

Application de l'Analyse Multicritère Hiérarchique dans l'évaluation de la vulnérabilité aux inondations dans l'espace urbain de Kékem (Ouest-Cameroun)

Nanfack Gabriel

Docteur, Département de Géographie, Aménagement et Environnement, Université de Dschang

Dschang, Cameroun

gabriel.nanfack@yahoo.fr

Résumé : L'estimation de la vulnérabilité des villes aux inondations est difficile en raison de l'interaction complexe de nombreux indicateurs de vulnérabilité. Ce papier expose la vulnérabilité systémique de l'espace urbain de Kékem en identifiant les quartiers les plus vulnérables aux inondations. Une quantification des indicateurs de vulnérabilité sociale, physique et induite par le manque de ressources de base et leur spatialisation dans l'espaces sont les objectifs de cet article. De ce fait, la combinaison d'informations démographiques et spatiales fournit un outil robuste pour évaluer la vulnérabilité aux inondations. Dans cette optique une méthodologie basée sur la quantification et la spatialisation de la vulnérabilité utilisant le Processus Analytique Hiérarchique (PAH) et les fonctionnalités des Systèmes d'Information Géographique (SIG) a été mise à contribution. Les résultats montrent que le facteur le plus déterminant dans l'exposition des populations de ces localités est le facteur social avec un poids normalisé de 0,51. Les niveaux de vulnérabilité Fort et Très fort concerne les quartiers carrière, ekouot et djimbong I. Cette étude met en exergue l'intérêt d'une méthode d'aide à la décision qui prend en compte la multiplicité des facteurs et leurs interactions dans la manifestation d'une vulnérabilité.

Mots clés: *Vulnérabilité, PAH, SIG, Plaine des Mbo, Kékem*

Abstract: Estimating the vulnerability of cities to flooding is difficult due to the complex interplay of many vulnerability indicators. This paper exposes the systemic vulnerability of the urban space of Kékem by identifying the districts most vulnerable to flooding. A quantification of the indicators of social and physical vulnerability induced by the lack of basic resources and their spatialization in spaces are the objectives of this article. Therefore, the combination of demographic and spatial information provides a robust tool for assessing vulnerability to flooding. In this perspective, a methodology based on the quantification and spatialization of vulnerability using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and the functionalities of Geographic Information Systems (GIS) has been used. The results determined that the

most determining factor in the exposure of populations of this locality is the social factor with a normalized weight of 0.51. The levels of vulnerability Strong and Very strong concern the Carrière, Ekouot and Djimbong I districts. This study highlights the value of a decision support method that takes into account the multiplicity of factors and their interactions in the manifestation of vulnerability

Keywords: *Vulnerability, AHP, GIS, Mbo plain, Kékem*

I. INTRODUCTION

Au cours des vingt dernières années, des efforts importants ont été réalisés dans le domaine de la vulnérabilité humaine aux inondations, dans le but de mieux comprendre les facteurs influençant cette composante du risqué [1 ; 24 ;29]. Ces efforts ont abouti au développement d'un grand nombre d'approches d'évaluation de la vulnérabilité, permettant d'identifier les facteurs sociaux, économiques ou encore physiques influençant la vulnérabilité face aux inondations [7 ; 1 ; 14 ; 25 ;27 ; 11].

Cependant, près de 95% de décès et près de 60% des pertes économiques occasionnées par les inondations sont enregistrés dans des pays en développement [12]. Les inondations d'envergure ne sont cependant pas plus nombreuses dans ces pays que dans les pays développés. Ce lourd bilan est en grande partie dû à une densité de population de plus en plus importante à l'intérieur même ou à proximité directe des plaines inondables, combinée à une forte vulnérabilité des populations exposées à cet aléa (habitat non adapté, pauvreté de la population, manque de politiques et de mesures de préparation et d'adaptation, etc.) [13].

À l'instar de nombreuses villes camerounaise, la ville de Kékem connaît une extension spatiale entraînant des désorganisations, notamment sur le plan spatial. Cette extension s'est accompagnée d'un dysfonctionnement urbain caractérisé par la prolifération des quartiers spontanés. L'installation des populations et leur type de construction sont la conséquence d'une absence de politique foncière et d'une planification urbaine. On assiste ainsi à un développement urbain dont la vulnérabilité est

aggravée non seulement par le site urbain (site de plaine inondable) mais aussi et surtout par les caractéristiques sociodémographiques de la population qui s'y trouve. Il conviendrait donc d'analyser de façon systémique la vulnérabilité de cet espace urbain aux inondations tout en la spatialisant. Pour ce faire, l'approche proposée associe trois dimensions de la vulnérabilité. Chacune de ces dimensions a fait l'objet d'une méthode d'évaluation spécifique (AMC-SIG), intégrant des indicateurs de vulnérabilité identifiés avec l'aide d'experts. Ainsi, la présente étude se propose à travers l'analyse multicritère de déterminer les quartiers les plus vulnérables de la ville de Kékem afin d'initier une gestion intégrée de ces espaces vulnérables et prioriser toute intervention de sauvetage.

II. MATERIELS ET METHODES

II.1. Cadre de l'étude

La commune de Kékem est située sur les Hautes Terres de l'Ouest Cameroun, dans le département du Haut-Kam entre 5° 01' et 5° 15' de latitude Nord et entre 10° et 10° 08' de longitude Est. Ce territoire de

près de 31 542 habitants [5] s'étend sur une superficie d'environ 400 km². C'est une commune fortement contrastée du point de vue topographique, ce qui induit des différenciations plus ou moins subtiles de la végétation naturelle, des modes d'utilisation des terres et surtout des catastrophes naturelles. La présence du Nkam et de certains affluents (Ngoum), la géomorphologie de la région, la nature géologique, ainsi que l'action tectonique ont conduit à la mise en place d'une vaste plaine alluviale (plaine des Mbo), qui, malgré les efforts des élus locaux à travers les travaux de régulation fluviale réalisés, continue à subir de façon intermittente des inondations. Elle reçoit environ 2000 mm de précipitation par an dont les mois d'août et septembre sont les plus pluvieux. Cependant, la ville de Kékem qui épouse les contours du Ngoum s'étend sur environ 600 ha soit 1,5% de la superficie totale de la commune et abrite 17 333 citoyens soit 55% de la population totale de la commune. Cette ville bien établie dans sa partie centrale, se déploie ensuite presque comme une tâche d'huile dans les espaces à risque d'inondation environnants. Elle est subdivisée en 10 quartiers à urbanisation significativement progressive où se concentrent de nombreux enjeux (Fig 1).

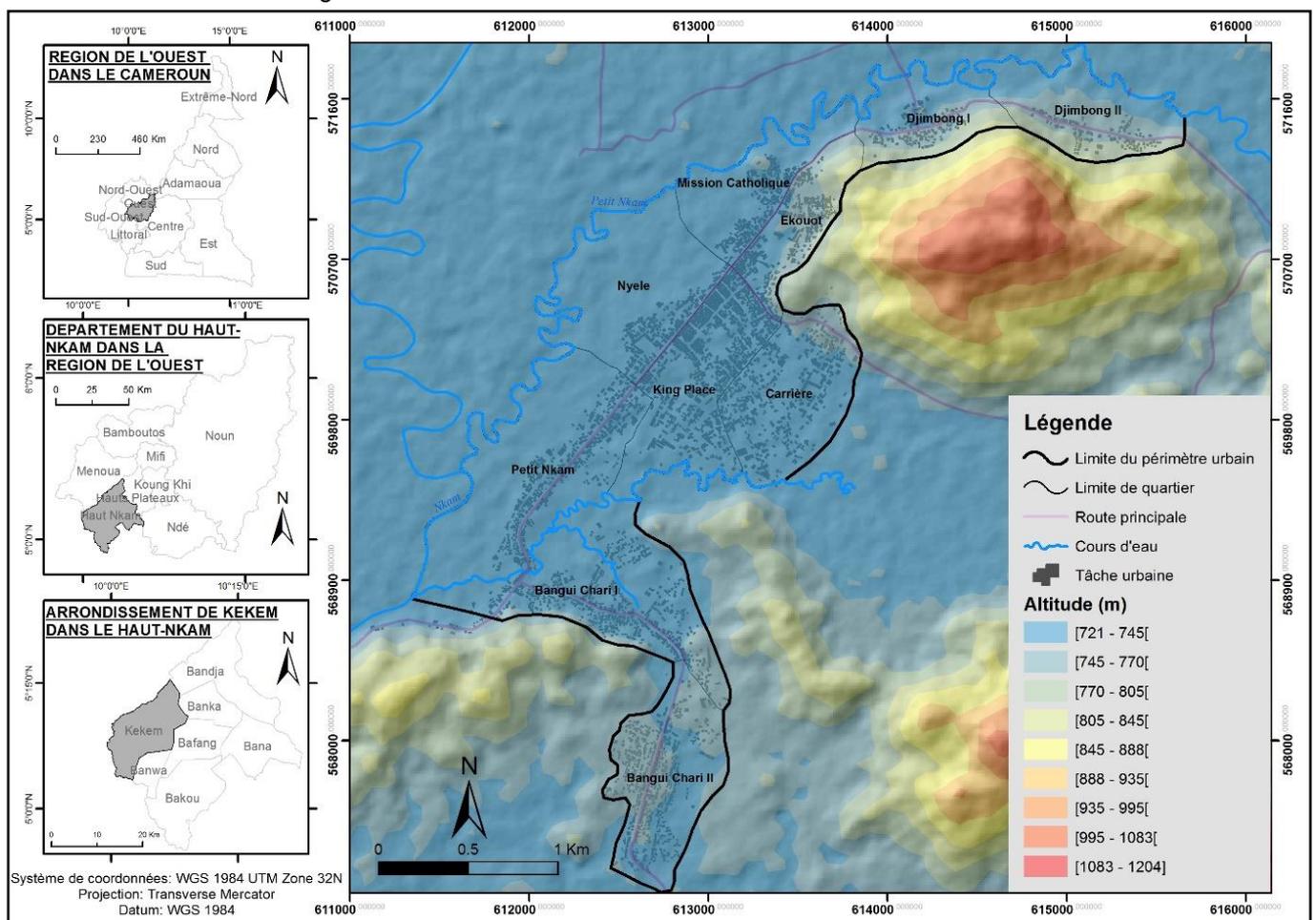


Figure 1: Localisation de la zone d'étude

La problématique de ce site urbain du point de vue environnemental concerne les inondations par débordement

du cours d'eau qui engendre une stagnation des eaux sur une grande partie de sa surface et accentue sa vulnérabilité.

II.2. Collecte de données

- Consultation des experts

Le PAH est une approche de prise de décision participative utilisant l'avis des experts pour la sélection des indicateurs à l'étude. Dans le cadre de cet article, ces avis sollicités sont synthétisés pour aboutir à une décision collective concernant la vulnérabilité des quartiers de Kékem-ville aux inondations. L'ensemble générique des indicateurs de vulnérabilité repose sur plusieurs critères répartis dans les trois dimensions suivantes : sociale, physique et infrastructurelle. Les efforts ont porté sur le choix des meilleurs experts, en tenant compte à la fois des services que compte la commune et de leur expérience dans la gestion des inondations. L'équipe d'experts consulté comprend à cet effet quatre membres dont les domaines d'expertise réunis couvrent l'ensemble des services communaux. Dans le but de multiplier les points de vue sur l'évaluation de la vulnérabilité lors d'une inondation, ces experts ont été interviewés. Des entretiens individuels ont ainsi été réalisés avec ces personnels de la commune de Kékem occupant les fonctions ci-après :

- Chef services techniques
- Chef services hygiène et salubrité
- Chef des services administratifs et financiers

- Chef secrétariat du maire

Ces quatre entretiens ont été jugés suffisants pour rassembler l'ensemble des informations pertinentes pour l'évaluation et la spatialisation de la vulnérabilité aux inondations. Les différents axes de discussion ont été regroupés en trois questionnaires portant respectivement sur :

- ✓ Évaluation de la vulnérabilité sociale des ménages aux inondations
- ✓ Évaluation de la vulnérabilité physique
- ✓ La vulnérabilité induite par le manque de ressources essentielles.

Les trois questionnaires développés ont eu pour but de générer des discussions devant aboutir à l'identification des indicateurs influençant la vulnérabilité des ménages lors d'une inondation. Il s'agit d'un ensemble d'éléments qui font varier l'impact de l'inondation sur les sinistrés. Ainsi, ont été sélectionnés une douzaine d'indicateurs tirés des trois dimensions de la vulnérabilité à l'étude. Cette sélection s'est inspirée des connaissances fournies par les experts consultés. Le tableau 1 catégorise ces différents indicateurs de vulnérabilité.

Tableau 1: Tableau de catégorisation des critères sélectionnés

Indicateurs	Caractéristiques	Type de critère en fonction des quartiers
Vulnérabilité sociale	Âge	Aptitude définie selon le % de personnes âgées
	Genre	Aptitude définie selon le % de femmes
	handicapé	Aptitude définie selon le % d'handicapés
	Locataire	Aptitude définie selon le % de locataires
	Personne inactive	Aptitude définie selon le % personnes inactives
	Densité	Aptitude définie selon l'importance de la population (densité forte à faible)
Vulnérabilité physique	Site d'implantation du bâti	Aptitude définie selon le % de bâti dans les bas-fonds
	Nature du sol	Aptitude définie selon le % de sol en terre
	Type de mur	Aptitude définie selon le % de mur en brique de terre non cuite
Vulnérabilité induite par l'accès difficile des ressources essentielles	Accès à l'eau potable	Aptitude définie selon le % du nombre de ménage n'ayant pas accès à l'eau potable
	Accès au réseau routier	Aptitude définie selon le % du nombre de ménage n'ayant pas accès au réseau routier
	Accès à l'électricité	Aptitude définie selon le % du nombre de ménage n'ayant pas accès à l'électricité

- Source de données

L'ensemble des indicateurs de vulnérabilité identifiés dans nos différentes interviews, nécessite la disponibilité de données sur les ménages à une échelle, qui est celle du quartier. Nos investigations auprès de la commune de Kékem ont montré que cette collectivité territoriale décentralisée ne dispose de manière opérationnelle des informations (sociales,

économiques, démographiques etc.) concernant sa population. Dès lors, les données utilisées dans cet article sont celles acquises lors du troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitat (3 RGPH) publiés en 2010. Ces informations ont été obtenues au Bureau Centrale de Recensement de la Population (BUCREP) sous format .xls. L'avantage de ces données réside dans le fait qu'elles sont disponibles par quartier et la principale limite est

qu'elles ne sont pas actualisées jusqu'aujourd'hui. Elles permettent cependant d'obtenir des informations précises sur les tendances sociales et démographiques des ménages, dans notre zone d'intérêt.

- Échelle d'analyse

Après avoir abordé les indicateurs nécessaires à l'appréciation de la vulnérabilité, il nous revient de faire le choix sur l'échelle d'analyse de celle-ci. Pour une expertise plus pointue, l'échelle d'analyse doit être la plus réduite possible. Or dans la plaine des Mbo, la plus petite échelle spatiale existante est celle des groupements dresser par Champaud, [6]¹. C'est ainsi que notre choix s'est porté à l'échelle des quartiers. Afin de pouvoir spatialiser ces indicateurs, il est nécessaire de disposer de données représentant les limites géographiques de chaque quartier. Cette information a été acquise grâce à Open Street Map, l'image satellitale de google earth (2018) d'un mètre de résolution, et à l'assistance des experts communaux interrogés et a été transmise sous forme de fichier forme ou Shapefile via l'outil « outil de conversion » du logiciel ArcGIS 10.2. Chaque quartier est ainsi représenté par un polygone, suivant précisément les limites de ce dernier. Les informations sur les indicateurs de vulnérabilité de chaque quartier sont renseignées dans la table attributaire liée au fichier forme. Ces données sont transmises dans le système géodésique de référence World Geodesic System de 1984 (WGS84).

II.3. Méthode d'analyse

Les méthodes multicritères sont des outils d'évaluation et d'aide à la prise de décision fréquemment utilisés dans les problématiques environnementales, notamment les études portant sur l'évaluation de la vulnérabilité d'un territoire aux aléas d'origine naturelle ou anthropique, [2 ; 18 ; 24]. Afin de mener à terme cet article, la méthode d'Analyse Multicritère Hiérarchique choisie est l'AHP (Analytic Hierarchy Process) développée par Saaty, [22]. Cette méthode d'évaluation spatiale multicritère est généralement constituée de 4 composantes : les critères d'entrée, leurs poids d'importance relative, une structure d'agrégation et une carte de pertinence finale [16]. L'idée principale de l'AHP est donc d'établir des pondérations quant aux critères et de les restituer aux différents niveaux de la hiérarchie en permettant une évaluation facile à comprendre par les décideurs. Elle s'organise autour de cinq axes :

- La structure hiérarchique des indicateurs

L'AHP permet de mettre en place une décision fondée sur une structure hiérarchique [17]. Celle-ci consiste à classer les différents indicateurs qui constituent une vulnérabilité suivant leur degré d'influence. Pour faciliter la tâche aux experts dans la hiérarchisation des indicateurs, [22] a mis sur pied une échelle des valeurs numériques présentée dans le Tableau 2.

¹ Atlas régional Ouest 2

Tableau 2: Échelle proposée par [22]

Valeurs	Échelle numérique pour un jugement comparatif des indicateurs
1	De même importance
3	Un peu plus important
5	Plus important
7	Vraiment plus important
9	Absolument important
2,4,6 et 8	Valeurs associées à des jugements intermédiaires

- Elaboration des combinaisons binaires

Les combinaisons binaires consistent à comparer à l'intérieur d'une matrice les indicateurs de vulnérabilité entre eux et à attribuer à chaque paire un coefficient de comparaison en utilisant l'échelle proposée par Saaty. À partir de cette comparaison entre les différents indicateurs, des matrices carrées réciproques ont été réalisées d'après la formule suivante :

$$A = [a_{ij}] \text{ avec } \begin{cases} a_{ii} = 1 \text{ pour } i = 1..K \text{ et} \\ a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \text{ (valeur réciproque)} \end{cases} \quad (1)$$

- Détermination des valeurs et vecteurs propres

Les poids calculés pour chaque indicateur ont un sens seulement si la matrice de comparaison par paire est cohérente. Il est nécessaire à cet effet de calculer un ratio de cohérence (RC) pour indiquer la fiabilité des jugements de la matrice calculée. Pour valider la cohérence d'un expert, il faut que la valeur de RC soit inférieure à 0,1 (10 %). Il obéit à la relation mathématique suivante :

$$R_C = \frac{I_C}{I_A} \quad (2)$$

Avec R_C le Ratio de Cohérence, I_A l'indice aléatoire élaboré par [22] et I_C l'Indice de cohérence donné par l'équation ci-dessous :

$$I_C = (\lambda_{max} - n)/(n - 1) \quad (3)$$

Tel que : λ_{max} est la valeur propre maximale de chaque indicateur dans la matrice et n le nombre d'indicateurs comparés dans la matrice.

Tableau 3: Indices de cohérence aléatoire [22]

<i>n</i> allant de 1 à 6	1	2	3	4	5	6
I_A	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24

- Agrégation des données pondérées

Dans l’AHP, les critères d’entrée sont des facteurs considérés par les experts inclus dans le processus décisionnel comme ayant une influence majeure sur le phénomène analysé, et pouvant être caractérisés par leurs attributs respectifs. Afin de réduire la variance entre les unités et les types de données utilisés pour caractériser ces attributs, celles-ci doivent être standardisées. Cette standardisation peut être appliquée à l’aide de diverses méthodes : linéaires, non linéaires, logique floue, raisonnement inductif ou déductif [19]. Dans le cadre de cet article la méthode d’agrégation linéaire pondérée a été retenue. Elle consiste à multiplier chaque couche d’indicateur par son coefficient de pondération respectif, et ensuite d’additionner ces résultats pour produire un indice d’aptitude. La transcription mathématique de cette combinaison s’exprime de la manière suivante :

$$V_i = \sum_{j=1}^n \omega_j \cdot a_{ij} \quad (4)$$

Où V_i est l’indice de synthèse de vulnérabilité ; ω_j le poids attribué à chaque indicateur et a_{ij} le coefficient de pondération évaluant l’importance relative des facteurs.

III.RESULTATS

À partir des matrices réalisées, nous avons calculé le poids normalisé pour chaque critère de vulnérabilité.

III.1. Une vulnérabilité confortée par les personnes handicapées

Le tableau 4 met en lumière le calcul de la pondération de l’indicateur sociale de vulnérabilité.

Tableau 4: Matrice de comparaison par paire et Poids normalisés des critères de la vulnérabilité sociale

Indicateurs	Genre	Densité	Locataire	Personne inactive	Vieillard	Handicapé	Poids
Genre	1	1/2	3	2	1/4	1/5	0,1
Densité	2	1	4	3	1/3	1/4	0,12
Locataire	1/3	1/2	1	2	1/5	1/6	0,07
Personne inactive	1/2	1/4	1/2	1	1/6	1/7	0,05
Vieillard	4	3	5	6	1	1/2	0,26
Handicapé	5	4	6	7	2	1	0,40
Rc = 0,024							

Source: Enquête de terrain, août 2020

Il ressort de ce Tableau que les personnes handicapées sont selon les experts, le critère ayant la plus forte influence sur la vulnérabilité sociale des ménages à Kékem (0,40). Pour ces personnes à mobilité réduite, il est rare qu’elles puissent évacuer seules leur lieu d’habitation en cas d’inondation. Leur évacuation nécessite ainsi l’assistance qui est pour la plupart du temps absente. Elles sont de ce fait, les moins résistantes au stress que peut provoquer une inondation. Ce critère de vulnérabilité sociale est suivi des personnes âgées avec un poids normalisé de 0,26. Les raisons de ce poids sont cependant contenues dans les difficultés de mobilité qui

ralentissent leur capacité à se mouvoir durant une inondation. Cela peut être lié au fait que cette catégorie de personnes ne soit plus capable d’anticiper le danger parce que le poids de l’âge leur a rétrogradé certains réflexes. La différence de poids entre ces deux critères et les autres témoignent du fait que les quartiers à fort pourcentage d’handicapé et de personnes âgées seront les plus vulnérables du point de vue social.

III.2. Site d’implantation: critère décisif de la vulnérabilité physique.

Le tableau 5 présente les poids normalisés des critères de vulnérabilité physique dans la ville de Kékem.

Tableau 5: Matrice de comparaison par paire et Poids normalisés des critères de la vulnérabilité physique

Indicateurs	Site d’implantation	Mur	Sol	Poids
Site d’implantation	1	4	4	0,66
Type de mur	0,25	1	2	0,21
Nature du sol	0,25	0,5	1	0,13
RC = 0,068				

Source: Enquête de terrain, août 2020

À partir des matrices réalisées deux à deux pour les critères site d'implantation, type de mur et nature du sol, Il ressort du tableau 5 que les experts communaux en gestion des inondations consultés ont confirmé le site d'implantation du bâtiment comme critère le plus décisif dans l'évaluation de la vulnérabilité physique avec un score de 0,66. La ville de Kékem apparaît donc comme un site géographique qui prédispose les bâtis à un contact permanent avec les eaux d'inondation en saison de pluie. En effet, la topographie relativement plane de la plaine caractérisée par un manque de vigueur de la pente et l'écoulement des eaux à fleur de surface, font que les eaux d'inondation se trouvent le plus souvent piéger dans les logements. Selon les experts consultés, dans cet espace urbain de la plaine des Mbo, les bons terrains pour construction sont presque totalement bâtis par les premiers occupants, de sorte qu'il en reste quelques-uns mais à des prix considérablement élevés. À cet effet, les ménages moins nantis qui sont

Tableau 6: Pondération des critères de la vulnérabilité induite par l'inaccessibilité des ménages aux ressources de base

Indicateurs	Eau	Route	Électricité
Eau	1	4	6
Route	1/4	1	2
Électricité	1/6	1/2	1
Poids normalisés	0.70	0.19	0.11
RC = 0,012			

Source: Enquête de terrain, août 2020

Il ressort de ce tableau 6 que l'accès difficile à l'eau de bonne qualité est le critère qui participe le plus dans la fragilisation des ménages lors d'une inondation avec un poids normalisé de 0,7. La difficulté d'accès au réseau routier vient en deuxième place et participe à hauteur 0,19. L'inaccessibilité à l'électricité quant à lui ne présente pas un score inquiétant 0,11 car les ménages considérés comme n'ayant pas accès à l'électricité sont le plus souvent les ménages n'étant pas directement raccordés au service public de distribution d'électricité (ENEO depuis 2014). Or, ces ménages sont le plus souvent raccordés à d'autres usagers de la même compagnie. C'est ce petit détail qui selon les experts consultés explique le score très bas de l'inaccessibilité de l'électricité dans notre zone d'étude. Cependant, ces dimensions de la vulnérabilité ont été comparées entre elles pour apprécier celle qui influencerait le plus dans l'exposition des quartiers de

en grand nombre se sont tournés vers les bas-fonds pour assurer la relève de leur désespoir. C'est alors que commença la ruée vers la source du risque qu'est le cours d'eau. Cette installation sans précaution témoigne d'une faible perception du risque encouru par ces ménages et par conséquent prédispose les bâtis à une vulnérabilité inéluctable. Les autres critères quant à eux sont conditionnés par le site d'implantation ce qui justifie leur poids normalisé très distant (0,21 pour le type de mur et 0,13 pour la nature du sol) de celui du site d'implantation.

III.3. Vulnérabilité induite par l'inaccessibilité des ressources essentielles de base.

La difficulté d'accès à certaines ressources et/ou infrastructures de base est un handicap sérieux pour les ménages de l'espace urbain de Kékem surtout dans un contexte social qui accuse un retard tangible. Le tableau 6 présente la pondération des critères de vulnérabilité induite par l'inaccessibilité de ces ressources et/ou infrastructures.

Kékem. Une carte d'aptitude à la vulnérabilité a été produite en tenant compte de ces dimensions de la vulnérabilité.

III.4. Spatialisation de la vulnérabilité globale des quartiers

De tout ce qui précède, la manifestation de la vulnérabilité aux inondations dans l'espace urbain de Kékem, trois dimensions ont été analysées : la manifestation sociale caractérisé par un poids normalisé de 0,51 ; la manifestation physique qui caractérise les effets physiques pouvant se reproduire sur les différents enjeux en particulier le bâti avec un score pondéré de 0,27 et enfin la manifestation infrastructurelle qui qualifie la capacité d'un ménage à avoir accès aux ressources de base pendant une inondation (0,22). La Figure 3 présente la carte de synthèse de la vulnérabilité des quartiers de Kékem aux inondations.

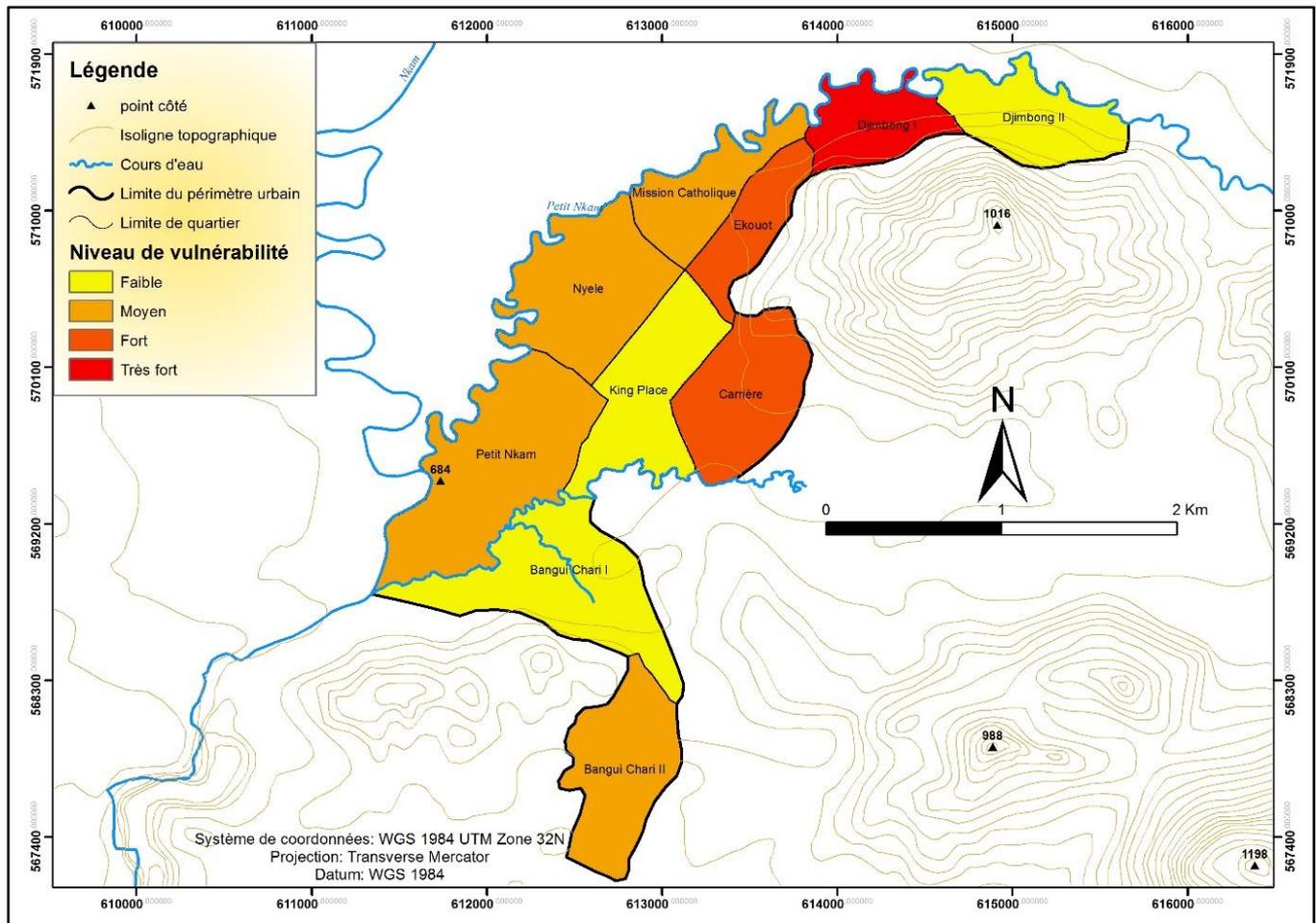


Figure 2: Spatialisation de la vulnérabilité systémique aux inondations dans la ville de Kékem

La pondération finale relative aux facteurs déterminant l'aptitude vulnérable des quartiers a permis de produire une carte de synthèse conjuguant les trois dimensions de la vulnérabilité en fonction de leurs poids. La carte établie ne représente que des variations spatiales des différents quartiers à la vulnérabilité. Cette carte de synthèse obtenue montre, au travers de sa légende quatre unités spatiales allant de Faible à Très fort. Elle révèle que les quartiers les plus vulnérables à une inondation (Carrière, Ekouot et Djimbong I) sont le plus caractérisés par les ménages qui accusent un retard social, qui leur contraint à investir le plus souvent les zones à risque par manque de moyen. Par contre, l'aptitude moins vulnérable (Faible) concerne les quartiers King Place, Bangui-Chari I et Djimbong II caractérisés par un niveau de standing un peu plus élevé que les autres (King Place, Bangui-Chari I) ou par une localisation sur un site de piedmont (Djimbong II). Cependant, les quartiers présentant une aptitude moyenne à la vulnérabilité (Petit Nkam, Nyéle, Mission catholique et Bangui-Chari II) sont proches des cours d'eau mais présente une situation sociale assez favorable.

I. DISCUSSION

Selon les experts consultés, dans les espaces urbains de Kékem, les bons terrains pour construction

sont presque totalement bâtis par les premiers occupants, de sorte qu'il en reste quelques-uns mais à des prix considérablement élevés. À cet effet, les ménages moins nantis qui sont en grand nombre se sont tournés vers les bas-fonds pour assurer la relève de leur désespoir. Cette installation sans précaution témoigne d'une faible perception du risque encouru par ces ménages et par conséquent prédispose les bâtis à une vulnérabilité inéluctable. C'est le même constat qui découle des travaux de [28] dans la ville de Yaoundé lorsqu'ils font comprendre que la démographie galopante due à l'immigration d'une classe démunie a importé dans ce milieu urbain un type d'habitat rural, jouxtant un périmètre liminaire régulier, entretenant ainsi une excroissance de précarités et d'irrégularités. Cependant, cette vulnérabilité qui fait plus référence à l'incapacité d'un groupe social ou d'un individu à anticiper, à résister, à se remettre ou encore à s'adapter aux chocs ou au stress liés à un aléa [4 ; 9] est influencée par un large ensemble de caractéristiques sociales et individuelles de la population, telles que l'âge, le genre, l'ethnie, le handicap etc. [10]. De tous ces caractéristiques, le handicap et l'âge se sont avérés les plus influents dans la vulnérabilité sociale. Nos résultats rejoignent ceux de [15] qui présentant la situation traumatique des inondations de Buffalo placent les personnes âgées comme ceux-là qui ont une capacité réduite de se préparer avant l'inondation mais aussi à évacuer durant l'inondation. Ces personnes âgées sont

également plus sensibles aux pathologies d'origine hydrique liées à l'inondation que les personnes plus jeunes [26]. [8] quant à eux concluent dans leur étude que ces personnes âgées ressentent un déclin des capacités cognitives pour traiter l'information pendant une catastrophe.

Au plan méthodologique, cette étude de cas montre l'utilité du SIG et de l'Analyse multicritère dans la réalisation d'une carte d'aptitude de vulnérabilité aux inondations qui permettrait d'optimiser la réponse aux crises environnementales dans cet espace urbain de l'arrondissement de Kékem. Les procédures d'analyse spatiale basée sur ce type d'analyse ont déjà été mises à profit dans plusieurs études portant sur l'évaluation de la vulnérabilité des zones urbaines et des populations aux aléas naturels, incluant l'aléa inondation. On pourra consulter à titre d'exemple les travaux de [25 ; 21 ; 12] ou encore de [20]. L'analyse qui est ainsi faite s'inscrit dans la nouvelle perspective des études de géographie des risques, en particulier pour l'analyse systémique de la vulnérabilité d'un territoire à un aléa naturel. Les traitements statistiques et cartographiques qui ont été effectués sont passibles d'un certain nombre de raffinements. Il convient en premier lieu d'actualiser les données utilisées dans cette analyse. En effet, les données disponibles les plus récentes regroupant les caractéristiques des ménages sont celles du 3^{ème} Recensement Général de l'Habitat et de la Population (RGPH). La commune à l'étude dans cet article ne dispose à ce jour d'une base de données sur les caractéristiques sociale, physique et infrastructurelle de sa population si ce n'est celle réalisée par Bureau Central de Recensement de la Population (BUCREP) publiées en 2010. On sait par ailleurs qu'en l'absence d'une cartographie des quartiers de l'espace urbain de Kékem, la spatialisation de la vulnérabilité en fonction des quartiers devient difficile. Il n'était donc pas aisé pour nous bien qu'étant assisté des personnes ressources de délimiter avec exactitude les quartiers de l'espace urbain de Kékem. Enfin, on peut remarquer que malgré la nécessité de raisonner en termes de système, ou du moins d'aborder la vulnérabilité de manière multidimensionnelle, notre analyse n'a considéré que trois dimensions de la vulnérabilité. Cela est dû au manque, voire à la quasi-inexistence, de données concrètes sur les dimensions environnementales et économique de la vulnérabilité, qui empêche leur intégration. Néanmoins, la carte de vulnérabilité réalisée à partir de cette approche, est un instrument de base à la prospection des quartiers pour les futurs projets d'aménagement dans cet espace urbain.

II. CONCLUSION

L'objectif de cette étude était en plus d'identifier la dimension de la vulnérabilité la plus influente dans l'occurrence d'une inondation, de déterminer les quartiers les plus vulnérables au risque d'inondation dans la ville de Kékem. La démarche méthodologique adoptée a utilisé les données issues du troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitat

(3^{ème} RGPH) publié en 2010. Le Processus Analytique Hiérarchique (PAH) et les Système d'Information Géographique (SIG) qui lui sont souvent associés ont été mis à contribution dans cette étude. Les résultats montrent d'une part que la vulnérabilité aux inondations dans la ville de Kékem est plus influencée par la dimension sociale (0,51). D'autre part, les résultats indiquent que les quartiers Carrière, Ekouot, et Djimbong I sont les plus vulnérables aux inondations en raison du retard sur le plan social qu'accuse la majorité des ménages et du développement spontané en direction des cours d'eau qu'on observe dans ces quartiers. À cet effet, la fragilité aux inondations qu'elle soit sociale, physique ou induite par l'inaccessibilité aux ressources de base devient donc pour ces quartiers un sempiternel problème en saison des pluies. Dès lors, dans une perspective de développement urbain durable, les résultats de cette étude pourraient servir d'aide aux magistrats municipaux afin de s'assurer que tout nouveau projet d'aménagement n'engendre pas une augmentation de la vulnérabilité en réorientant les fronts d'urbanisation vers les espaces dépourvus de cours d'eau.

III. RÉFÉRENCES

- [1] SF. Balica, N. Douben & NG. Wright, "Flood vulnerability indices at varying spatial scales." *Water Science and Technology* 60(10), 2009 pp.2571-2580.
- [2] B. Barroca, N. Pottier, & E. Lefort, *Analyse et évaluation de la vulnérabilité aux inondations du bassin de l'Orge aval. Septièmes Rencontres de Théo Quant.* (Besançon, France). 2005, 12 p.
- [3] J. Birkmann, "Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual frameworks and definitions." *Measuring Vulnerability To Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies* Birkmann J (Édit.) United Nations University Press, Seconde Edition, 2006, pp. 9-54.
- [4] P. Blaikie, T. Cannon, I. Davis & B. Wisner, *At Risk : Natural Hazards, Peoples' Vulnerability and Disasters.* Routledge (Édit.), London, UK. 1994, 134 p
- [5] BUCREP, 3^{ème} RGPH : Rapport de présentation des résultats définitifs, Yaoundé, Cameroun, 2010, 65 p.
- [6] J. Champaud, *Villes et campagnes du Cameroun de l'Ouest.* Collection Mémoires N° 98. Éditions ORSTOM, Paris, France, 1983, 508 p.
- [7] R. Connor & K. Hiroki, "Development of a method for assessing flood vulnerability." *Water science and technology* 51(5), 2005, pp. 61-67.
- [8] S. Cutter & C. Finch, "Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards." *The National Academy of Sciences of the USA.* 105(7), 2007, pp. 2301-2306.
- [9] S. Cutter, "Vulnerability to environmental hazards." *Progress in Human Geography* 20(4), 1996, pp. 529-539.

[10] S. Cutter, B. Boruff, & W. Shirley, "Social Vulnerability to Environmental Hazards." *Social Science Quarterly* 84(2), 2003, pp. 242-261.

[11] S. Cutter, C. Emrich, D. Morath, & C. Dunning, "Integrating social vulnerability into federal flood risk management planning." *Journal of Flood Risk Management* 6(4), 2013, pp. 332- 344.

[12] A. Dewan, "Hazards, Risk, and Vulnerability Floods in a Megacity." *Springer Geography*, 2013, pp. 35-74.

[13] S. Doocy, A. Daniels, S. Murray & T. Kirsch, *The Human Impact of Floods : a Historical Review of Events 1980-2009 and Systematic Literature Review.* PLoS Currents 5, 2013.

[14] A. Fekete, "Validation of a social vulnerability index in context to river-floods in Germany." *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9(2), 2009, pp. 393-403.

[15] B. Green, T. Kramer, M. Grace, G. Gleser, A. Leonard, M. Vary, J. Lindy, "Traumatic events over the life span : Survivors of the Buffalo Creek disaster." *International Universities Press stress and health series, Monograph 7*, 1997, pp. 283-305.

[16] P. Jankowski, "Integrating geographical information systems and multiple criteria decisionmaking methods." *International journal of geographical information systems* 9(3), 1995, pp.

[17] A. Laaribi, « SIG et analyse multicritère. » Paris : Hermès Science Publications, 19(6), 2000, pp.251-273.

[18] V. Meyer, S. Scheuer & D. Haase, "A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany". *Nat Hazards* 48(1), 2008, pp. 17-39.

[19] B. Montgomery, *Expanding and comparing GIS -based multi-criteria decision making methods: A soft computing logic for agricultural land suitability evaluation*, MSc (Simon Fraser University, Burnaby, BC, Canada, 2015, 118 p.

[20] Y. Ouma & R. Tateishi, "Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multiparametric AHP and GIS : methodological overview and case study assessment." *Water* 6(6), 2014, pp.1515-1545.

[21] D. Renard & P. Chapon, *Une méthode d'évaluation de la vulnérabilité urbaine appliquée à l'agglomération lyonnaise.* *L'Espace Géographique* 39(1), 2010,

[22] T. Saaty, "A scaling method for priorities in hierarchical structures." *Journal of Mathematical Psychology* 15(3), 1977, pp. 234-281.

[23] S. Scheuer, D. Haase & V. Meyer, "Exploring multicriteria flood vulnerability by integrating economic, social and ecological dimensions of flood risk and coping capacity: from a starting point view

towards an end point view of vulnerability." *Nat Hazards* 58(2), 2011, pp.731-751.

[24] S. Scheuer, D. Haase & V. Meyer, "Exploring multicriteria flood vulnerability by integrating economic, social and ecological dimensions of flood risk and coping capacity: from a starting point view towards an end point view of vulnerability." *Nat Hazards* 58(2), 2011 pp. 731-751.

[25] C. Sebald, *Towards an integrated flood vulnerability index : A flood vulnerability assessment.* Thèse de maîtrise (Université of Twente, Enschede, Pays-Bas), 2010, 85 p.

[26] S. Tapsell, E. Tunstall, Penning-Rowell and J. Handmer, *Les effets sur la santé suite à l'inondation de Banbury et Kidlington, 1998.* Report to the Environment Agency, Thames Region ; Flood Hazard Research Center, Middlesex University, Queensway, Enfield, Middlesex EN3 4SF. 1998.

[27] E. Tate, "Social vulnerability indices : a comparative assessment using uncertainty and sensitivity analysis." *Nat Hazards* 63(2), 2012, pp. 325-347.

[28] H. Tchékote & C. Kaffo, « Déguerpissements et gouvernance urbaine : Yaoundé entre échec de planification et tentatives de régulation territoriale. », *Revue des hautes terres*, 2, 2012, pp. 93-104.

[29] A. Vári, Z. Ferencz & S. Hochrainer-Stigler, "Social Indicators of Vulnerability to Floods : An Empirical Case Study in Two Upper Tisza Flood Basins." *Integrated Catastrophe Risk Modeling : Supporting Policy Processes*, Amendola A, Ermolieva T, Linnerooth-Bayer J & Mechler R (Édit.) Springer Netherlands, 2013, pp. 181-198.