of the Total Environment*, 693, 133550.
- Zogning Moffo M.O. 2005. *Risques d'inondations à Yaoundé : le cas de la zone confluence du Mfoundi au centre-ville et des quartiers péricentraux, bassin versant de l'Ekoza*. Mémoire de maîtrise, Université de Yaoundé I, 112 p.
- Zogning Moffo M.O. 2017. *Contribution des Systèmes d'Information Géographique pour la cartographie des zones à risques d'inondation à Yaoundé : application au bassin versant du Mfoundi*. Mémoire de Master, Université de Liège, 58 p.

Manuscrit reçu le 03/04/2023

Version révisée acceptée le 20/12/2023

Version finale reçue le 26/12/2023

Mise en ligne le 28/12/2023