

Expansion urbaine et vulnérabilité aux mouvements de masse dans la commune de Yaounde 6: approche par SIG

Nouembissi Feukam Emmanuel*¹, Joseph Youta Happi¹

¹Département de Géographie (géographie physique), Université de Yaoundé1 P.O. Box 755 Yaoundé Cameroun.

*Corresponding author email: lilnoubians@gmail.com

Résumé

Le coût du foncier dans le centre urbain des pays en voie de développement étant très élevé, les populations pauvres se déploient dans les sites périphériques à risque pour la plupart non aménagés, d'où la récurrence des aléas naturels tel que les mouvements de masse (Zogning et al., (2016). Dans le cas de Yaoundé 6, ce constat présenté par l'auteur ci-dessus s'observe par l'occupation anarchique des espaces vert (zones non aedificandi) et des constructions non conformes sur de versants à pente très abrupte (Mewoulou, Akok ndoé1-2, Etoug –Ebé, Vallée Mendong). La caractérisation de l'aléa mouvement de masse dresse une interaction entre les facteurs physiques et humains. L'analyse géospatiale par approche SIG identifie comme facteurs du risque : la géologie, la topographie, le climat, l'hydrographie, la couverture végétale, l'occupation du sol, l'urbanisation anarchique, la pédologie...). La pondération des facteurs du risque dresse les cartes d'aléa notamment la susceptibilité, la vulnérabilité et l'exposition incluant des catégorisations d'aléa en trois principales classes : faible, moyen et fort. Bien plus, les résultats issus du diagnostic spatiale, attestent que 1052 habitations sont exposés situés dans les zones à haut risque et susceptible d'être impacté par l'aléa, de même près de 70% de cette population ont un revenu mensuel compris entre 0-150 000f. La gestion intégrée de la vulnérabilité aux mouvements de masse passe par une urbanisation contrôlée et structurée, l'implémentation des mesures de surveillances, des systèmes d'alerte, et une éducation aux risques des communautés locales.

Mots clés : Expansion urbaine, mouvement de masse, vulnérabilité, Yaoundé 6, approche SIG.

Received: 16/02/2025

Accepted: 31/03/2025

DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/jcas.v21i3.3>

© The Authors. This work is published under the Creative Commons Attribution 4.0 International Licence.

Abstract

The high cost of land in the urban center of developing countries forces low-income populations to settle in peripheral, often unplanned, high-risk areas, leading to the recurrence of natural hazards such as mass movements (Zogning et al., 2016). In the case of Yaoundé 6, this observation is evident through the anarchic occupation of green spaces (non-aedificandi zones) and non-compliant constructions on steep slopes (Mewoulou, Akok Ndoé 1-2, Etoug-Ebé, Mendong Valley). The characterization of the mass movement hazard highlights an interaction between physical and human factors. Geospatial analysis using a GIS approach identifies risk factors such as geology, topography, climate, hydrography, vegetation cover, land use, unregulated urbanization, and soil properties. The weighting of these risk factors results

in hazard maps, particularly susceptibility, vulnerability, and exposure maps, categorizing hazards into three main classes: low, medium, and high. Furthermore, results from the spatial assessment indicate that 1,052 dwellings are located in high-risk zones and are susceptible to being affected by the hazard, with nearly 70% of the population earning a monthly income between 0 and 150,000 CFA francs. The integrated management of vulnerability to mass movements requires controlled and structured urbanization, the implementation of monitoring measures, early warning systems, and risk education for local communities.

Keywords: Urban expansion, mass movement, vulnerability, Yaoundé 6, GIS approach.

I-Introduction

L'expansion urbaine incontrôlée est un phénomène mondial qui a des conséquences majeures sur la société, l'environnement et la sécurité des populations. Dans de nombreuses régions du monde, les villes connaissent une croissance rapide et désordonnée, souvent motivée par l'industrialisation, la migration urbaine et la recherche de meilleures opportunités économiques. Cependant, cette expansion non planifiée expose les habitants aux risques naturels. Les mouvements de masse font référence à un large éventail de phénomènes tels que les glissements de terrain, les avalanches, l'éboulement de rochers, les coulées boueuses et les effondrements de terrain. De nos jours l'expansion urbaine incontrôlée contribue à accroître considérablement les risques associés à ces phénomènes (Mougoue et al,2021 ;Fofack 2019 ;Ojuku et al,2017 ;Saha et al201). Dans cet article, une examination des causes et des conséquences de l'expansion urbaine incontrôlée sera abordée, une cartographie précise de l'aléa (évaluation de la susceptibilité, de la vulnérabilité, et de l'exposition) ainsi que les dangers liés à l'exposition aux mouvements de masse. L'expansion urbaine incontrôlée est généralement le résultat de divers facteurs socio-économiques tels que la croissance démographique rapide, la pauvreté et les inégalités socio-économiques dans nombreuses villes cependant le développement spontané sans aucune planification adéquate entraîne une utilisation inefficace des terres. Ces conditions font que les populations urbaines deviennent plus vulnérables aux mouvements de

masse. Les constructions irrégulières dans des zones à risque, comme sur des pentes raides, les zones sujettes aux inondations ou les failles géologiques, augmentent les chances d'occurrence de mouvements de masse.

Zone d'étude

La commune de Yaoundé 6 (figure1) est située entre le 3°50'39"Latitude Nord et 11°28'32"Longitude Est) elle est limitée au nord par la commune de Yaoundé II au Sud par la commune de Yaoundé III, à l'ouest par la commune de Yaoundé VII. Elle occupe une superficie de 2220 ha soit 22,2 Km². Toutefois, d'après le plan d'occupation de sol (POS 2020), la commune de Yaoundé 6 offre seulement 13% de surface favorablement constructible contre 87% non favorable aux constructions et nécessite des études géotechniques spécifique en cas de construction. Cependant, le cadre topographique de Yaoundé 6 enregistre un milieu très pentu et une forte anthropisation du milieu notamment au niveau des versants sujets à des instabilités géologiques (glissement de terrain, chute de bloc, et éboulement de terrain). L'absence d'une cartographie précise des zones à risque constitue un handicap pour les autorités de la commune dans la gestion et la prévention des catastrophes naturels. Les quartiers sujets aux risques sont les zones périphériques notamment les quartiers : akok-ndoé (glissement de terrain et chute de bloc), Mewoulou (chute de bloc), Vallée Mendong (éboulement et effondrement de terrain), (photos en annexe).

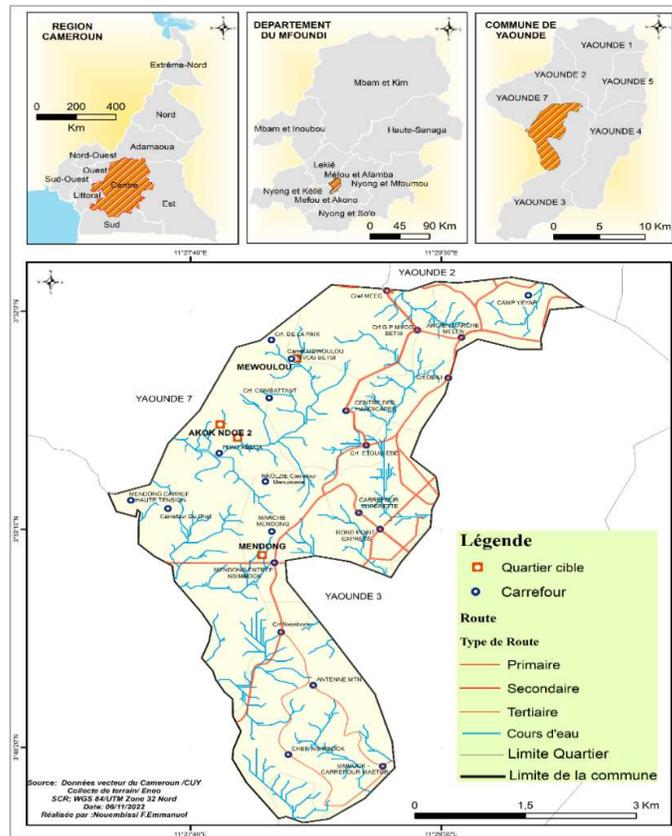


Figure1 : Carte de localisation de la zone d'étude

II-Méthodologie

Afin de mener une analyse complète et de cartographier l'aléa, une méthodologie allant de la collecte au traitement de données a été mise sur pied.

Collecte des données de sources secondaires et primaire

Collecte des données de sources secondaires :

La collecte des données de source secondaire dans cet article renvoie à la recherche documentaire notamment la consultation des travaux scientifiques existants sur les risques naturels et en occurrence les mouvements de masse (articles, thèses, rapport, et ouvrages). Par ailleurs, une consultation des archives sur l'historique des évènements passés a été effectué.

Collecte des données de source primaire :

La collecte des données de source primaire dans cet article renvoie aux enquêtes de terrain. En effet, il s'agit des observations de terrains, des captures GPS des points d'aléa, des entretiens et avec les autorités locales et les populations, des calculs de dénivellations et mesure des distances topographiques. Bien plus, une collecte des données géospaciales et cartographiques travers le téléchargement des images suivantes : rassemblement des données géospaciales (SRTM 30m, LANDSAT 5, 7,9), et les capture GPS via et Google Earth Pro des zones à risque ; ensuite collecte des données géologiques, météorologiques et topographiques (tableau1).

Tableau 1 : donnes géospaciales et caractéristiques

Données	Détails	Sources
DEM	Raster 30m	https://www.usgs.gov
Landsat 5, 7,9	Raster 30m (Capteur TM, OLI_TIRS)	https://www.usgs.gov/
SRTM	Raster 30m	https://www.usgs.gov/
Fichiers de formes : kml/kmz, (Shapefiles : shp)	Hydrographie, route, toponymie	Communauté urbain (CUI), données de terrain

Modélisation des modèles de donnée

• **Conception d’un MCD et MLD** : Cette étape a permis de prime à bord d’investiguer sur la base de données, la concevoir, la structurer, faire certaine correction topologique, la stocker afin de faciliter les requêtes utiles pour la modélisation de nos résultats. **Analyse SI** est le logiciel open source sous licence GPL 1 développé par **Java** gratuit et à libre accès qui a permis de modéliser la base de données cartographique disponible et collectées pour cet article.

Traitement des données

- **Analyse multi facteurs** : Pondération des facteurs du risque (pente, orientation des pentes, relief, aspect pédologique, géologie, précipitations, utilisation des terres, accumulation des flux, l’hyposométrie, occupation du sol etc.) par analyse AHP avec ArcGIS10.8. Ensuite classification et hiérarchisation des facteurs du risque par niveau d’influence c’est-à-dire attribué à chaque élément (accumulation de flux, topographique, géologie, couvert végétale, pente, etc.) un pourcentage.
- **Modélisation** : Développement de modèles d’aléa éboulement en intégrant les différents facteurs identifiés, permettant la création de cartes d’aléa (susceptibilité, vulnérabilité, et du risque).
- **Validation sur le terrain** : Comparaison et vérification des modèles obtenue à travers une observation méticuleuse du terrain et des résultats sur carte.
- **Cartographie des zones à risque** : Création de cartes précises identifiant les zones les plus exposées, susceptibles aux éboulements, et les

zones les plus vulnérables fournissant des informations cruciales sur la spatialisation de l’aléa.

• **Calcul technique : formule de calcul des valeurs de pente**

$$Pente(\%) = \frac{Dénivelé(m)}{Distance\ Topo(m)} \times 100$$

III-Résultats

Facteurs du risque : Plusieurs facteurs sont à l’origine des mouvements de masse dans la commune de Yaoundé 6 :

1-Un relief accidenté et une orographie complexe

Le relief très accidenté de Yaoundé 6 (figure 2A-B) avec des fortes dénivellations offre des conditions favorables à la mise en place des glissements de terrain, des éboulements et chute de bloc. En effet, la convexité du site impose des terrassements et cisaillements sur versant afin d’implanter des habitations. Ces terrassement modifie la stabilité du versant et par le biais de l’érosion hydrique et des pressions interstitielles subit des déformations sur la durée. L’instabilité provoquée à leur tour génère des éboulements de terrain. Les quartiers exposés sont : Mewoulou, Etoug-Ebe et Akok-Ndoé I-II, et Mendong (lieudit 105 escalier). Les paramètres topographiques et démographiques suivants attestent de la vulnérabilité de ces quartiers (tableau 2).

Tableau 2 : paramètres d'exposition des quartiers à risque

Echantillon des Zone cible	Dénivelé(m)	Distance (km)	Topo	Pente (%)	Nombre de ménage
1-Mendong (vallée 105)	68m	400m		17%	5571
2-Mendong (derrière camp sic)	94m	800m		12%	
3-Akok-doué 1	70m	800m		23%	4560
4-Akok-doué 2	76m	1200m		6%	
6-Mewoulou	139m	1610m		9%	12186
8-Etoug-Ebe	38m	1830m		2%	2683

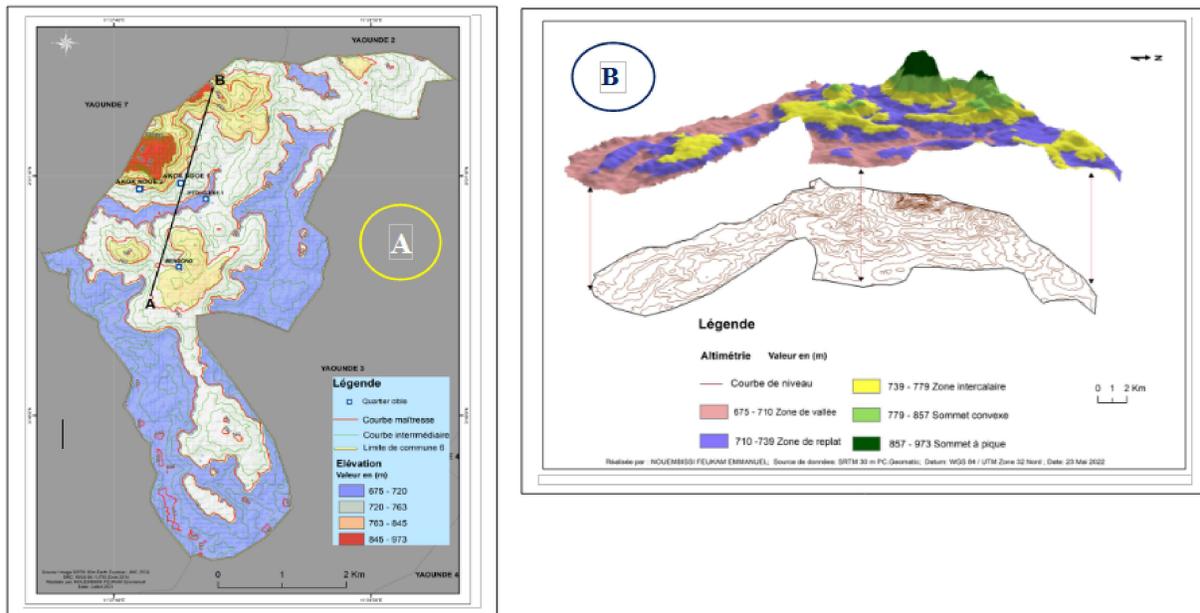


Figure 2 : Carte Topographique (A) et hypsométrique (B) Yaoundé 6

2-Des pentes très abruptes.

La pente joue un rôle crucial dans la mise en place des phénomènes tels que les chutes de bloc et éboulements de terrain. En effet, les fortes pentes couplées à l'action gravitationnelle influencent les mouvements terrain sur versants. Les talus sujets à l'érosion hydrique et pressions interstitielles connaissent une grande instabilité et déformation. Bien plus, l'intensité de la pente évaluée par l'angle topographique de Yaoundé 6 montre une forte inclinaison et raideur des talus dans les zones à risque. Ainsi, en fonction des intensités de pente suivant leur répartition spatiale, la manifestation des glissements de terrain, éboulements et chute de bloc obéissent à cette disposition spatiale. Le milieu physique de Yaoundé 6 enregistre plusieurs

classes à savoir : les pentes Nulle à faible variant entre (0- 3%) représentant 12% ; ensuite les pentes modérées (3%-12%) représentant 32%; les pentes abruptes (12%-20%) représentant 34% ; les pentes très abruptes qui varient entre (20%-35%) représentant soit 16% ; et enfin les pentes extrêmement abruptes supérieur à 35% ; (figure 3). En somme, un relief à forte pente est plus susceptible aux mouvements de masse qu'un relief à faible pente en raison de la force gravitationnelle qui s'applique.

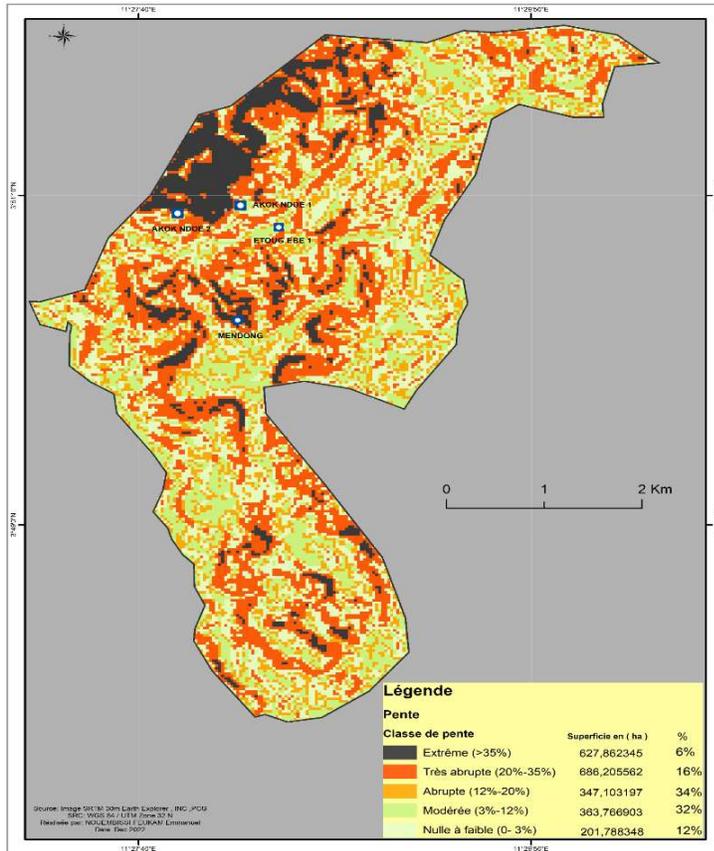


Figure 3: Carte des pentes de la commune de Yaoundé 6

3-Geologie et pédologie

La commune de Yaoundé 6 se situe sur le plateau sud-camerounais, un des principaux ensembles géologiques du pays. Le substratum est essentiellement constitué de gneiss embréchite et migmatique. La pédologie du site est composée des sols bruns sur embréchite, en profondeur 8m à 10m (sols plus profonds, bruns-rouges en surface, généralement bruns-jaunes) et dans les bas-fonds (sols hydromorphes). La géologie (figure 4) et la pédologie (figure 5) jouent un rôle crucial dans les mouvements de terrain. En effet, l'altération de la roche mère contribue à l'instabilité de la structure géologique du site. La texture argileux-sableuse et la forte capacité de rétention en eau de certain site favorisent les glissements de terrain et affaissements.

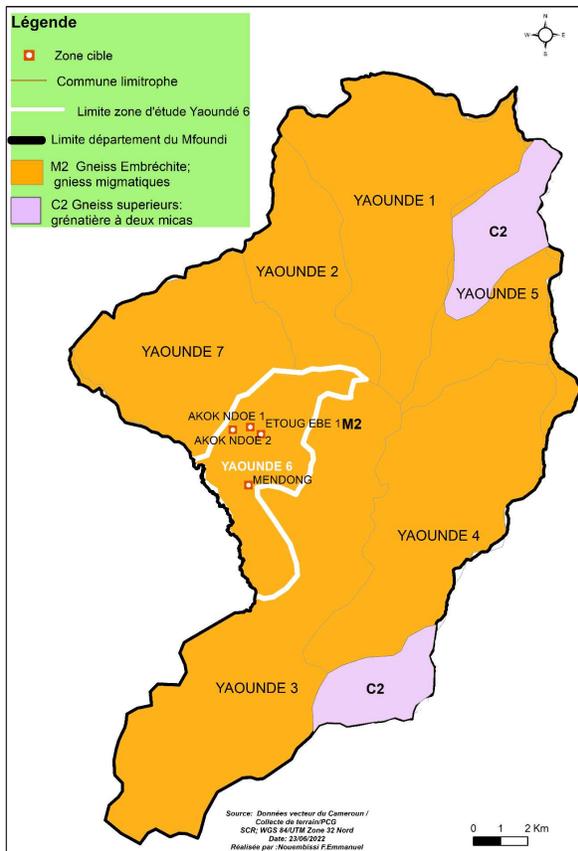


Figure 4 : Cartes géologique de Yaoundé 6

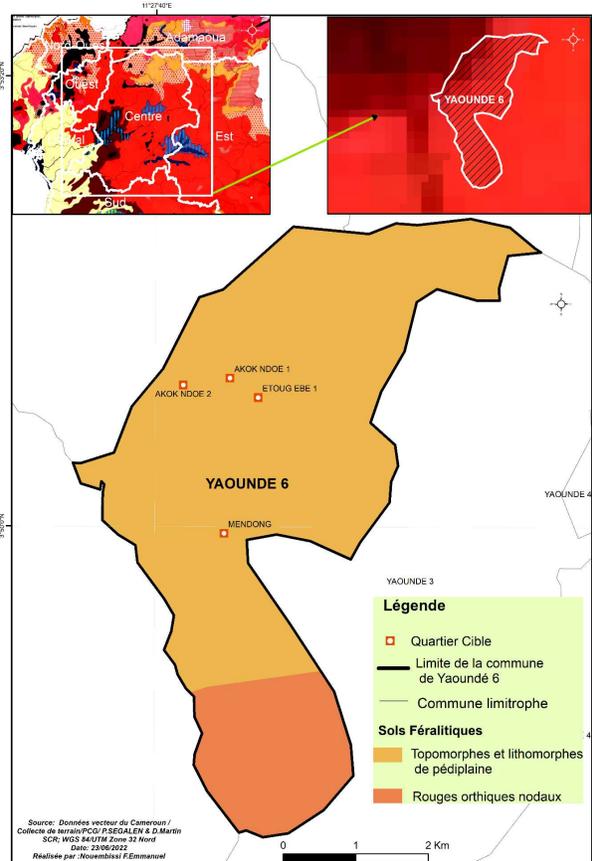


Figure 5 : Cartes pédologique de Yaoundé 6

4-Hydrographie : une accumulation des flux très dense

Le réseau hydrographique de la commune de Yaoundé 6 est dense et de type dendritique. On note la présence d'environ 3 cours d'eau au km². Le sens d'écoulement des collecteurs principaux sont du Nord vers le Sud et du Nord-Est vers le Sud-Ouest (OLIVRY 1986). L'hydrographie joue un rôle très crucial dans la mise en place des mouvements de terrain. En effet, les cours d'eau sillonnant les versants, lessivent les talus du lit majeur et provoque des instabilités. De même, l'évaluation des poches d'eau souterraines de Yaoundé 6 à travers la carte d'accumulation des flux (figure 6) offre des conditions favorables aux pressions interstitielles. Celles-ci se caractérisent par une poussée de poids sur le sol en subsurface provoquant ainsi des fissures et déformations conduisant aux affaissements sur terrain plat et éboulement sur versant.

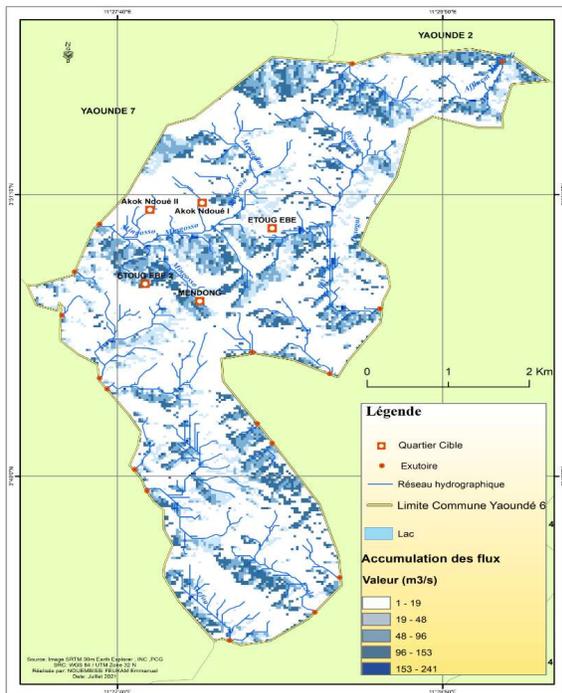


Figure 6 : Réseau hydrographique de la commune de Yaoundé 6

5- Une pluviométrie moyennement abondante

La pluviométrie annuelle générale de Yaoundé auxquelles appartient la commune de Yaoundé 6 enregistre un taux de 1800 à 2200 mm par an (climate data, 2025). La pluie est un catalyseur majeur dans la mise en place des mouvements de terrain. En effet, lors des fortes précipitations, l'intensité des eaux de ruissellement, des eaux de surface à travers l'érosion lessive le sol et entraîne des instabilités géologiques. De même, lors des fortes précipitations, les eaux s'infiltrent dans les fissures du sol et accélèrent les pressions interstitielles qui à leur tour provoquent des déformations du sol donnant lieu soit à des glissements soit des affaissements ou coulées de boues. Bien plus il faut également relever que les pluies à forte intensités ont plus d'impacts sur les mouvements de masse que les pluies à faibles intensités. L'évaluation mensuelle des précipitations (figure 7) présente des mois très pluvieux qui correspondent aux périodes de forte occurrence de l'aléa (Mai, Septembre, Octobre). L'on peut citer ici la catastrophe récente du 8 octobre 2023 enregistré dans la commune de Yaoundé 2 avec un bilan de 30 morts et de nombreux dégâts matériels selon le rapport officiel.

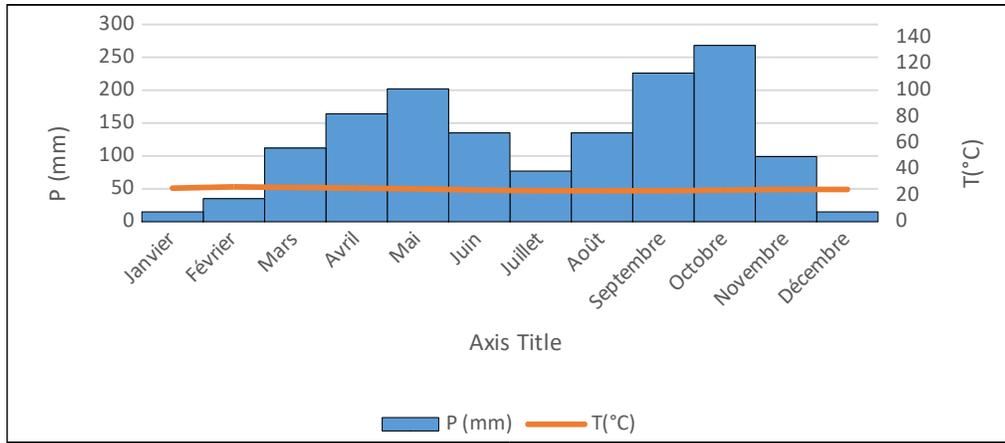


Figure 7 : Diagramme ombrothermique de Yaoundé

Source : Station météorologique de la base aérienne de Mvan –Yaoundé

6-Une occupation du sol très marquée

Avec une population de plus en plus croissante (9%) à la commune de Yaoundé 6 connaît une forte anthropisation du milieu (500 habitant /km²) marqué par une pression foncière accrue au fil des années. Cette pression foncière sur les milieux sensibles notamment les versants à forte pente sont à l'origine des instabilités géologiques enregistrées sur le terrain. L'analyse par télédétection de la surface d'étude sur trois dates (1987, 2001,2022), présente une régression du couvert végétale au

profit de la croissance du bâti (Tableau 3) avec un taux de 44% en 1987, 66% en 2001 et 90% en 2022 (figure 8). L'on enregistre également un développement des sols nus du fait de la régression de la végétation naturel et du développement de la petite agriculture. Ces sols dépourvus de toute protection sont exposés à l'érosion hydrique qui par le mécanisme de lessivage impacte sur la stabilité et modifie la cohésion du site donnant lieu à des déformations source de mouvement de masse.

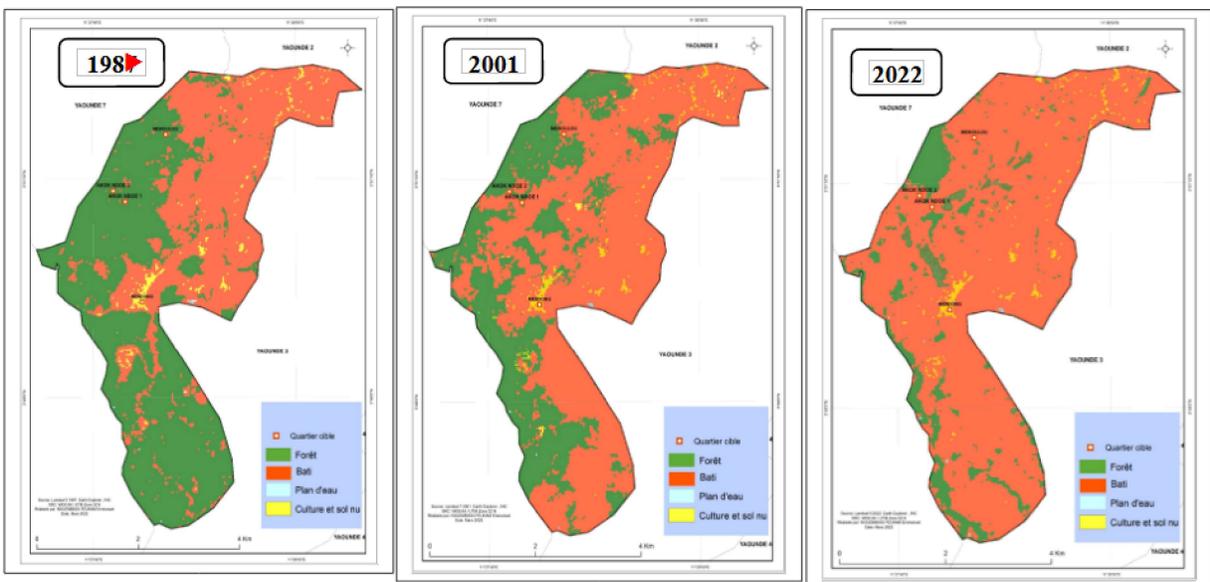


Figure 8 : Occupation du sol de Yaoundé 6 entre 1987 et 2022

Tableau 3 : Statistique de l'occupation du sol entre 1987,2001 et 2022

ANNÉES	CLASSES THÉMATIQUES	POURCENTAGE (%)	TOTAL
1987	Végétation	54%	100%
	Culture et Sol nu	2%	
	Bâti	44%	
2001	Végétation	32%	100%
	Culture et Sol nu	2%	
	Bâti	66%	
2022	Végétation	7%	100%
	Culture et Sol nu	3%	
	Bâti	90%	

Source: Landsat (5, 8,9)

Evaluation du niveau de susceptibilité, de risque, d'exposition et de vulnérabilité à l'aléa mouvement de masse à Yaoundé 6

L'analyse géospatiale de Yaoundé 6 présente quatre classes susceptibilités à savoir (figure 9) : la classe de susceptibilité très forte (en rouge) qui correspond aux zones où la probabilité d'occurrence de l'aléa mouvement de masse est très forte, la classe de susceptibilité forte (en jaune) qui correspond aux zones où la probabilité

de l'occurrence de l'aléa est forte, la classe de susceptibilité moyenne (en vert clair) qui correspond aux zones où la probabilité de l'occurrence de l'aléa est moyenne , et enfin la classe susceptibilité faible (en vert foncé) qui correspond aux zones où la probabilité d'occurrence de l'aléa est faible ou nulle. Ce résultat résulte de la pondération des facteurs physiques et anthropiques.

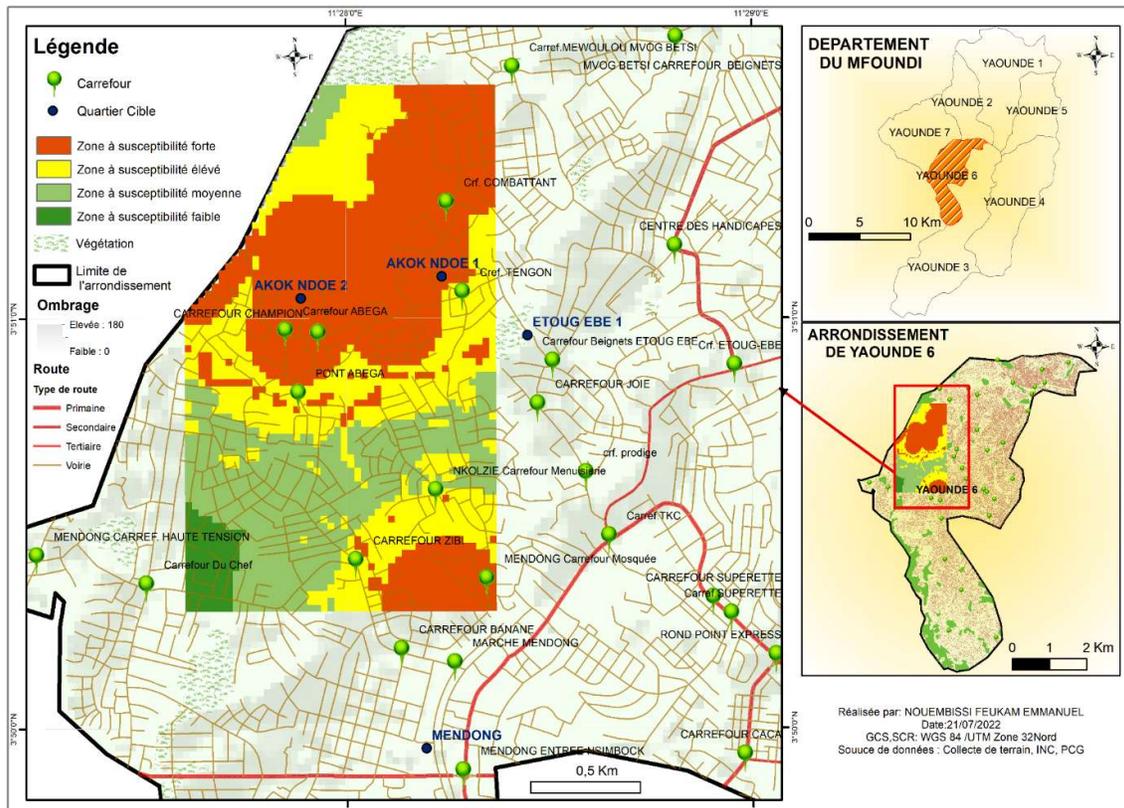


Figure 9 : Carte de susceptibilité de Yaoundé 6

Analyse du risque mouvement de masse

Les zones sensibles aux mouvements de masse dans la commune de Yaoundé 6 sont des zones au relief accidenté, non aménagées aux constructions et densément peuplées. Les versants identifiés dans ces zones ont des pentes à talus raide compris entre 20° et 35°. La couverture végétale est très faible, des sols nus lessivables par l'érosion hydrique. Bien plus, les

terrassements sur talus non conforme pour construction des bâtis, modifient la cohérence du site et déstabilise le sol conduisant aux instabilités. L'évaluation du site présente plusieurs types d'aléa (figure 10) à savoir : les glissements de terrain, les chutes de bloc et les éboulements de terrain. Les quartiers les plus exposés sont : Akok-ndoé 1 et 2, Mewoulou, Etoug-Ebé, vallée Mendong, etc.

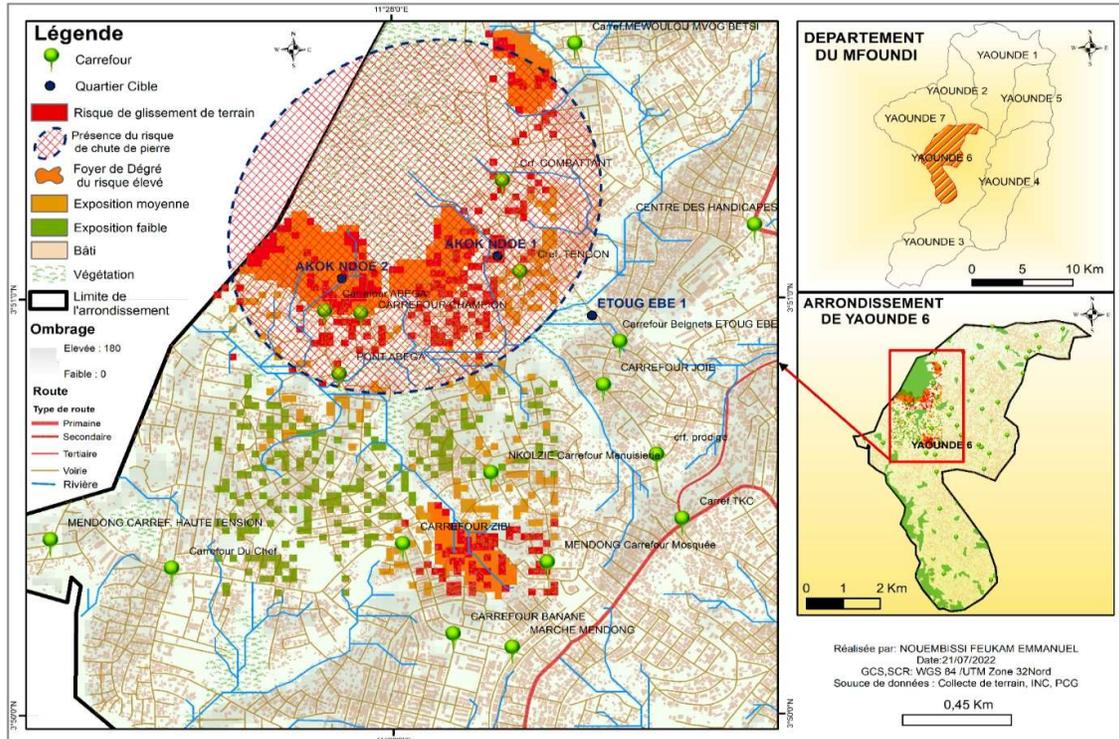


Figure 10 : Carte des zones à risque de Yaoundé 6.

Evaluation du niveau de vulnérabilité à l'aléa mouvement de masse

L'analyse de la vulnérabilité aux mouvements de masse permet d'identifier les éléments ou enjeux vulnérables à l'aléa. La pondération des valeurs dans le logiciel SIG fourni trois classes de vulnérabilité à savoir (figure 11) : la classe de vulnérabilité forte (rouge) qui correspond aux zones où les enjeux vulnérables sont fortement dommageables en cas d'occurrence d'aléa, il s'agit ici des dégâts majeurs en cas de catastrophe. En deuxième position, la classe de vulnérabilité moyenne (orange) qui correspond aux zones où les enjeux vulnérables en cas de manifestation de l'aléa sont moyennement dommageables. Il s'agit

ici des dégâts moyens en cas de catastrophe. Enfin, la classe de vulnérabilité faible (vert) qui correspond aux zones où les enjeux vulnérables sont faiblement impactés en cas de manifestation de l'aléa. Il s'agit ici des dégâts mineurs en cas de catastrophe. Cependant, les zones les plus vulnérables sont situées pour la plupart sur des versants à pente abruptes sujettes aux constructions anarchiques, terrassements non conforme, agriculture sur versant, etc. les enjeux vulnérables identifiés sont : les populations, les routes, les ponts, les habitations et parcelles agricoles. Ainsi, les caractéristiques de la vulnérabilité enjeux exposés aux mouvements de masse est lié à l'interaction entre les facteurs

naturels (topographie du terrain, géologie, couverture végétale, hydrogéologie, pédologie...) et humain (l'urbanisation, la densité de population au m², les activités humaines...). L'analyse des bâtis exposés par technique de

transecte dénombre au total 1052 ménages vulnérables aux mouvements de masse sur les versants d'Akok-Ndoe 1 et 2, vallée Mendong et Mewoulou.

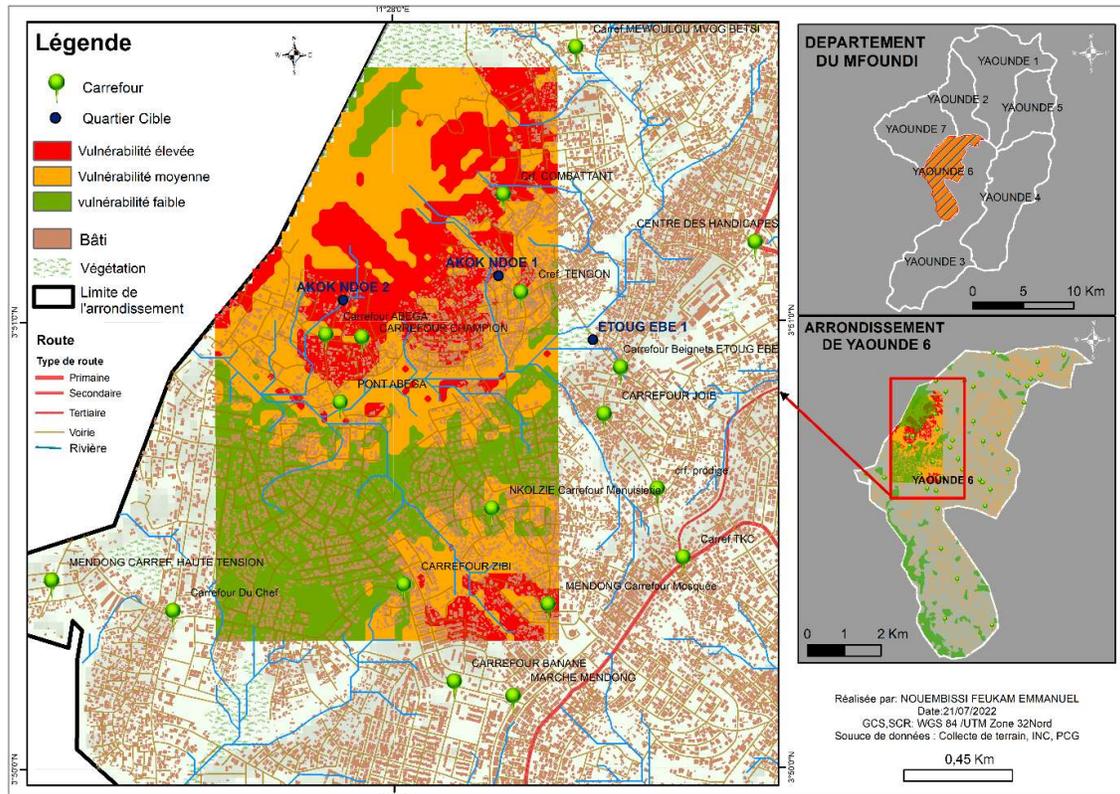


Figure 11 : Carte des zones vulnérable de Yaoundé 6

Evaluation du niveau d'exposition

Le niveau d'exposition des biens et des personnes représente de façon déduite le degré de conséquence potentielle fortement corrélé au niveau de susceptibilité qu'à une parcelle et l'ensemble des éléments vulnérables présent dans cette zone ayant une quelconque importance au niveau local. La discontinuité dans la répartition spatiale du niveau de l'aléa et aussi des éléments d'intérêts local met en exergue des endroits plus ou moins exposés que d'autres. Ainsi, l'analyse de l'exposition (figure 12) présente trois principales classes d'exposition aux mouvements de masse dans la commune de Yaoundé 6 à savoir : en premier, la classe d'exposition forte

(de couleur rouge) qui correspondent aux sites où l'intensité et la manifestation de l'aléa est très élevée avec une occurrence forte. Ensuite, la classe d'exposition moyen (de couleur orange) qui correspondent aux sites où l'occurrence de l'aléa est modérée avec une intensité moyenne. Enfin, la classe d'exposition faible (de couleur verte) qui correspondent aux sites où l'occurrence de l'aléa est faible avec une intensité faible voire nulle. Les enjeux sont minimes et donc les dégâts matériels seront faibles en cas de catastrophe elles prennent la couleur verte sur cette carte.

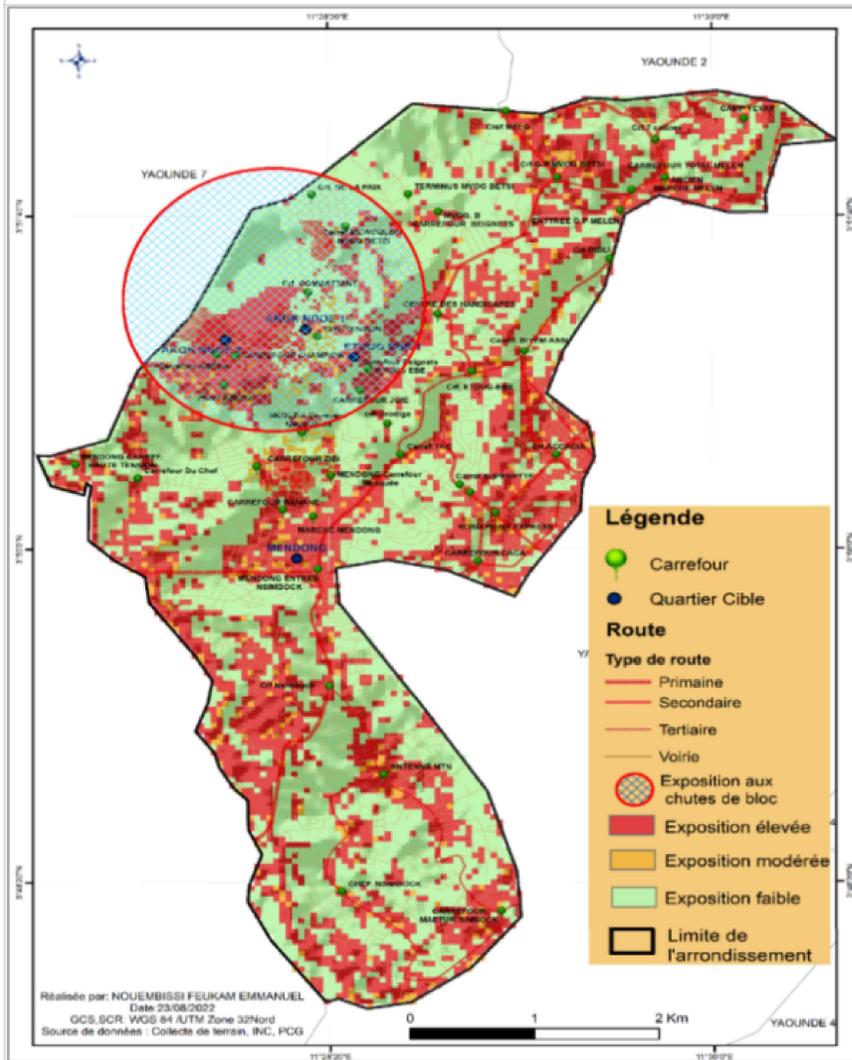


Figure 12 : Carte d'exposition aux mouvements de masse de la commune de Yaoundé 6

6

IV-DISCUSSION

Une étude sur la vulnérabilité aux mouvements de masse dans la commune de Yaoundé 6 présente plusieurs types d'aléa mouvements de masse à savoir : les chutes de bloc rocheux, les glissements de terrain et éboulement de terrain qui appartiennent tous à la grande famille des mouvements rapides. Cependant, l'évaluation de l'aléa mouvements de masse dans la commune de Yaoundé 6 dresse une interaction entre plusieurs facteurs contribuant aux risques. On distingue quatre groupes de facteurs causatifs des glissements de terrain en agglomération influencés pour la plupart par l'action de l'homme (Desodt et al. 2017b). L'hygrométrie (1) : c'est un facteur

influençant directement les propriétés mécaniques du sol en fonction de la porosité, il devient très sensible lors des fortes précipitations augmentant ainsi le facteur de risque des zones susceptibles au glissement de terrain. La saturation anormale des sols en eau affaiblit les propriétés mécaniques de l'écoulement, accélérant son déclenchement ; l'hygrométrie peut être également influencée par l'action de l'homme sur le sol. Le chargement mécanique de la pente (2) : l'aménagement des structures influence le comportement des pentes en ouvrant des fissures. Les pratiques de remblais et déblais accélèrent également la possibilité de glissement. L'action directe de l'homme (3) : les pentes peuvent être

stabilisées grâce au boisement, par biostasie ou phytostasie (Seumo et al, 2024) ; par contre les déboisements conduisent très souvent à l'instabilité de la pente, les hautes herbes limitent l'action du vent sur les versants. L'action de construction et de déconstruction affecte la stabilité des sols. L'accidentel (4): des actions externes peuvent affecter la stabilité des pentes comme des inondations provoquant la saturation et l'érosion des sols ou un séisme engendrant la liquéfaction des sols. La localisation des fortes zones à risque est renforcée par la présence des activités humaines sur des versants entraînant le lessivage et l'érosion des surfaces naturelles, (Enchaw et al, 2023). Dans l'étude des mouvements de masse dans la commune de

Yaoundé, les interactions englobent les facteurs physiques et humains. Comme facteurs contributifs à l'aléa mouvement de terrain à Yaoundé 6, l'on dénombre hiérarchiquement : le relief (1) ; la pente (2) ; géologie (3) hydrographie (4) ; l'occupation du sol (5) ; la couverture végétale (6) ; la structure du sol (7). En effet, l'approche SIG (système d'information géographique) utilisé dans ce travail permet de pondérer plusieurs éléments liés à l'aléa mouvement de masse par approche multifacteurs. Cette approche permet en premier d'identifier et de dresser les facteurs contributifs à l'aléa, ensuite permet également de dresser les interactions entre les différents facteurs menant ou conduisant au risque. Toutefois, la causalité des mouvements de masse dans la commune de Yaoundé 6 émane en premier de la forte croissance démographique conduisant à une forte demande foncière. Cependant, la forte demande foncière couplée à la rareté de l'espace au centre urbain conduit à une augmentation du coût du m² de terrain, rendant ainsi un accès difficile aux espaces viables pour les populations à faibles revenus. Cette situation conduit donc ces populations vers les zones périphériques non aménagées pour acquisition d'un lopin de terre. Les pressions foncières liées aux terrassements sur versant pour construction de maisons d'habitations, aménagement de voirie, agriculture sur versant et bien d'autres provoquent des instabilités de terrain et donne lieu à la manifestation des mouvements de masse. Bien plus, il faut relever que d'après les enquêtes menées auprès des ménages situés dans les zones à risques, 54% de celles-ci ont un revenu mensuel compris entre 0-50 000f d'où, leur précarité et choix porté vers les zones non aedificandi. Les éléments du milieu physique présentent chacun des sensibilités donc les interactions avec d'autres facteurs naturels y compris les facteurs humains favorisent la mise en place de l'aléa. La topographie très accidentée se caractérise par un

relief fortement vallonné avec des classes de pentes assez variées. L'on distingue : la classe de pente faible (0- 3%), les pentes Modérées (3%-12%), les pentes Abruptes (12%-20%), les pentes très abrupte (20%-35%), les pentes extrême (>35%). Les pentes fortes couplées à l'action gravitationnelle favorisent les chutes de bloc et éboulement de terrain. De même, la forte pluviométrie (1600 à 1800 mm par an, Assako, 2010) couplée aux pressions interstitielles exerce une force accrue sur les versants à talus raide conduisant à des déformations de sol et instabilité. Bien plus, l'altération des roches couplées aux sols instables ne contribue également à accroître la vulnérabilité des sites naturels sujets aux glissements et éboulement de terrain. L'orientation des pentes des zones à risque présentes les versants sujets aux instabilités géologiques comme plus vulnérables au vent qui est un facteur catalyseur des chutes de bloc rocheux, glissement de terrain et éboulement. Il s'agit ici des versants d'Akok-Ndoé 1 et 2 pour le cas des chutes de bloc rocheux, Mewoulou et vallée Mendong pour le cas des éboulements de terrain. Toutefois, l'analyse de l'occupation du sol permet d'identifier la contribution de ce facteur dans la Mise en place de l'aléa mouvement de masse. En effet, une évaluation de l'occupation du sol dans la zone d'étude s'est faite sur trois dates (1987, 2001 et 2022). Les images fournies par les capteurs Landsat 5, 7 et 8 après classification par télédétection, permet de suivre l'évolution de l'occupation du sol dans Yaoundé 6. Ainsi, l'analyse révèle qu'en 1987, la végétation, représentait 54% de l'espace de la commune, 33% en 2001 et 8% en 2022. L'on enregistre ainsi une régression du couvert végétal de 21% entre 1987 et 2001 et 25% entre 2001 et 2022, soit un total de régression de 46% entre 1987 et 2022 ce qui peut expliquer le développement des sols nus par endroit. Par contre, en 1987, le pourcentage du bâti dans l'occupation du sol était de 40%, 58% en 2001 et 82% en 2022. Par interprétation d'évolution entre

les différentes années, on a un pourcentage du bâti estimé à 18% entre 1987 et 2001 et 24% entre 2001 et 2022. Au regard de ces statistiques, l'on en déduit que la végétation naturelle régresse au profit du bâti. Cette régression du couvert végétale explique le développement des sols nus. L'urbanisation croissante sous l'évolution du bâti explicite la forte action de l'homme sur le milieu naturel de Yaoundé 6 provoquant les instabilités géologiques enregistrées au fil des années. L'évaluation de la susceptibilité, de la vulnérabilité et la cartographie des zones à risque permet d'en déduire que les espaces vulnérables aux mouvements de masse sont plus les zones de versant à forte pente et fortement anthropisé. Une analyse SIG permet d'intégrer diverses données géographiques, telles que la topographie, la géologie, les précipitations, l'occupation des terres, ainsi que les infrastructures existantes. En analysant ces informations, il devient possible de cartographier les zones à risque et d'identifier les facteurs contribuant à la vulnérabilité aux mouvements de masse.

En somme l'étude des mouvements de masse dans la commune de Yaoundé 6 par approche SIG permet d'identifier et de combiner plusieurs facteurs contribuant à la mise en place de l'aléa. Bien que cette approche permet d'analyser les facteurs d'aléa par approche multi facteur, d'autres approches peuvent également être abordé afin de fournir des résultats plus détaillés. L'on peut convoquer ici l'approche multicritère avec une analyse plus fine et plus détaillée des facteurs d'aléa couplé aux analyses de laboratoire de sol afin d'obtenir des informations sur les propriétés mécaniques et élastiques des sites d'aléa.

V-CONCLUSION

Les systèmes d'informations géographiques et la cartographie se positionnent aujourd'hui comme d'excellents outils dans le diagnostic territorial pour la prise de décision efficace, Tsoata (2020). L'approche par SIG utilisée dans cet article a

permis en premier l'identification des facteurs d'aléa et par la suite évaluer le niveau, susceptibilité, de risque d'exposition, et de vulnérabilité dans la Yaoundé 6. Grâce aux cartes de susceptibilité, de l'exposition et de vulnérabilité à l'aléa, nous avons pu d'identifier, évaluer les zones d'actions prioritaires et apporter des solutions efficaces et durables. L'implémentation de la technique Des $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ transects $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$ a permis d'identifier 1052 ménages vulnérables dans les zones à risque (Akok Ndoué 1et 2, Mewoulou, et Mendong vallée). La classification à travers les cartes d'aléa permet de dresser 3 classe des risques à savoir les zones à risque élevé avec forte occurrence de l'aléa, les zone à risque moyen avec une occurrence moyenne de l'aléa et les zones à risque faible avec une occurrence faible voir nul de l'aléa. En somme, la gestion durable d'un l'aléa mouvement de terrain passe par la prise en compte de plusieurs mesures : Une urbanisation contrôlée et structurée, la cartographie permanente des zones à risque et leur intégration dans les documents de planification urbaine notamment les plan d'occupation du sol (POS) les plan directeur d'urbanisme (PDU), etc..., l'interdiction d'occupation des espaces verts, l'implémentation des systèmes d'alerte notamment les inclinomètre (pour surveiller les mouvements sur les versants), les piézomètre pour (pour surveiller les fissures souterraines) les extensomètres (pour suivre les distances des fissures des mouvements de terrain, les géophones pour capter les signaux de toute instabilité Géologique, les pluviographes (pour évaluer les hauteurs et intensité des précipitations à fin de prévenir leur impacts sur les instabilité géologiques, etc. De même, la mise sur pied d'une agence de gestion de risque et prévention des catastrophes s'avère cruciale et indispensable. Ces mesures techniques permettront d'assurer une bonne gestion et suivi de l'aléa et de ce fait augmenter la résilience des communautés.

Annexe :



REFERENCE

Andre, D. (2013). *Les risques et les catastrophes urbains*. Wesseling pp 42-53.

Assako Assako, R, J. (2010) *Yaoundé la métropole face à son arrière-pays Dianoia*. Paris 176p.

Bendi-ouis, A., (avril 2020). *Stabilité des versants rocheux*, université de TLEMCEM Faculté de technologie - département de génie civil. Pp 19-20.

Chantal, B. Amelie, G. (2005). Cartographie des zones exposée au glissement de terrain dans les dépôts meubles. Saguenay-Lac- saint-Jean, Quebec. *échogéo* p15-23.

Climate data. (2025). Climat Yaoundé : pluviométrie et Température. <https://fr.climate-data.org> Chardon., (1994). Notion de vulnérabilité, vertigo, vol6 n°1,6p.

Desodt, C., Launay, J., & Molinaro, H. H. (2017a). *Les glissements de terrain, modélisation et prévision*. 18.

Enchaw Gabriel Bachange.,Seumo Saint-Clair., (2023).“Vulnerability to Land Slides in Bafoussam I Council (West Region-Cameroun): Multi- Factor, Cartographic and Geographic Information System Analytical Approach,” *International Journal of Multidisciplinary Research and Publications (IJMRAP)*, Volume 5, and Issue 10, pp. 164-171.

Fofack Mujia, G. G. (2019). Exposition aux risques morpho-hydrologiques dans deux secteurs périurbains de la ville de Yaoundé. Cas des monts Akok-Ndoué et Mvog-betsi au sud-ouest de la ville.

J,C,Olivry,(1986) Fleuves et rivières du Cameroun. Collection <<Monographies Hydrologiques ORSTOM>> n°9 Paris 781pp

Kengne, Fodouop., (1992). Les problèmes environnementaux dans les grandes villes camerounaises, et la situation de l'environnement au Cameroun, Cahiers de Fondation Friedrich Ebert, Yaoundé, n°5, pp.7-25

Kengne, bobda., (2000). Croissance du taux d'urbanisation de 1964 à 2020 au Cameroun pp50-56.

Metzger p. Et d'ercole r.,(2011) : Les risques en milieu urbain : éléments de réflexion, *EchoGéo* [En ligne], 18 | 2011, mis en ligne le 06 décembre 2011, consulté le 04 novembre 2022. URL : <http://echogeo.revues.org/12640> ; DOI : 10.4000/echogeo.12640 60p.

Mougoue Benoît., Nya Esther, L. (2021) : Croissance de la ville de Yaoundé et résiliences aux pandémies. p15. <https://revues.imist.ma/index.php/EGSM/article/download/24582/13021/64651>

Ojuku, Tiafack., Alex Mengue Mbon. (2017).Urban Growth and Front Development on Risk Zones: GIS Application for Mapping of Impacts on Yaounde North Western Highlands, Cameroon.*Current Urban Studies* Vol.5 No.2 DOI: 10.4236/cus.2017.52013. <https://scirp.org/journal/>

<articles/articles?searchcode=Ojuku+Tiafack&searchfield=authors&page=1&skid=0> POS. (2020). Plans d'occupation des communes de Yaoundé, 175Pp.

Saha, F, Dagobert Tchio, N., Mesmin, T., Voundi, E., (2018). Production des risques naturels dans les grands centres urbains du Cameroun. <https://www.cairn.info/revue-natures-sciences-sociétés> ,(Vol 26). P418-433.

Seumo saint-clair., Nouembissi feukam,E.(2024) Landslide hazard mapping in Mbankolo Yaounde Cameroon : Multi-factors analysis and outlook;IJMRAP-V6N12P88Y24. 8p.

Tchindjang m. Et njilah i. K., (2001) : Risque d'inondation dans la vallée de Nyos African Journal of Science and Technology (AJST) *Science and Engineering Series Vol. 2, No. 2*, pp. 50-62.

Tsoata, F, Tangmouo. (2020). Cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain à Bafoussam (Cameroun). Approche par analyse multicritère hiérarchique et Système d'Information Géographique, 33p. <https://www.researchgate.net/publication/348592870>

Zogning, a., ngouanet, c., & nghonda, j. (2008). *Recherche scientifique et technique/ : Gestion des risques et catastrophes naturels au Cameroun* (p. 457 466).

Zogning, mofo, o. (2016) Contribution des systèmes d'information géographique pour la cartographie des zones à risques de Yaoundé.