

## Mémoire

**Auteur :** Léonard, Zoé

**Promoteur(s) :** Hubert, Aurelia; 28923

**Faculté :** Faculté des Sciences

**Diplôme :** Master en sciences géographiques, orientation global change, à finalité approfondie

**Année académique :** 2024-2025

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/23930>

---

### Avertissement à l'attention des usagers :

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---



Université de Liège  
Faculté des Sciences  
Département de Géographie

# L'ÉVOLUTION DE LA VULNÉRABILITÉ SOCIALE AUX ALÉAS NATURELS ENTRE 2014 ET 2018 DANS LA VILLE DE BUKAVU (RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE DU CONGO)

Mémoire présenté par **Zoé LÉONARD**

En vue de l'obtention du grade de **Master en Sciences géographiques,**  
**orientation global change, à finalité approfondie**

Année académique : **2024 - 2025**

Date de défense : **Septembre 2025**

Président de jury : **M. Xavier FETTWEIS**

Promotrices : **Mme Caroline MICHELLIER**

**Mme Aurélia HUBERT**

Lecteurs : **M. Roland BILLEN**

**M. Jean VAN CAMPENHOUT**



# REMERCIEMENTS

*Je souhaite tout d'abord remercier sincèrement mes promotrices Mmes Caroline Michellier et Aurélia Hubert, qui m'ont encadrée avec disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire de fin d'études. En particulier, merci à Mme Caroline Michellier de m'avoir donné l'opportunité de travailler sur ce sujet, qui constitue une continuité de ses travaux, tout en me conseillant et en m'apportant son expertise dans le domaine. Merci également à Mme Aurélia Hubert de m'avoir apporté son aide tout en me guidant. Leurs implications et encouragements respectifs ont été vivement appréciés.*

*Mes remerciements s'adressent aussi à M. Sylvain Kulimushi Matabaro de l'ISP de Bukavu pour ses précieux retours. Ses contributions ont permis de pallier mon manque d'expérience et de connaissance du terrain, tout en apportant une validation experte à ce travail.*

*Je tiens également à remercier les lecteurs, MM. Roland Billen et Jean Van Campenhout pour l'investissement qu'ils consacreront à l'évaluation de ce travail.*

*De manière générale, je remercie toutes les personnes qui m'ont aidée lors de l'élaboration de ce mémoire ; leurs contributions, qu'elles soient petites ou grandes, directes ou indirectes, étaient essentielles à son accomplissement.*

*À ma famille et mes proches, j'exprime toute ma gratitude pour leur soutien inébranlable et ce, depuis toujours ... En particulier, merci à ma maman qui a toujours su m'encourager et me porter vers le haut !*

*Ce mémoire représente l'aboutissement de cinq années d'études passionnantes en sciences géographiques, études riches en apprentissages et en rencontres. Merci à toutes celles et ceux que j'ai côtoyés durant ces années pour le bout de chemin parcouru ensemble et pour tous les moments de partage, et ceux à venir.*



# RÉSUMÉ

---

La ville de Bukavu, située à l'est de la République démocratique du Congo, fait face à d'importantes catastrophes liées à des aléas naturels tels que des glissements de terrain, des séismes et des inondations. Dans un contexte de rareté de données, une enquête de terrain organisée en 2018 a permis de récolter des données démographiques, socio-économiques et de perception du risque auprès des populations locales. Ce travail exploite ces données afin d'évaluer la vulnérabilité sociale à ces aléas naturels à travers deux indices : SoVI (Social Vulnerability Index), complexe et inductif, et OVI (Operational Vulnerability Index), plus simple et déductif. Les indices ont été calculés à l'échelle des zones morphologiques, puis comparés aux résultats obtenus lors d'une enquête relativement similaire menée en 2014. Spatialement, les analyses révèlent que la vulnérabilité sociale tend à augmenter à mesure que l'on s'éloigne des quartiers centraux et historiques vers les zones périphériques et plus rurales. Temporellement, entre 2014 et 2018, la vulnérabilité sociale s'est accentuée dans les zones déjà les plus vulnérables, tandis qu'elle a diminué dans celles initialement les moins vulnérables. Sur le plan méthodologique, la comparaison entre les indices SoVI et OVI met en évidence des tendances spatiales et temporelles globalement cohérentes malgré quelques nuances locales. De manière générale, l'utilisation d'indices de vulnérabilité sociale constitue un outil pertinent pour identifier les zones prioritaires et orienter les stratégies de gestion des risques face aux aléas naturels.

---

Mots clés : Bukavu • évaluation de la vulnérabilité • vulnérabilité sociale • aléas naturels • indice de vulnérabilité • SoVI • OVI

# ABSTRACT

---

The city of Bukavu, located in the east of the Democratic Republic of the Congo, faces major disasters related to natural hazards such as landslides, earthquakes, and floods. In a context of data scarcity, a field survey conducted in 2018 collected demographic, socioeconomic, and risk perception data among local populations. This study uses these data to assess social vulnerability to these natural hazards using two indices: SoVI (Social Vulnerability Index), which is complex and inductive, and OVI (Operational Vulnerability Index), which is simpler and deductive. The indices were calculated at the morphological zone level and then compared with the results obtained in a relatively similar survey conducted in 2014. Spatially, the analyses reveal that social vulnerability tends to increase with distance from central and historic neighborhoods towards the peripheral and more rural areas. Temporally, between 2014 and 2018, social vulnerability increased in areas that were already the most vulnerable, while it decreased in those that were initially the least vulnerable. Methodologically, the comparison between the SoVI and OVI indices highlights broadly consistent spatial and temporal trends, despite some local variations. In general, the use of social vulnerability indices is a useful tool for identifying priority areas and guiding risk management strategies in the face of natural hazards.

---

Key words: Bukavu • vulnerability assessment • social vulnerability • natural hazards • vulnerability index • SoVI • OVI

# TABLE DES MATIÈRES

<b>Remerciements.....</b>	<b>2</b>
<b>Résumé .....</b>	<b>3</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>4</b>
<b>Table des matières .....</b>	<b>5</b>
<b>Liste des figures .....</b>	<b>7</b>
<b>Liste des tableaux .....</b>	<b>9</b>
<b>Liste des abréviations.....</b>	<b>10</b>
<b>Chapitre 1 • Introduction .....</b>	<b>11</b>
1.1 Problématique et contexte .....	11
1.2 Question et objectifs de recherche .....	12
<b>Chapitre 2 • Cadre théorique.....</b>	<b>14</b>
2.1 Concepts de base .....	14
2.2 Le concept de vulnérabilité.....	15
2.2.1 Émergence et définitions du concept de vulnérabilité face aux catastrophes .....	15
2.2.2 Un concept multidimensionnel et dynamique.....	15
2.2.3 Des modèles analytiques : modèle PAR et modèle de vulnérabilité liée au lieu .....	17
2.2.4 Une évaluation inégale entre les produits du risque : aléa et vulnérabilité .....	19
2.3 Le concept de vulnérabilité sociale.....	20
2.3.1 Notions clés et caractéristiques.....	20
2.3.2 Évaluation de la vulnérabilité sociale : approches et exemples de cas d'étude .....	20
<b>Chapitre 3 • Contexte du site de l'étude.....</b>	<b>31</b>
3.1 Présentation générale de Bukavu.....	31
3.2 Urbanisation, dynamique démographique et contexte socio-économique général ..	35
3.3 Aléas naturels.....	37
3.4 Gestion des risques et changement climatique .....	39
<b>Chapitre 4 • Méthodologie .....</b>	<b>41</b>
4.1 Enquête de terrain : la base de données de l'étude .....	41
4.1.1 Préambule : étude de 2018, une extension à celle de 2014 .....	41
4.1.2 Données issues de l'enquête .....	42
4.2 Site et échelles d'étude .....	46
4.3 Analyse descriptive : indicateurs socio-économiques et informations démographiques .....	48

<b>4.4</b>	<b>Évaluer la vulnérabilité sociale .....</b>	<b>49</b>
4.4.1	Données .....	50
4.4.2	Construction d'indices de vulnérabilité sociale .....	51
4.4.3	Résultats de 2014.....	57
4.4.4	Évaluer l'autocorrélation spatiale des scores des indices.....	58
<b>Chapitre 5 • Résultats.....</b>		<b>59</b>
<b>5.1</b>	<b>Caractérisation socio-économique de la population de Bukavu .....</b>	<b>59</b>
5.1.1	Densité de population .....	59
5.1.2	Répartition de l'âge et du sexe .....	63
5.1.3	Durée de résidence .....	65
5.1.4	Scolarisation et niveau de scolarité.....	67
5.1.5	Proportion d'actifs et niveau de revenu.....	70
5.1.6	Matériaux des murs et sols des habitations .....	73
5.1.7	Perception des risques de catastrophes liées à des aléas naturels .....	75
<b>5.2</b>	<b>Évaluation de la vulnérabilité sociale en 2018.....</b>	<b>80</b>
5.2.1	Résultats des prétraitements des données de 2018 .....	80
5.2.2	Résultats de l'ACP réalisée sur les données de 2018.....	85
5.2.3	Indice SoVI.....	88
5.2.4	Indice OVI .....	95
<b>5.3</b>	<b>Autocorrélation spatiale des indices de vulnérabilité sociale de 2018 .....</b>	<b>101</b>
5.3.1	SoVI 2018.....	101
5.3.2	OVI 2018 .....	102
<b>Chapitre 6 • Discussion .....</b>		<b>104</b>
<b>6.1</b>	<b>Indices de vulnérabilité sociale aux aléas naturels .....</b>	<b>104</b>
6.1.1	Évaluation de la vulnérabilité sociale en 2018.....	104
6.1.2	Évolution de la vulnérabilité sociale entre 2014 et 2018.....	106
6.1.3	Comparaison inter-méthodes SoVI et OVI .....	108
<b>6.2</b>	<b>Limitations de l'étude.....</b>	<b>110</b>
<b>6.3</b>	<b>Validation des indices de vulnérabilité .....</b>	<b>112</b>
<b>6.4</b>	<b>Développement d'indices et gestion des risques .....</b>	<b>113</b>
<b>6.5</b>	<b>Perspectives .....</b>	<b>114</b>
<b>Chapitre 7 • Conclusion.....</b>		<b>117</b>
<b>Bibliographie.....</b>		<b>120</b>
<b>Annexes .....</b>		<b>127</b>

# LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Le modèle PAR, illustrant le risque comme la multiplication de l'aléa et de la vulnérabilité (Wisner et al., 2004).	18
Figure 2 : Modèle « Hazards-of-Place » de la vulnérabilité (Cutter, 1996).	19
Figure 3 : Les approches de conception d'indices de vulnérabilité (Tate, 2012).	23
Figure 4 : Sources d'incertitudes dans les indices de vulnérabilité sociale (adapté de Rotmans et van Asselt, 2001, via Gall, 2007).	29
Figure 5 : Situation géographique de Bukavu dans la RDC en Afrique centrale.	31
Figure 6 : Le relief à Bukavu.	32
Figure 7 : Limites administratives et réseau hydrographique sur vue satellitaire de Bukavu.	34
Figure 8 : Bukavu selon la couverture des sols (à gauche) ainsi que la densité de population (à droite) (Muhaya et al., 2022).	35
Figure 9 : Exemple d'urbanisation non structurée dans une zone sujette à éboulements.	36
Figure 10 : Délimitation des glissements de terrain (en rouge, en particulier le glissement de terrain Funu en jaune) avec l'implantation des bâtiments à Bukavu (Dille et al., 2022).	38
Figure 11 : Quartier pauvre et très dense de Bukavu, construit sur une zone instable qui se déplace de plusieurs dizaines de centimètres par an par endroits (flèches jaunes), photographié en 2012 (Michellier et al., 2016).	39
Figure 12 : Photographies de l'enquête de terrain de 2018 (Caroline Michellier, comm. pers., 2025).	42
Figure 13 : Localisation des îlots des enquêtes de terrain de 2018 et de 2014 à Bukavu.	43
Figure 14 : Illustration de la méthodologie appliquée pour la délimitation des ZM (Michellier et al., s.d.).	46
Figure 15 : Zones morphologiques et zones exclues pour l'étude de l'enquête de terrain de 2018 à Bukavu. Les définitions des codes des ZM se trouvent dans l'Annexe 3.	47
Figure 16 : Comparaison des ZM entre les études de 2014 et de 2018 à Bukavu.	48
Figure 17 : Schéma récapitulatif de la méthodologie employée pour la construction des indices de vulnérabilité (modifié d'après Michellier et al., 2020b).	50
Figure 18 : Densité de population par ZM et ZE en 2018 à Bukavu. La présence de données en ZE s'explique par le fait que ces ZE, a priori inhabitées, ont fait l'objet d'une enquête à part pour le dénombrement de la population.	61
Figure 19 : Évolution de densité de population entre 2014 et 2018 par ZM de Bukavu.	62
Figure 20 : Évolution de densité de population entre 2014 et 2018 par quartiers de Bukavu.	63
Figure 21 : Répartition des individus par classe d'âge dans les quartiers de Bukavu (2018).	64
Figure 22 : Évolution du nombre d'individus par classe d'âge selon les quartiers de Bukavu (2014-2018).	65
Figure 23 : Répartition des individus selon leur durée de résidence dans les quartiers de Bukavu (2018).	66
Figure 24 : Répartition des individus selon leur scolarisation ou non dans les quartiers de Bukavu (2018).	68

Figure 25 : Répartition des individus selon leur niveau scolaire dans les quartiers de Bukavu (2018).	69
Figure 26 : Évolution de la proportion d'actifs selon les quartiers de Bukavu (2014-2018). Un inactif équivaut à une personne sans activité, un élève ou un pensionné.....	70
Figure 27 : Répartition des individus selon leur niveau de revenus dans les quartiers de Bukavu (2018). .....	72
Figure 28 : Évolution du pourcentage d'individus par montant de revenus selon les quartiers de Bukavu (2014-2018).....	73
Figure 29 : Répartition des ménages selon le matériau des murs de l'habitation dans les quartiers de Bukavu (2018). ....	74
Figure 30 : Répartition des ménages selon le matériau du sol de l'habitation dans les quartiers de Bukavu (2018). ....	75
Figure 31 : Répartition des ménages ayant déjà vécu un aléa naturel dans les quartiers de Bukavu (2018). ....	77
Figure 32 : Répartition des ménages ayant déjà vécu un aléa naturel selon le type d'aléa dans les quartiers de Bukavu (2018). ....	78
Figure 33 : Évolution de la proportion de ménages ayant vécu un aléa naturel selon les quartiers de Bukavu (2014-2018). ....	79
Figure 34 : Matrice de corrélation des 22 variables retenues pour l'étude de 2018. Pour la signification des abréviations des variables cf. Tableaux 7 et 8. ....	85
Figure 35 : Carte de l'indice SoVI pour 2018 à Bukavu, selon une normalisation min-max. ....	90
Figure 36 : Carte de l'indice SoVI pour 2018 à Bukavu, selon une standardisation en z-score. ....	91
Figure 37 : Cartes de l'indice SoVI à Bukavu, selon une standardisation interannuelle en z-score (2014 à gauche, 2018 à droite). ....	93
Figure 38 : Carte de la différence de l'indice SoVI standardisé (z-score) entre 2018 et 2014 à Bukavu. ....	94
Figure 39 : Carte de l'indice OVI pour 2018 à Bukavu, selon une normalisation min-max. ....	96
Figure 40 : Carte de l'indice OVI pour 2018 à Bukavu, selon une standardisation en z-score. ....	97
Figure 41 : Cartes de l'indice OVI à Bukavu, selon une standardisation interannuelle en z-score (2014 à gauche, 2018 à droite). ....	99
Figure 42 : Carte de la différence de l'indice OVI standardisé (z-score) entre 2018 et 2014 à Bukavu. ....	100
Figure 43 : Typologie des clusters des scores de SoVI par îlot d'enquête (2018) - Indice local de Moran. ....	102
Figure 44 : Typologie des clusters des scores de OVI par îlot d'enquête (2018) – Indice local de Moran. ....	103
Figure 45 : Nuage de points des scores bruts SoVI et OVI par ZM (2018). ....	108

# LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Modifications apportées aux catégories de revenu et de type de mur dans le questionnaire de 2018. ....	45
Tableau 2 : Définition et caractérisation des 22 variables retenues (modifié d'après Michellier, 2017 ; Michellier et al., 2020b). ....	52
Tableau 3 : Récapitulatifs des méthodes cartographiques employées pour la visualisation des indices. ....	57
Tableau 4 : Informations démographiques et de densité pour 2014 et 2018 par commune de Bukavu. ....	60
Tableau 5 : Totaux d'individus et de ménages enquêtés ainsi que d'îlots d'enquête, par commune et quartier de Bukavu. ....	80
Tableau 6 : Taille moyenne des ménages enquêtés et nombre moyen de ménages enquêtés par îlot d'enquête. ....	81
Tableau 7 : Statistiques des variables à l'échelle individuelle agrégée à l'échelle des ménages, définies dans cette étude de 2018. ....	82
Tableau 8 : Statistiques des variables à l'échelle des ménages, définies dans cette étude de 2018...	83
Tableau 9 : Composantes principales issues de l'ACP 2018 et leur contribution à la vulnérabilité (évaluée par interprétation). ....	88

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

ACP	Analyse en Composantes Principales
CP	Composante Principale
OVI	Operational Vulnerability Index
RDC	République démocratique du Congo
SoVI	Social Vulnerability Index
UNDRR	United Nations Office for Disaster Risk Reduction
ZE	Zone exclue
ZM	Zone morphologique



# CHAPITRE 1 • INTRODUCTION

---

## 1.1 Problématique et contexte

---

Les catastrophes liées à des aléas naturels, tels que les inondations, les séismes ou les sécheresses, surviennent régulièrement à travers le monde. Toutefois, les risques associés augmentent, notamment sous l'effet conjugué de la fréquence et de l'intensité croissantes des aléas dans un contexte de changement climatique, d'urbanisation accrue et de développement inefficace (UNDRR, 2025). En plus des dommages et du taux de mortalité, les impacts se reflètent notamment dans les pertes économiques : l'augmentation des coûts directs a plus que doublé entre les périodes 1970-2000 et 2001-2020 (UNDRR, 2025). De plus, dans les pays en développement, l'expansion urbaine et la croissance démographique rapide poussent les populations à s'installer dans des zones exposées, aggravant les pertes humaines et matérielles (Di Ruocco *et al.*, 2015 ; Ozturk *et al.*, 2022 ; Rentschler *et al.*, 2023).

Face à cette réalité, la réduction des risques est devenue une priorité internationale. Ainsi, le cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe (2015-2030), cadre mondial élaboré par l'UNDRR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction, anciennement UNISDR) et successeur du cadre d'action Hyogo (2005-2015), insiste sur la nécessité d'une meilleure compréhension et évaluation des facteurs des risques de catastrophes. Cette approche vise à renforcer la prévention, à guider l'adoption de stratégies et mesures adaptées, ainsi qu'à améliorer la gestion et la réduction des risques (UNISDR, 2015). L'objectif prioritaire n°1 de ce cadre invite les États à **comprendre les risques de catastrophe**, notamment par le développement des connaissances et de l'évaluation de ses facteurs du risque, y compris la vulnérabilité. Pour ce faire, la collecte et l'analyse de données fiables sont considérées comme essentielles pour évaluer ces risques (UNISDR, 2015).

La vulnérabilité, définie comme une « *condition provoquée par des facteurs ou processus physiques, sociaux, économiques et environnementaux qui rendent les personnes, les communautés, les biens matériels ou les systèmes plus sensibles aux aléas* » (UNDRR, 2017), possède une dimension multidimensionnelle et est complexe à mesurer. En effet, sa mesure est généralement plus difficile que celle des aléas dans l'évaluation des facteurs du risque car elle repose sur des indicateurs socio-économiques variables spatialement et dans le temps, moins modélisables et prévisibles que les aléas (Wisner *et al.*, 2004 ; Flanagan *et al.*, 2011). Et dans les pays en développement, les inégalités économiques, sociales et politiques accentuent encore ces vulnérabilités (Michellier *et al.*, 2016). En particulier dans les

viles africaines, comprendre la vulnérabilité, y compris sa dimension sociale, est nécessaire pour améliorer leurs résiliences locales (Di Ruocco *et al.*, 2015).

La ville de Bukavu, située à l'est de la République démocratique du Congo, illustre parfaitement cette problématique et les défis actuels. Avec plus d'un million d'habitants (Bisoka *et al.*, 2021), elle est exposée à plusieurs aléas majeurs, tels que des séismes, glissements de terrain et inondations, et a connu récemment des événements marquants, comme le séisme de 2008 (11 morts) et le glissement de terrain de 2023 (14 morts) (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2025). Ce contexte est aggravé par une urbanisation rapide et une croissance démographique soutenue (Michellier *et al.*, 2016). Pourtant, peu d'études existent dans la région et se heurtent aux faibles disponibilités en données, qui sont encore plus rares à une échelle locale comme celle des ménages (Ansoms & Marivoet, 2010 ; Michellier *et al.*, 2016).

Ce mémoire s'inscrit dans cette lacune en proposant une évaluation de la vulnérabilité de la population à Bukavu, face aux aléas naturels, à partir de collectes de données récentes et comparables dans le temps.

---

## 1.2 Question et objectifs de recherche

---

La question de recherche centrale porte sur *l'évaluation de la vulnérabilité sociale à Bukavu face aux aléas naturels en 2018* et de comprendre son évolution depuis 2014 .

Pour ce faire, un échantillon de données démographiques et socio-économiques collectées auprès de 2 100 ménages lors d'une enquête de terrain organisée en 2018 à Bukavu, dans le cadre du projet GeoKivu, a été mobilisé. Ce projet, développé par le Musée royal de l'Afrique centrale (Belgique) et financé par la Direction générale belge de la Coopération au développement et Aide humanitaire (DGD), vise à transformer des archives du Musée et de ses partenaires au Kivu en outils numériques géoréférencés, tout en renforçant à la fois l'expertise locale et la connaissance territoriale (Royal Museum for Central Africa, 2018).

Une démarche similaire avait été appliquée sur un autre échantillon de données pour l'année 2014, dont les résultats ont déjà été publiés dans la thèse de Michellier (2017). Cette étude poursuit et affine certains aspects de ce travail en intégrant les données collectées en 2018.

Les objectifs, via des traitements et analyses statistiques ainsi que des analyses géospatiales, sont les suivants :

- Réaliser des analyses d'indicateurs socio-économiques de la population pour 2018 et leurs évolutions par rapport à 2014 ;
- Construire deux indices de vulnérabilité sociale pour 2018 en comparant deux méthodes (SoVI et OVI) ;
- Identifier les zones les plus vulnérables à Bukavu, en étudiant les variations spatiales de la vulnérabilité et son évolution entre 2014 et 2018 ;
- Discuter des indices, de la méthodologie et de leur validation, ainsi que de questionner l'intérêt d'élaborer des indices dans le cadre de gestion de risques.

Cette démarche repose sur une double comparaison :

- Inter-méthodes, entre les indices SoVI et OVI ;
- Temporelle, entre les années 2014 et 2018.

Ce mémoire est structuré en sept chapitres. Après le présent chapitre introductif, le chapitre 2 expose le cadre théorique en présentant l'état de l'art de la vulnérabilité, en particulier sociale, ainsi que les différentes approches utilisées pour son évaluation (cadre méthodologique). Le chapitre 3 est consacré au contexte de la zone étudiée, à savoir la ville de Bukavu. Le chapitre 4 détaille les données utilisées, les échelles d'analyse et la méthodologie mise en œuvre. Le chapitre 5 présente les résultats obtenus. Le chapitre 6 contient une discussion critique de ces résultats et de la méthodologie, en abordant les limitations de l'étude, certaines interrogations et les perspectives. Enfin, la conclusion est proposée dans le chapitre 7.

## CHAPITRE 2 • CADRE THÉORIQUE

Ce chapitre pose les bases théoriques relatives au concept de vulnérabilité et plus particulièrement celui de vulnérabilité sociale, concept fondamental du sujet de ce mémoire. À préciser que ce cadre théorique s'inscrit exclusivement dans le champ de l'analyse des risques liés à des aléas naturels. Par ailleurs, une revue des études d'évaluation de la vulnérabilité sociale est réalisée, tout en soulignant les limitations persistantes. Cette revue permettra de comprendre les choix méthodologiques effectués par la suite.

---

### 2.1 Concepts de base

---

Afin de bien comprendre les notions utilisées dans les sections suivantes, deux concepts de base doivent être expliqués préalablement. Ces deux concepts, aléa naturel et risque, sont essentiels dans l'étude de catastrophes liées à des aléas naturels. Ils sont définis en se basant sur la terminologie établie par l'UNDRR, une référence internationale reconnue dépendante de l'Organisation des Nations Unies.

L'**aléa** représente « un processus, un phénomène ou une activité humaine pouvant faire des morts ou des blessés ou avoir d'autres effets sur la santé, ainsi qu'entraîner des dégâts matériels, des perturbations socio-économiques ou une dégradation de l'environnement » (UNDRR, 2017). Plus particulièrement, les **aléas naturels** sont principalement associés à des processus ou phénomènes naturels (UNDRR, 2017). Ces aléas sont des événements, discrets et identifiables, qui peuvent se manifester de manière isolée, séquentielle ou combinée, tant dans leur origine que dans leurs effets (Wisner *et al.*, 2004 ; UNDRR, 2017). Ils varient dans l'espace ainsi que dans leur durée, gravité, intensité (magnitude), fréquence et probabilité (Wisner *et al.*, 2004 ; UNDRR, 2017). Concrètement, il peut s'agir notamment de phénomènes hydrométéorologiques, géologiques ou géophysiques, tels que des cyclones, des inondations, des séismes ou des glissements de terrain (UNDRR, 2017).

Le **risque de catastrophe** est désigné par l'UNDRR (2017) comme « les pertes en vies humaines, les blessures, les destructions ou les dégâts matériels pour un système, une société ou une communauté au cours d'une période donnée ». Sa probabilité dépend du niveau de danger lié à l'aléa, de l'exposition, de la vulnérabilité et des capacités existantes pour y faire face (UNDRR, 2017).

---

## 2.2 Le concept de vulnérabilité

---

### 2.2.1 Émergence et définitions du concept de vulnérabilité face aux catastrophes

---

Dans les années 1970 et au début des années 1980, le concept de **vulnérabilité** a émergé comme une des composantes explicatives face aux catastrophes, en réaction à une approche dominante, simpliste et naturaliste, qui identifiait les aléas naturels comme causes principales (Wisner *et al.*, 2004 ; Schneiderbauer & Ehrlich, 2004 ; Cannon, 2022). Cette nouvelle approche a mis l'accent sur la manière dont les systèmes sociaux, économiques et politiques agissent en rendant les populations vulnérables (Wisner *et al.*, 2004). L'UNDRR (2017) souligne d'ailleurs l'importance de prendre en compte le contexte socio-économique et les perceptions du risque variables des populations lors de l'analyse du risque. Le concept de vulnérabilité s'est ensuite ancré dans la recherche scientifique, notamment afin d'en évaluer ses composantes dans des contextes de gestion de risque (Birkmann, 2006).

Cette multiplication des recherches et questionnements autour du sujet s'est accompagnée d'une multiplication des définitions. En effet, il n'existe pas de définition universelle de la vulnérabilité parce que le concept englobe des processus complexes et interconnectés et qu'il est abordé dans des cadres conceptuels distincts (Brooks, 2003 ; Birkmann, 2006 ; Burton *et al.*, 2018 ; Limongi & Galderisi, 2021 ; Canon, 2022).

La définition retenue dans ce mémoire comme référence de base, en raison du consensus international dans le cadre de la réduction des risques, est celle proposée par l'UNDRR (2017). Elle décrit la vulnérabilité comme une « condition provoquée par des facteurs ou processus physiques, sociaux, économiques et environnementaux qui rendent les personnes, les communautés, les biens matériels ou les systèmes plus sensibles aux aléas ». Cette définition ne doit pas être confondue avec l'exposition, qui renvoie à la « situation des personnes, infrastructures, logements, capacités de production et autres actifs tangibles situés dans des zones à risque » (UNDRR, 2017).

### 2.2.2 Un concept multidimensionnel et dynamique

---

La vulnérabilité est un concept multidimensionnel, reflétant ainsi son caractère holistique (Cutter *et al.*, 2003 ; Vincent, 2004 ; Birkmann *et al.*, 2013 ; Léone *et al.*, 2021 ; Lanlan *et al.*, 2024). Ainsi, dans son analyse, des typologies décrivent souvent la vulnérabilité sous différentes formes.

Classiquement, la vulnérabilité est régulièrement distinguée en deux grandes approches : la vulnérabilité physique et la vulnérabilité sociale (Brooks, 2003 ; Vincent 2004). La vulnérabilité physique est souvent perçue comme les potentiels dommages subis par les bâtiments et infrastructures d'un système donné face à un aléa (Brooks, 2003). Tandis que la vulnérabilité sociale renvoie à une condition préalable indépendante de l'aléa, interne au système et relative à l'environnement humain, mais qui influence fortement l'ampleur des impacts en conditionnant la capacité du système à y faire face. Cette condition est souvent reflétée par des facteurs tels que la pauvreté, l'inégalité sociale ou l'accès aux ressources (Brooks, 2003 ; Vincent 2004). Toutefois, les aspects sociaux de la vulnérabilité sont souvent moins maîtrisés en raison de la difficulté à les quantifier. En effet, par exemple, il n'existe pas souvent d'estimation de coût en perte sociale après une catastrophe (Cutter *et al.*, 2003).

Plus récemment, les typologies de la vulnérabilité se sont diversifiées. Cannon (2008) identifie cinq composantes interconnectées : les moyens de subsistance (et leur résilience), le bien-être et les conditions de base, l'autoprotection (c'est-à-dire les ressources mobilisées pour faire face aux aléas), la protection sociale ainsi que la gouvernance. Léone *et al.* (2021) proposent une classification en six formes selon la nature des éléments exposés : la vulnérabilité physique, liée aux infrastructures ; la vulnérabilité humaine, concernant la vie et la santé des individus ; la vulnérabilité sociale, qui renvoie au contexte socio-économique ; la vulnérabilité institutionnelle, en rapport avec la capacité des institutions à gérer les risques ; la vulnérabilité environnementale, touchant les composantes naturelles ; et enfin la vulnérabilité fonctionnelle, relative aux activités et fonctions économiques. Dans une autre perspective, Kienberger (2012) simplifie la vulnérabilité en la regroupant en quatre grandes dimensions : économique, sociale, environnementale et physique. Tandis que Birkmann *et al.* (2013) élargissent cette dernière perspective à six dimensions en y intégrant la dimension culturelle et institutionnelle.

En plus de varier selon ces dimensions, la vulnérabilité est dynamique : elle varie dans le temps et l'espace suivant le contexte (Cutter, 1996, Cutter *et al.*, 2003 ; Vincent, 2004 ; Schneiderbauer & Ehrlich, 2004 ; Lanlan *et al.*, 2024). Temporellement, la vulnérabilité peut s'atténuer progressivement grâce aux avancées du développement socio-économique, mais également s'aggraver, par exemple, brusquement à la suite de catastrophes successives (Schneiderbauer & Ehrlich, 2004).

### 2.2.3 Des modèles analytiques : modèle PAR et modèle de vulnérabilité liée au lieu

---

Cette notion de vulnérabilité est tout aussi importante que celle de l'aléa naturel quand il s'agit de comprendre et d'évaluer les risques qu'encourent une population. Selon Wisner *et al.* (2004), le risque est un produit de la vulnérabilité des éléments exposés et de l'aléa. Et il dépend de leur manière d'interagir l'un par rapport à l'autre : pour réduire le risque, l'un des deux produits, voire les deux, doit diminuer, sans que l'autre augmente. Sur base de cette idée, les auteurs ont développé un modèle très répandu, dit le « Pressure and Release model » (**modèle PAR**) afin d'être utilisé comme clé d'analyse (Figure 1). Ce modèle met également l'accent sur les trois composantes de la chaîne de progression de la vulnérabilité. La vulnérabilité s'exprime d'abord à travers ses causes fondamentales structurelles, composées des idéologies politiques et économiques ainsi que d'un manque d'accès au pouvoir, aux ressources et aux structures. Ensuite, elle progresse en pressions dynamiques locales, telles qu'une urbanisation non planifiée et une croissance de population rapide. Ce qui est particulièrement le cas pour les pays en développement, tel que la République démocratique du Congo (Ozturk *et al.*, 2022). La vulnérabilité évolue finalement en des formes spécifiques appelées conditions d'insécurité. Ces conditions se retrouvent dans les thématiques de l'environnement, de l'économie, de la société et des actions publiques.

Ce modèle développé par Wisner *et al.* (2004) souligne l'importance de la vulnérabilité comme produit des processus sociaux qui évoluent dans le temps. Ils insistent sur la nécessité de s'attarder sur la vulnérabilité de la population, car elle ne peut être réduite à une question technique ou matérielle. En outre, certaines caractéristiques des individus et des groupes influencent de manière significative leur vulnérabilité face aux aléas. Depuis les années 1970, des facteurs comme la classe socio-économique ou l'origine ethnique sont pris en compte dans les analyses de vulnérabilité, tandis que d'autres dimensions telles que le genre et l'âge se sont imposées plus récemment, notamment sous l'influence de mouvements sociaux comme le féminisme (Wisner *et al.*, 2004).

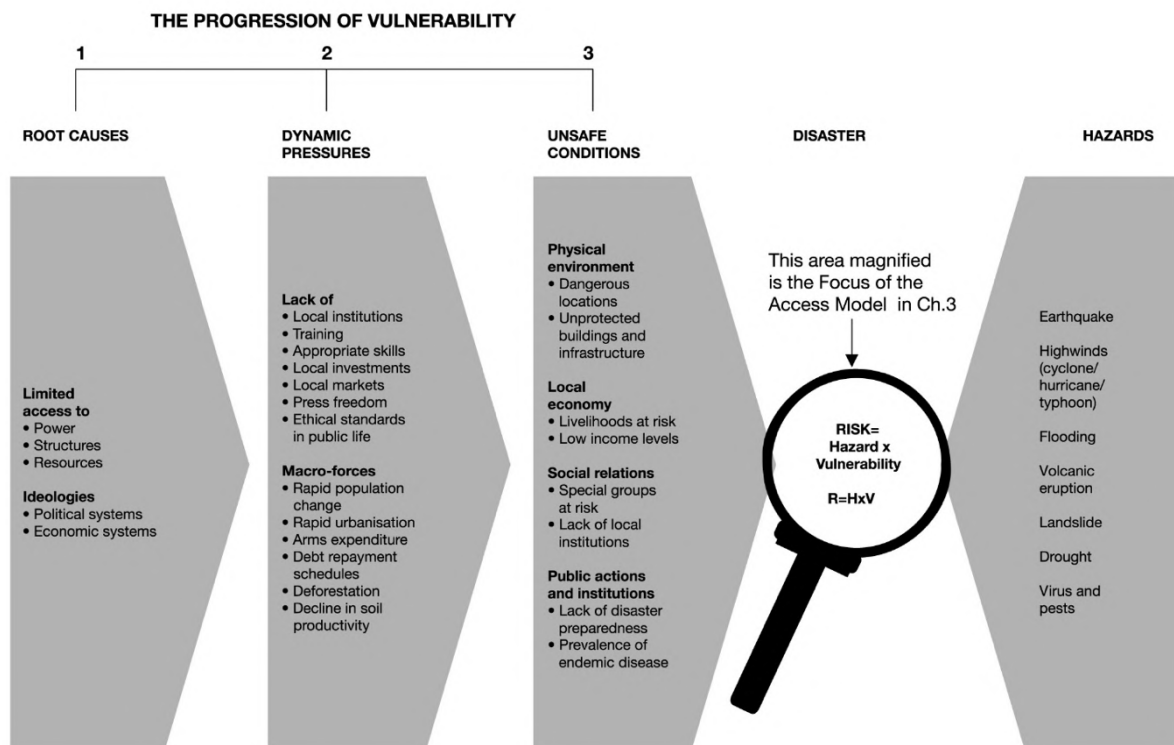


Figure 1 : Le modèle PAR, illustrant le risque comme la multiplication de l'aléa et de la vulnérabilité (Wisner et al., 2004).

Un autre modèle analytique de la vulnérabilité est celui développé par Cutter (1996). Ce modèle, dit **modèle de la vulnérabilité liée aux aléas d'un lieu** (Hazards-of-a-Place model), suggère que la vulnérabilité est autant liée aux caractéristiques sociales des populations qu'à l'endroit où elles vivent (Figure 2). En effet, les vulnérabilités physique et sociale vont interagir pour former la vulnérabilité des lieux. Et cette vulnérabilité va évoluer dans le temps en fonction des changements dans les risques, les mitigations et les contextes dans lesquels les aléas se produisent (Cutter, 1996). De nouveau, comme avec le modèle précédent, le concept de vulnérabilité est intrinsèquement lié à celui de risque, en lien avec l'aléa. Bien que ce modèle soit relativement abstrait, il a servi de base à la construction d'indicateurs empiriques de vulnérabilité. Cela s'est notamment traduit par le développement d'indices fondés sur des données socio-économiques et adaptés à divers contextes géographiques, tels que le Social Vulnerability Index (SoVI) (cf. section 2.3.2.2), comme l'illustrent les exemples rapportés par Wisner & College (2016).



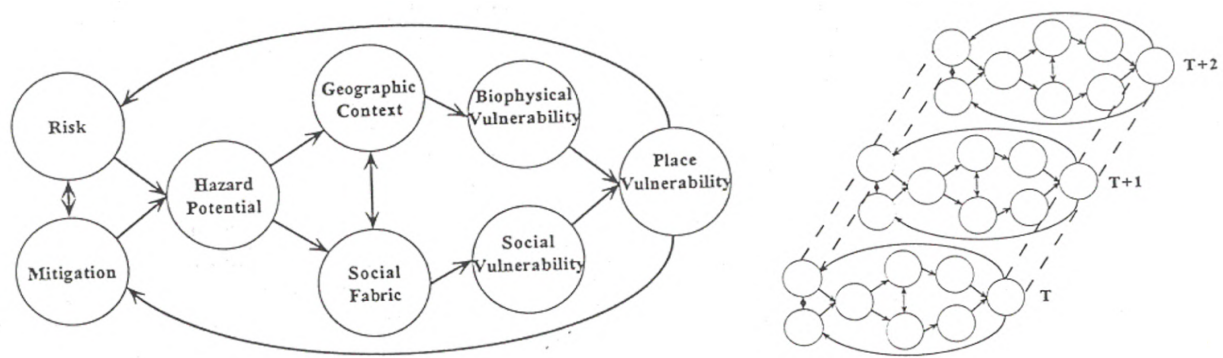


Figure 2 : Modèle « Hazards-of-Place » de la vulnérabilité (Cutter, 1996).

## 2.2.4 Une évaluation inégale entre les produits du risque : aléa et vulnérabilité

Dans le cadre de la réduction des risques liés aux catastrophes, il est reconnu qu'une évaluation des risques, notamment à travers l'analyse de ses composantes telles que la vulnérabilité et les aléas, est essentielle (Birkmann, 2006)<sup>1</sup>. Cette évaluation devient de plus en plus importante, surtout dans les zones urbaines qui concentrent les populations les plus exposées (Di Ruocco *et al.*, 2015). Toutefois dans cette évaluation du risque, une évaluation inégale s'articule entre ses deux composantes : en effet, l'aspect social de la vulnérabilité est souvent ignoré face aux aléas (Flanagan *et al.*, 2011).

Premièrement, comme discuté précédemment, avant les années 1970, l'aléa naturel était reconnu comme cause principale dans les catastrophes d'origine naturelle en omettant la vulnérabilité (Wisner *et al.*, 2004). Par exemple, ce n'est qu'à partir des années 1960-1970 que la recherche sur les indicateurs sociaux a connu un véritable essor (Cutter *et al.*, 2003).

Deuxièmement, étant un élément qui repose sur des mécanismes physiques, l'aléa peut être enregistré, évalué et prédit, selon certaines probabilités, dans le temps et l'espace (Wisner *et al.*, 2004). Déjà en 1979, lors d'une réunion internationale d'experts en risques naturels organisée par l'UNDRO (United Nations Disaster Relief Coordinator), il a été admis que les techniques d'évaluation des aléas naturels sont généralement satisfaisantes, bien que certaines données puissent présenter des lacunes, tant en quantité qu'en qualité. En revanche, les informations concernant la vulnérabilité, qui nécessitent de nombreuses données variées, sont moins abondantes et fiables et manquent de définition (UNDRO, 1980).

<sup>1</sup> Notons qu'à ce stade, l'analyse du risque intègre généralement quatre composantes : l'aléa, la vulnérabilité, l'exposition et les capacités (Michellier *et al.*, 2020a). Déjà en 1980, l'UNDRO identifiait trois facteurs principaux : l'aléa, la vulnérabilité et les éléments exposés (UNDRO, 1980). Toutefois, afin de maintenir un cadre théorique clair et ciblé, cette précision ne sera pas approfondie ici.

---

## 2.3 Le concept de vulnérabilité sociale

---

### 2.3.1 Notions clés et caractéristiques

Tout comme le concept général de vulnérabilité, la vulnérabilité sociale manque de consensus dans sa définition. Elle n'est d'ailleurs définie que dans environ la moitié des études sur le sujet dans la littérature scientifique (Painter *et al.*, 2024). Par ailleurs, la vulnérabilité sociale est également multidimensionnelle, se caractérisant par des aspects à la fois tangibles et intangibles (Burton *et al.*, 2018).

Au regard des éléments abordés précédemment, la vulnérabilité sociale peut être appréhendée comme la vulnérabilité des populations, principalement déterminée par leurs caractéristiques socio-économiques et démographiques et leurs capacités à faire face aux aléas. Le modèle présenté à la Figure 2 montre que cette vulnérabilité sociale découle de la « fabrique sociale », qui englobe à la fois l'expérience des aléas et la capacité à y faire face, elle-même influencée par des facteurs démographiques, économiques et liés au logement (Cutter, 1996 ; Cutter *et al.*, 2003). La vulnérabilité sociale est ainsi en grande partie un produit des inégalités sociales, lesquelles conditionnent la capacité des populations à gérer les risques, mais aussi des inégalités spatiales, qui renvoient aux caractéristiques des communautés et de leur environnement bâti, tels que le niveau d'urbanisation, les taux de croissance et la vitalité économique (Cutter *et al.*, 2003).

### 2.3.2 Évaluation de la vulnérabilité sociale : approches et exemples de cas d'étude

#### 2.3.2.1 De la théorie à la mesure : indicateurs et indices de vulnérabilité sociale

La vulnérabilité (sociale) est un concept théorique et abstrait qui ne peut être mesuré de manière directe ou objective. Notamment en raison de sa nature multidimensionnelle et de ses composantes souvent intangibles, le concept ne peut être résumé par une équation unique ou des mesures universelles et généralisables (Birkmann, 2006 ; Hinkel, 2011 ; Aitsi-Selmi *et al.*, 2016).

Cependant, les indicateurs, construits à partir de variables observables, représentent un moyen de traduire les concepts théoriques, comme la vulnérabilité sociale, en outils concrets et applicables (Hinkel, 2011). Par exemple, la vulnérabilité sociale est souvent décrite par les caractéristiques individuelles des personnes, telles que l'âge, l'ethnie, la santé, le revenu, le type de logement ou l'emploi (Cutter *et al.*, 2003). Bien que, comme le soulignent Rufat *et al.*

(2015), la vulnérabilité est un phénomène complexe que les indicateurs, par leur nature mesurable et simplifiée, ne peuvent jamais capturer dans toute sa profondeur.

Ces indicateurs vont ensuite pouvoir être agrégés pour former des indices, qui seront d'autant plus complets que les catégories d'indicateurs sont vastes (Vincent, 2004). Les indices ont l'avantage de pouvoir à la fois modéliser la réalité qui est complexe et permettre des comparaisons dans le temps et l'espace (Vincent, 2004). Cependant, ils reflètent un état simplifié à un instant donné, sans prendre en compte la dimension temporelle des variables (Hinkel, 2011). De plus, cela reste une approche inefficace à des échelles plus larges, à cause de la complexité des systèmes, du manque de données et de la nécessité de disposer de nombreuses variables (Hinkel, 2011).

La création et l'utilisation d'indices de vulnérabilité sociale se sont largement diffusées à l'échelle mondiale afin d'évaluer la vulnérabilité de la population face aux aléas (Painter *et al.*, 2024). Une des méthodes les plus utilisées est celle développée par Cutter *et al.* (2003) et largement reprise dans la littérature (ex. : Siagan *et al.*, 2014 ; de Loyola Hummell *et al.*, 2016 ; Maharani *et al.*, 2016 ; Roncancio & Nardocci, 2016 ; Mavhura *et al.*, 2017 ; Blackwood & Cutter, 2023). Cette méthode sera développée dans la section 2.3.2.2. Depuis, de nombreuses déclinaisons ont vu le jour, adaptées à des contextes et des aléas variés. Cette tendance se reflète dans la littérature scientifique, où l'utilisation d'indices de vulnérabilité sociale connaît une croissance continue depuis 2003 (Painter *et al.*, 2024). Toutefois, dans la majorité des cas, les études s'appuient sur des indices existants, tels que ceux de Cutter *et al.* (2003) ou de Flanagan *et al.* (2011), soit en les utilisant tels quels, soit en les adaptant partiellement, soit encore en s'en inspirant comme base théorique pour élaborer leur propre indice (Painter *et al.*, 2024).

Ces indices et indicateurs de vulnérabilité sont largement considérés comme des outils pour faire le lien entre la recherche académique et les besoins politiques, malgré les limites reconnues (Hinkel, 2011 ; Wisner & College, 2016).

### **2.3.2.2 Sélection des variables et des méthodes pour la création d'indices**

Une étape importante dans l'évaluation de la vulnérabilité sociale au travers d'indices est la sélection des **indicateurs**, ou **variables**, à utiliser afin de refléter au mieux le contexte dans lequel cette vulnérabilité se manifeste (Rufat *et al.*, 2015 ; Wisner & College, 2016).

En 2003, Cutter *et al.* s'interrogeaient déjà sur la nécessité d'une liste de variables robustes et cohérentes pour l'évaluation, qui faciliterait les comparaisons entre divers lieux. Fatemi *et al.* (2017) suggéraient qu'il n'existait pas de réponse claire à la question de savoir quelles variables utiliser.

Les indicateurs généralement les plus acceptés et retrouvés dans la littérature sont l'âge et le degré de dépendance, le niveau d'éducation, le taux de chômage, le genre, l'ethnie, le revenu, la densité de population et son évolution ainsi que le statut de pauvreté (Painter *et al.*, 2024). Dans leur revue de littérature, Rufat *et al.* (2015) ont mis en évidence les thématiques théoriques souvent retrouvées dans la littérature sur la vulnérabilité sociale, en particulier face aux aléas d'inondation. Celles-ci sont les caractéristiques démographiques (par ex. : âge, genre, et structure du ménage), le statut socio-économique (par ex. : le revenu et l'éducation), la santé, la capacité d'adaptation, le titre de propriété foncière, les caractéristiques du quartier (par ex. : les moyens de transport, la densité de population et le logement) et la perception du risque. Dans la revue de littérature de Fatemi *et al.* (2017), les auteurs ont pu révéler cinq grandes catégories de variables couramment utilisées de la vulnérabilité sociale : le genre, les caractéristiques démographiques, le statut socio-économique, les ressources publiques (accès à la santé et infrastructures publiques) ainsi que le handicap et les besoins spécifiques. À noter que le genre est une variable qui revient souvent. En effet, les femmes font face à des inégalités de genre qui les rendent plus vulnérables, et ce en limitant l'accès à certaines ressources (Fatemi *et al.*, 2017).

Par ailleurs, l'influence des facteurs sur la vulnérabilité sociale, reflétés par les indicateurs, varie selon le contexte, y compris temporel. Certains facteurs augmentent la vulnérabilité dans certains cas tout en la diminuant dans d'autres, y compris pour des variables largement reconnues comme l'âge ou la classe sociale (Rufat *et al.*, 2015).

Une autre étape de sélection importante dans les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité par la création d'indices est la sélection du **type d'approche**. Ces méthodes sont généralement classées en trois grandes catégories d'approches : déductive, inductive et hiérarchique (Hinkel, 2011 ; Tate, 2012 ; Burton *et al.*, 2018). L'approche déductive (Figure 3, a) s'appuie sur des cadres théoriques existants pour sélectionner les variables. Elle identifie a priori les dimensions principales de la vulnérabilité sociale. L'approche inductive (Figure 3, c) se repose généralement sur un large jeu de données empiriques, qui sont ensuite réduites à un nombre plus restreint de variables explicatives. Cette réduction est souvent réalisée grâce à des méthodes statistiques telles que l'Analyse en Composantes Principales (ACP) ou l'Analyse Factorielle (AF). Cette approche a été popularisée par le SoVI de Cutter *et al.* (2003).

Enfin, la dernière approche, l'approche hiérarchique (Figure 3, b) utilise généralement de multiples indicateurs, regroupés en dimensions sous-jacentes et se fonde souvent sur base d'avis d'experts et de démarches participatives (Tate, 2012 ; Burton *et al.*, 2018).

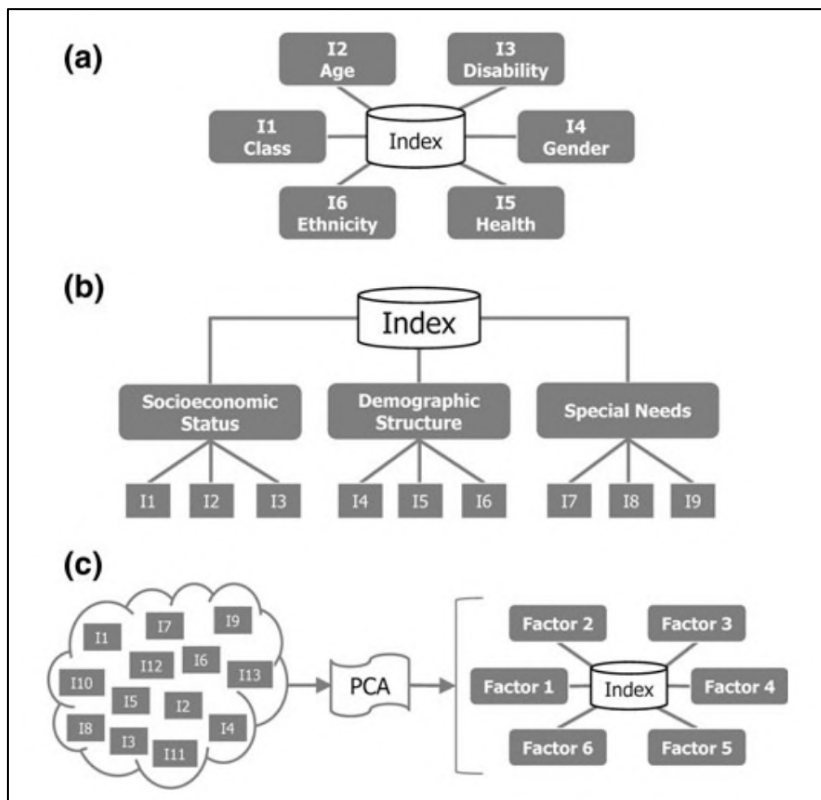


Figure 3 : Les approches de conception d'indices de vulnérabilité (Tate, 2012).

Enfin, un autre choix méthodologique important concerne la **pondération** des composantes dans la construction des indices de vulnérabilité sociale. L'usage ou non de pondérations dans la construction de ces indices fait l'objet de débats méthodologiques. En pratique, les études sont partagées : environ 49 % utilisent des pondérations, tandis que 51 % n'en appliquent pas (Painter *et al.*, 2024). Par exemple, dans les études de Cutter *et al.* (2003), Holand *et al.* (2011), Mesta *et al.* (2022) ou Bronfman *et al.* (2023), ils ont considéré une pondération de l'indice selon des poids égaux entre variables. En effet, Roncancio & Nardocci (2016) suggèrent qu'aucune composante identifiée dans leur analyse en composantes principales ne devrait être considérée comme contribuant plus fortement à la vulnérabilité qu'une autre, en l'absence de justification théorique. Mesta *et al.* (2022) ont testé la sensibilité de leur indice en comparant les versions avec et sans pondération et ils ont constaté qu'il n'existait pas de variation significative entre les deux. Cependant, cela n'est pas le cas de toutes les études. Autres exemples, Siagian *et al.* (2014) ou Tran *et al.* (2017) ont choisi d'appliquer une pondération à chaque composante en fonction de la part de variance qu'elle explique, rapportée à la variance

totale expliquée par l'ensemble des composantes. Cette démarche a été motivée par le constat que les résultats obtenus avec et sans pondération différaient sensiblement (Siagian *et al.*, 2014). Néanmoins, pour Apotsos (2019), qui a également testé la sensibilité des résultats face à différentes méthodes de pondération, l'intérêt d'appliquer ces pondérations reste incertain. Pour l'étude de Kienberger (2012), le choix de la pondération des composantes s'est reposé sur la pondération moyenne de onze experts.

Au-delà de ces choix méthodologiques essentiels, plusieurs facteurs peuvent les contraindre. En particulier, ces sélections sont influencées par le choix de l'échelle d'étude, souvent conditionné par la qualité des données disponibles, la manière de construire et présenter les résultats ainsi que l'étendue de la zone étudiée (Solangaarachchi *et al.*, 2012). Les indices construits vont également dépendre du contexte, des informations et des données ainsi que des ressources disponibles (Solangaarachchi *et al.*, 2012).

#### **2.3.2.2 Exemples de cas d'études et développements dans l'évaluation**

La méthode d'évaluation inductive la plus répandue et connue, comme discuté précédemment, est l'indice de vulnérabilité sociale développé par Cutter *et al.* (2003) : le *Social Vulnerability Index* (SoVI). L'étude, réalisée aux États-Unis, visait à étudier la vulnérabilité sociale face aux aléas naturels. Elle reposait sur des données socio-économiques par comté, qui ont été transformées en 42 variables. Ces variables ont ensuite subi une Analyse en Composante Principale (ACP) pour réduire le jeu de variables en 11 composantes, qui expliquaient 76,4% de la variance. Chaque composante a été considérée comme ayant une contribution de part égale à la vulnérabilité. Finalement, les scores du SoVI ont été cartographiés en utilisant la méthode de discrétisation basée sur l'écart-type. Une limitation soulevée dans la construction de cet indice par Solangaarachchi *et al.* (2012) est sa faible utilité lorsqu'ils sont utilisés de manière isolée. Par conséquent, des connaissances sur le contexte géographique et socio-économique sont nécessaires pour interpréter les résultats.

Plusieurs études ont adapté cet indice à des contextes et sources de données différents.

Par exemple, dans l'étude de Lawal & Arokoyu (2015), une adaptation du SoVI a été réalisée pour évaluer la vulnérabilité sociale dans la région du sud-ouest du Nigeria. Les auteurs soulignent la nécessité de disposer de données actualisées pour une évaluation pertinente, tout en reconnaissant le manque de validité lié à l'absence de données sur les impacts réels des catastrophes (cette question de validité sera discutée dans la section suivante). Ils indiquent également que l'utilisation d'une pondération égale entre les variables peut s'avérer

inappropriée à une échelle plus large, en raison des différences contextuelles entre les régions, qui influencent à la fois les facteurs de vulnérabilité et leur importance relative.

Dans une autre étude (de Loyola Hummell *et al.*, 2016), l'indice SoVI a été calculé à l'échelle des villes brésiliennes, dans le but d'identifier les zones du pays les plus vulnérables aux aléas naturels. Sa conception, calquée sur celle de Cutter *et al.* (2003), s'est appuyée sur des données de recensement ainsi que sur d'autres données disponibles à l'échelle nationale, des États ou des zones urbaines. Les résultats soutiennent que la vulnérabilité sociale varie avec le niveau de développement des régions et leur évolution historique. Les auteurs soulignent la répliquabilité de la méthode dans un contexte national différent de celui du SoVI original, en soulignant son intérêt pour aider à la prise de décision politique.

Une étude récente dans un contexte comparable à celui du sujet du mémoire (Idukunda *et al.*, 2025) a abouti à la construction d'un indice de vulnérabilité contextualisé (CoVI) face aux aléas d'inondations et de glissements de terrain. Cet indice a été élaboré à partir de données collectées à l'échelle de ménage, résultantes d'une enquête de terrain, dans le nord-est du Rwanda, et analysées à l'échelle des zones enquêtées. La démarche méthodologique a suivi les principes fondamentaux de Cutter *et al.* (2003). Le terme « contextualisé » désigne une approche de la vulnérabilité conduite à l'échelle locale, centrée sur les communautés situées dans des zones exposées aux aléas, et tenant compte de leurs spécificités sociales, économiques et spatiales. En proposant cette approche, cette étude souligne l'importance d'évaluer la vulnérabilité en tenant compte des contextes étudiés, tout en reconnaissant que les zones les plus vulnérables sont celles installées dans des zones à risque, avec notamment une situation économique précaire et un faible niveau d'éducation.

La plupart des études utilisant le SoVI ou une version adaptée, pour évaluer la vulnérabilité sociale à un ou plusieurs aléas naturels, soulignent que ces approches quantitatives permettent d'identifier spatialement la distribution des zones vulnérables (ex. : Siagian *et al.*, 2014 ; Lawal & Arokoyu, 2015 ; Roncancio & Nardocci, 2016 ; Mavhura *et al.* 2017 ; Bouaakkaz *et al.*, 2023). Certaines études supportent l'idée selon laquelle ces évaluations quantitatives peuvent aider dans la prise de décision et dans la réduction des risques face à ces aléas naturels (ex. : Yoon, 2012 ; Siagian *et al.*, 2014 ; Mavhura *et al.*, 2017 ; Bouaakkaz *et al.*, 2023).

Par ailleurs, il est régulièrement question d'utiliser et de discuter d'autres approches et indices dans la littérature.

Par exemple, il existe celui développé par Flanagan *et al.* (2011) : le *Social Vulnerability Index* (SVI). Cet indice repose sur le calcul de rangs percentiles pour chaque variable, attribués à chaque unité spatiale. Les variables sont ensuite regroupées en domaines thématiques, puis agrégées par somme des rangs pour obtenir un score global de vulnérabilité.

Dans l'étude de Kienberger (2012) au Mozambique, un indice d'évaluation de la vulnérabilité (sociale) aux inondations a été développé sur base de recommandations d'experts et de connaissances locales. Ainsi, les choix d'indicateurs et leurs pondérations ont été définis grâce à des experts et des membres de la communauté, selon une démarche participative.

Dans leur étude de 2020b, Michellier *et al.* ont réalisé un deuxième indice en plus du SoVI pour étudier la vulnérabilité sociale de la ville de Goma en RDC face aux risques volcaniques : un *Operational Vulnerability Index* (OVI). Cet indice, basé sur une approche déductive, reposait sur une sélection, subjective mais justifiée notamment par avis d'experts locaux et de connaissances de terrain, restreinte à quelques variables clés. Les variables étaient issues de données d'enquête de terrain et ont été agrégées selon une équation simple, sans pondération. L'indice a été imaginé afin d'obtenir un indice plus lisible, opérationnel et reproductible. En effet, cet indice peut être adapté à différents contextes, car il dépend moins de la quantité de données disponibles que les approches inductives, et il est également plus facile à mettre en œuvre, y compris par des personnes disposant de compétences moins expérimentées.

En outre, certaines études vont au-delà de la simple formulation et cartographie d'un indice, en proposant des analyses plus diversifiées.

Yoon (2012) a combiné l'approche inductive (de type SoVI) et l'approche déductive pour évaluer la vulnérabilité sociale face aux aléas naturels sur les côtes du golfe du Mexique et de l'Atlantique. Les scores produits diffèrent selon l'approche utilisée, mais les résultats restent globalement cohérents entre eux. L'auteur souligne toutefois que l'approche déductive est plus simple à mettre en œuvre et à interpréter, ce qui peut faciliter son utilisation pour des outils de planification.

Une comparaison entre deux approches inductives de mesure de vulnérabilité sociale a été réalisée à Bucarest, en Roumanie, dans un contexte de risque sismique, par Armaş & Gavriş (2013). L'étude évalue deux indices : le SoVI et le *Spatial Explicit Vulnerability Index* (SEVI), un indice plus flexible dans la méthodologie et sensible aux avis d'experts, à partir de données de recensement. Ils ont découvert une corrélation positive, mais faible, entre les deux indices.



Cependant, les résultats obtenus n'étaient pas similaires, ce qui ne permettait pas de conclure que les indices étaient interchangeables.

Un autre cas de figure se trouve dans l'étude de la vulnérabilité sociale à l'échelle locale dans la région du volcan Merapi, en Indonésie, en combinant l'indice SoVI (quantification de la vulnérabilité) et l'algorithme SOM (Self-Organizing Map) (Maharani *et al.*, 2016). Le SOM est une carte topologique qui utilise un algorithme non supervisé pour répartir les échantillons selon des clusters basés sur la similitude de leurs caractéristiques multidimensionnelles. Contrairement à une carte spatiale classique, cette approche permet de regrouper des sites aux profils socio-économiques similaires, même s'ils sont éloignés géographiquement.

D'autres études ont tenté de comprendre l'évolution temporelle des indices de vulnérabilité sociale aux aléas naturels, ce qui est comparable avec un des objectifs de ce mémoire. Ces comparaisons temporelles reposaient surtout sur des sources de données de recensement ou des données administratives d'année en année. Elles démontrent que la vulnérabilité sociale est dynamique dans le temps et est inégalement répartie dans l'espace (Apotsos, 2019 ; Bronfman *et al.*, 2021 ; Qi *et al.*, 2024). Selon Bronfman *et al.* (2021), ces variations s'expliquent par l'évolution des facteurs qui la déterminent selon les contextes économiques et les conditions socio-spatiales locales.

En bref, on constate des études qui se déroulent dans des contextes variés, avec une prépondérance d'utilisation du SoVI. Elles se reposent souvent sur des données de recensements analysées à grande échelle (ex. : région ou districts) (ex. : Flanagan *et al.*, 2011 ; Yoon, 2012 ; Siagian *et al.*, 2014 ; Bouaakkaz *et al.*, 2023 ; Bronfman *et al.*, 2021), ou bien sur des enquêtes menées à l'échelle de ménages dans une zone limitée (ex. : Tran *et al.*, 2017 ; Michellier *et al.*, 2020b). La vulnérabilité sociale étudiée est soit liée à un aléa précis, soit à des multi-aléas. Enfin, peu d'études sur le sujet, voire aucune, n'ont été identifiées en République démocratique du Congo, et encore moins à Bukavu.

### **2.3.2.3 Validation et limitations**

Alors que l'utilisation de mesures de la vulnérabilité sociale sur base de variables s'est fortement répandue ces dernières années, peu d'études ont essayé de la valider (Fatemi *et al.*, 2017). Ces études se concentrent surtout sur la création d'indices plutôt que sur leur validation (Fekete, 2009). Il est pourtant nécessaire d'évaluer les indices de vulnérabilité ainsi que leur validité afin de mieux éclairer les décisions politiques (Gall, 2007). La question de la validité renvoie à la capacité des variables à représenter correctement les concepts qu'elles

sont censées mesurer, ainsi qu'à la fidélité avec laquelle les indices traduisent le phénomène étudié (Gall, 2007 ; Fatemi *et al.*, 2017 ; Rufat *et al.*, 2019). Cependant, le grand défi réside dans la complexité de la validation. Les indices, qui simplifient une réalité complexe, peuvent ne pas fidèlement représenter le phénomène étudié et donc ne pas être valides (Vincent, 2004). Fekete (2009) en donne trois raisons principales. Tout d'abord, cette complexité résulte du fait que la vulnérabilité sociale n'est pas un phénomène directement observable, à cause de sa nature cachée, complexe et multidimensionnelle en facteurs sociaux. Ensuite, selon qu'elle est abordée de façon globale ou ciblée sur un aléa précis, la vulnérabilité se prête plus ou moins facilement à une validation empirique. En dernier lieu, le recours à des indices, se reposant sur une sélection de variables, simplifie la réalité (Fekete, 2009). Cela confirme que les indices cherchent à représenter des processus intangibles, ce qui rend impossible leur validation directe sur le terrain (Vincent, 2004). La complexité de la validation peut aussi être attribuée à la complexité de construction des indices et du manque d'accès à des données statistiques précises (Fatemi *et al.*, 2017).

Un moyen de valider les indices de vulnérabilité sociale repose sur la corrélation avec un jeu de données supplémentaire indépendant, à savoir celui des dégâts, pertes et impacts observés de catastrophes (Vincent, 2004 ; Rufat *et al.*, 2019) ou en utilisant des variables de substitution comme la mortalité (Gall, 2007 ; Fekete, 2019). Cette validation est réalisée dans certaines études d'évaluation de la vulnérabilité sociale, comme dans celles de Cutter *et al.* (2003) ou Fekete (2009), qui formulent un indice validé de vulnérabilité sociale en Allemagne, en utilisant les dommages réels causés par des inondations. Dans le cas de Cutter *et al.* (2003), les auteurs ont comparé les résultats obtenus de leur indice SoVI avec le nombre de déclarations de catastrophes par comté, selon une simple analyse de corrélation. Toutefois, la faiblesse de la corrélation observée a amené les auteurs à suggérer que les déclarations de catastrophes officielles ne reflètent pas nécessairement la vulnérabilité sociale mesurée par le SoVI, mais sont probablement davantage liées à la fréquence et à la localisation des événements, ainsi qu'aux enjeux politiques qui entourent le processus de déclaration.

Fekete (2019) et Rufat *et al.* (2019) remettent en cause ce mode de validation en interrogeant la relation de causalité apparente entre les dommages observés et la vulnérabilité présumée. Selon Rufat *et al.* (2019), la nature multidimensionnelle des indices de vulnérabilité sociale ne peut être validée de manière adéquate à l'aide de proxys d'impacts de catastrophe unidimensionnels.

D'autres types de « validation » sont constatés comme dans l'étude de Mavhura *et al.* (2017), où la validation du SoVI a été réalisée en confrontant qualitativement les résultats avec les

perceptions des locaux et des autorités, sur base d'interviews. Il ne s'agit donc pas d'une validation basée sur des données recueillies après une catastrophe, mais plutôt d'une validation par expertise locale.

Outre la complexité de validation des indices de vulnérabilité sociale, une subjectivité réside tout au long de la construction de ces indices, à cause des séries de sélections (comme les choix de variables, de pondération ou d'agrégation) (Tate, 2012 ; Rufat *et al.*, 2019). Par exemple, le choix des variables peut influencer fortement ces indices, au point de risquer de produire des indices non valides (Vincent, 2004). La Figure 4 reprend les différentes sources d'incertitude possibles dans les indices de vulnérabilité sociale (Gall, 2007).

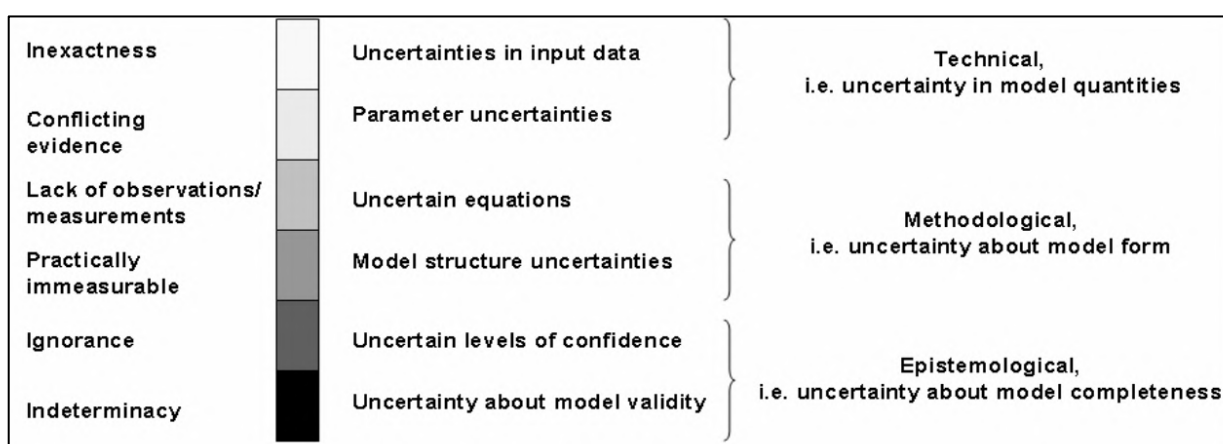


Figure 4 : Sources d'incertitudes dans les indices de vulnérabilité sociale (adapté de Rotmans et van Asselt, 2001, via Gall, 2007).

Des tests de sensibilité sont également parfois menés comme analyse supplémentaire (validation interne).

Ainsi, l'étude de Schmidtlein *et al.* (2008) montre que les changements d'échelle ou de niveau d'agrégation n'affectent pas de manière significative les performances de l'indice SoVI. En revanche, cet indice demeure sensible aux variations dans sa méthode de construction. Schmidtlein *et al.* (2008) mettent en avant le rôle essentiel du jugement d'experts dans la construction et l'interprétation d'indices de la vulnérabilité sociale, tel que le SoVI.

Tate (2012) a comparé les effets de tests de sensibilité dans la construction d'indices de vulnérabilité sociale selon les trois différentes approches discutées précédemment sur les résultats finaux. L'étude a notamment montré que le type de pondération était relativement insensible dans les approches déductives mais était modérément sensible dans les approches inductives. Les deux approches sont aussi sensibles à la sélection des indicateurs.

Dans son étude, Apotsos (2019) a testé la sensibilité des indices construits et montré que les résultats restaient globalement robustes malgré les variations méthodologiques, que ce soit dans la préparation des données, la réalisation de l'ACP ou l'agrégation des scores. Cependant, il souligne que lorsque l'on travaille sur des sous-ensembles réduits de données individuelles, les résultats peuvent fortement varier en fonction de la qualité des données et des méthodes d'agrégation utilisées.

Malgré les complexités liées à la validation présentées ici, certaines études ont permis de souligner l'efficacité et l'utilité des indices. Par exemple, une étude en Caroline du Sud (États-Unis) a montré que le SoVI avait réussi à repérer les zones les plus vulnérables pour orienter les aides à la reconstruction face aux dommages d'inondation (Blackwood & Cutter, 2023). Pour ce faire, les auteurs ont utilisé des modèles de régression pour comparer les scores du SoVI aux zones de dommages dues aux inondations, ainsi qu'à la localisation des demandeurs et des bénéficiaires d'aide à la reconstruction. Toutefois, ils soulignent aussi les limites liées à l'échelle : le SoVI à l'échelle des zones de recensement ne reflète pas les profils des individus réellement aidés. Dans l'étude de Yoon (2012), la régression linéaire entre les indices produits et les dommages causés par les catastrophes est significative.

En bref, il existe beaucoup d'interrogations concernant la réalisation de validation des indices et le choix des indicateurs (Fekete, 2019 ; Rufat *et al.*, 2019). Pourtant, ces indices constituent de bons outils quantitatifs pour comparer la vulnérabilité sociale entre différents territoires (Schmidtlein *et al.*, 2008). Toutefois, selon Rufat *et al.* (2019), il est indispensable de valider empiriquement ces indices afin d'identifier les modèles et indicateurs de vulnérabilité sociale qui expliquent de manière cohérente les impacts des catastrophes, avant d'envisager une suite et des études de comparaisons entre modèles.

## CHAPITRE 3 • CONTEXTE DU SITE DE L'ÉTUDE

Ce troisième chapitre vise à décrire le contexte de la zone étudiée, à savoir la ville de Bukavu, en République démocratique du Congo (RDC). Cette description sera utile pour comprendre la situation géographique, les dynamiques locales, les enjeux, particulièrement en matière de vulnérabilité et de risques, ainsi que les évolutions de la ville.

### 3.1 Présentation générale de Bukavu

Localisée à l'est de la RDC, Bukavu est une des villes les plus peuplées du pays avec une population estimée à plus d'un million d'habitants (Bisoka *et al.*, 2021). Cette ville assure la fonction de chef-lieu de la province du Sud-Kivu. Elle borde le sud-ouest du lac Kivu et la rivière Rusizi, frontières naturelles la séparant du Rwanda (Figure 5).



Figure 5 : Situation géographique de Bukavu dans la RDC en Afrique centrale.

Sur le plan géomorphologique, Bukavu présente un relief assez accidenté avec une altitude moyenne de 1 600 mètres (Figure 6) (Chamaa & Ndagiriyehe, 1981 ; Maki Mateso & Dewitte, 2014 ; Kalikone *et al.*, 2017 ; Muhaya *et al.*, 2022). Son dénivelé est supérieur à 700 mètres entre le niveau du lac Kivu (environ 1 460 mètres) et les sommets du sud-est à plus de 2 100 mètres. La Figure 6 met également en évidence la présence de fortes pentes dans certains secteurs. La ville appartient à la partie occidentale du Rift est-africain avec la présence de failles géologiques qui en caractérise sa géomorphologie (Maki Mateso & Dewitte, 2014).

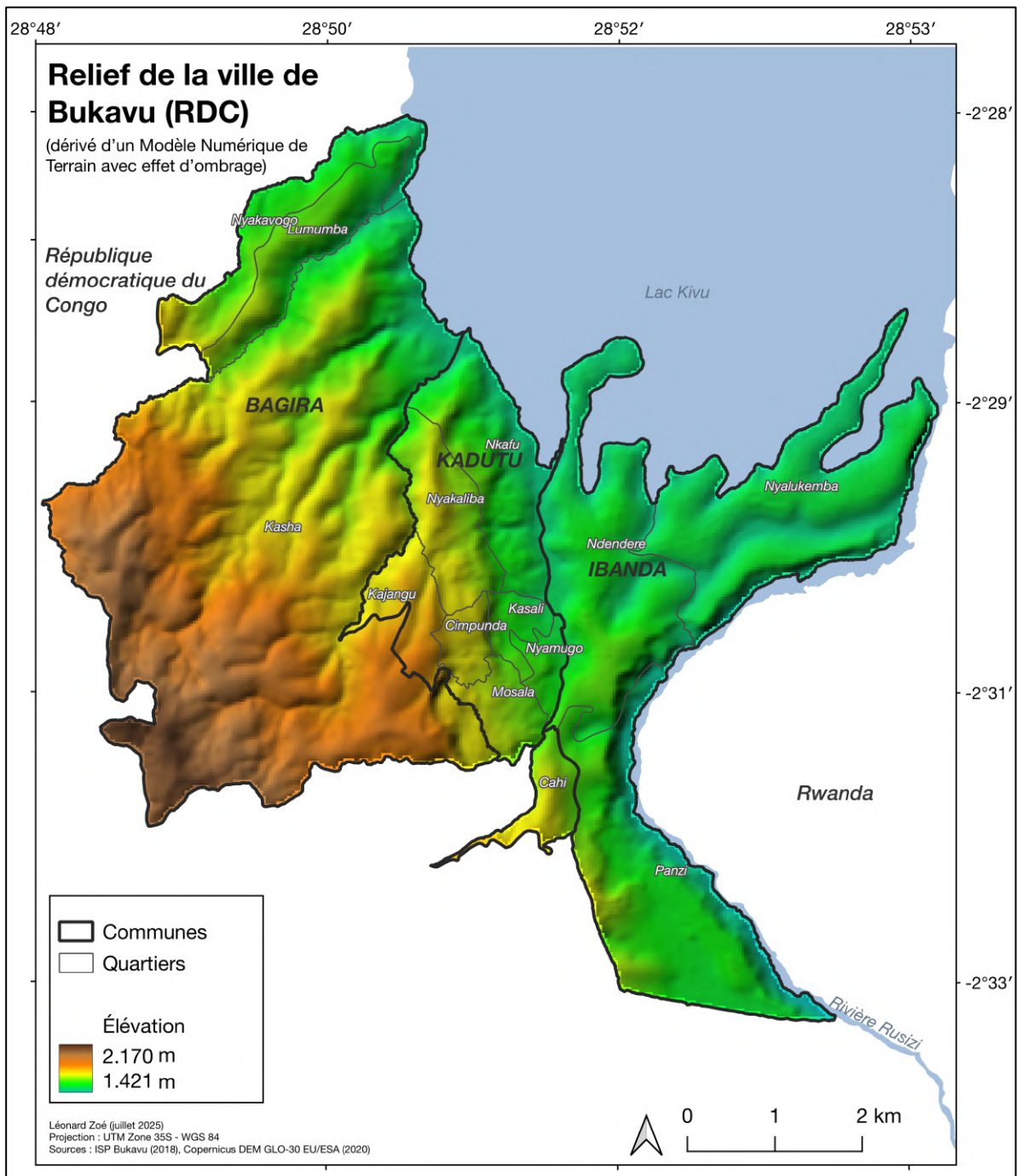


Figure 6 : Le relief à Bukavu.

En termes de climat, Bukavu bénéficie d'un climat tropical humide de montagne, typique des zones intertropicales d'altitude. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 1 500 mm (Kalikone *et al.*, 2017 ; Muhaya *et al.*, 2022). Deux saisons se distinguent : une saison sèche d'environ trois mois, de juin à septembre, et une saison humide le restant de l'année (Muhaya *et al.*, 2022). La température moyenne annuelle est de 19°C (Bunduki *et al.*, 2015).

D'un point de vue administratif, la ville de Bukavu a une superficie d'environ 44 km<sup>2</sup> (Kalikone *et al.*, 2017). Elle est divisée en trois communes ; Bagira, Kadutu et Ibanda, elles-mêmes subdivisées en 14 quartiers de tailles très variables (Figure 7). Bagira, la commune la plus à l'ouest située dans les plus hautes altitudes, est divisée en quatre quartiers : Nyakavogo, Lumumba, Kasha et Cah. Kadutu est découpée en sept quartiers : Nkafu, Nyakaliba, Kajangu, Kasali, Cimpunda, Nyamugo et Mosala. Quant à la dernière commune, Ibanda, située le plus à l'est et bordant la rivière Rusizi, elle est quant à elle divisée en trois quartiers : Nyalukemba, Ndendere et Panzi.



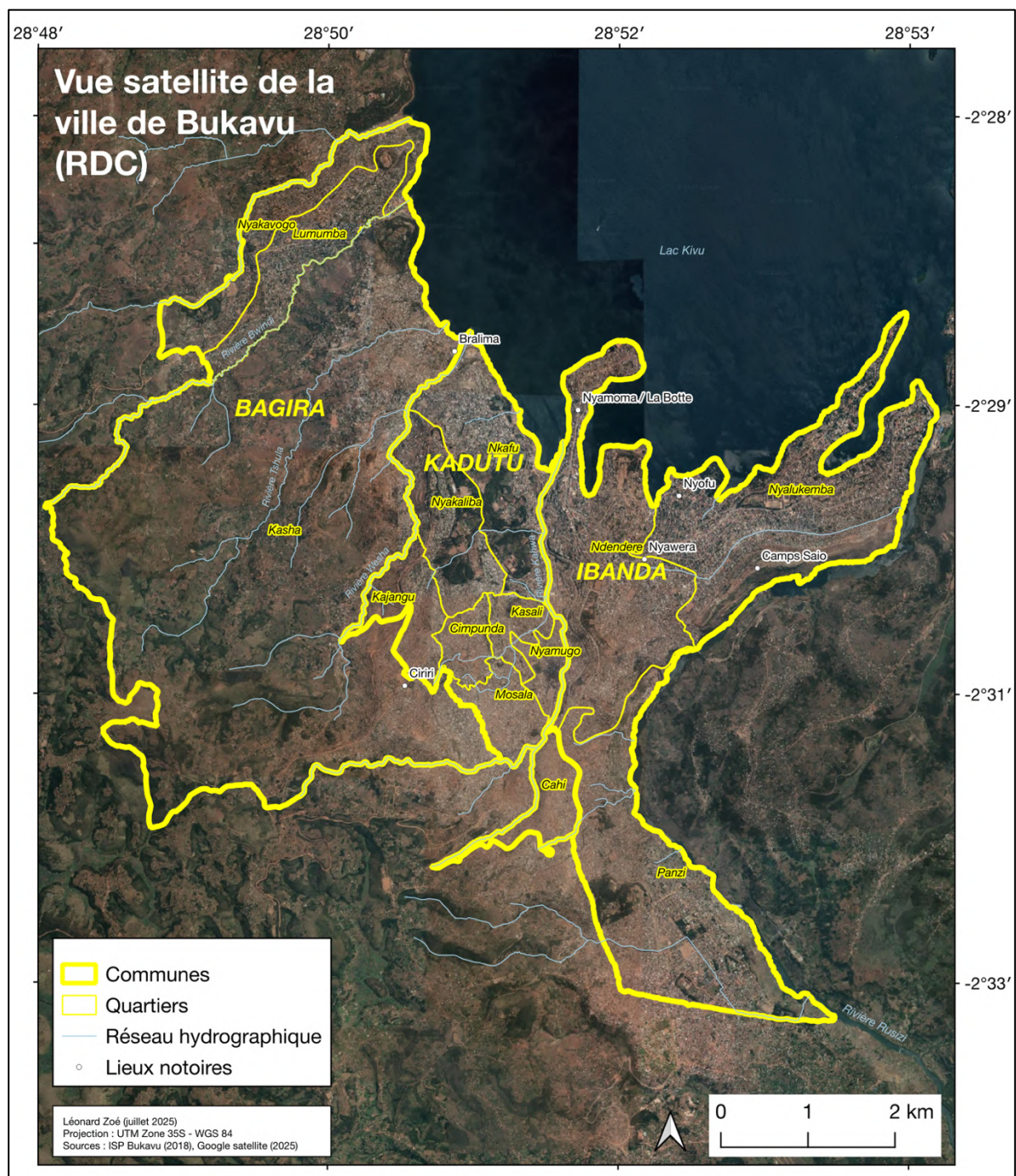


Figure 7 : Limites administratives et réseau hydrographique sur vue satellitaire de Bukavu.

Sur la Figure 8, il est possible de se rendre compte de l'occupation du sol et de la densité dans les zones urbanisées. Ainsi, on observe que les communes de Kadutu et Ibanda sont les plus peuplées et urbanisées. Tandis que la commune de Bagira, moins densément peuplée, abrite les zones agricoles et forestières.



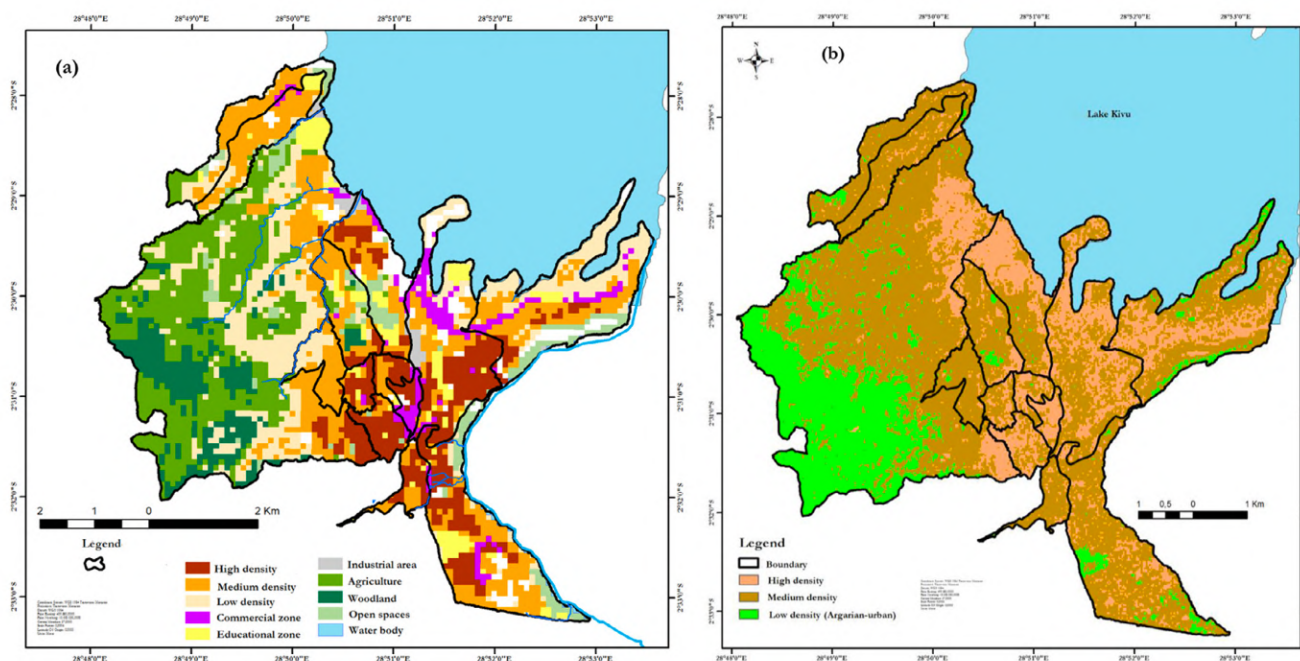


Figure 8 : Bukavu selon la couverture des sols (à gauche) ainsi que la densité de population (à droite) (Muhaya et al., 2022).

## 3.2 Urbanisation, dynamique démographique et contexte socio-économique général

Historiquement, la ville s'est développée suite à l'établissement d'un poste militaire en 1900, sous l'État indépendant du Congo dirigé par le roi Léopold II, puis durant la période coloniale belge à partir de 1908 (Chamaa & Ndagiriyehe, 1981). Toutefois, c'est dans la période postcoloniale, à partir de l'indépendance de la RDC en 1960, que Bukavu a connu une véritable croissance urbaine, marquée à la fois par une expansion démographique et territoriale (Chamaa & Ndagiriyehe, 1981 ; Bisoka *et al.*, 2021). Depuis les années 1990, les données municipales indiquent que la population a été multipliée par plus de cinq, dépassant le million d'habitants en 2016 (Jacobs *et al.*, 2018).

Cette dynamique s'explique par l'accroissement démographique naturel et par un exode rural (temporaire ou permanent) provoqué par l'insécurité dans les zones périphériques, notamment à cause des conflits, ainsi que par l'attractivité des services de base et des opportunités économiques offertes en ville (Jacobs *et al.*, 2018 ; Bisoka *et al.*, 2021). Son développement urbain s'est opéré sans planification stratégique dans un contexte d'héritage colonial dysfonctionnel (Bisoka *et al.*, 2021 ; Aganze Marhegane *et al.*, 2022). Cela a entraîné une augmentation de la densité de population et des habitations informelles ainsi qu'une insécurité et une pression foncière, où des conditions de logement précaires sont observées (Bisoka *et*

*al.*, 2021). Ce constat s'explique également par une expansion de la ville limitée par ses conditions physiques et topographiques (Muhaya *et al.*, 2022).

On observe donc un développement urbain spontané sans normes urbanistiques qui s'étend dans des zones inappropriées et susceptibles d'être exposées à des aléas naturels, telles que des terrains de pentes raides, les berges de rivières, les bords du lac ou des terrains sujets aux glissements de terrain et à l'érosion, souvent caractérisés par des infrastructures insuffisantes et dégradées, avec des conditions sanitaires insalubres (Bisoka *et al.*, 2021 ; Aganze Marhegane *et al.*, 2022 ; Muhaya *et al.*, 2022) (ex. en Figure 9). L'étude de Ndyanabo *et al.* (2010) montre ainsi une croissance notable des constructions sur des pentes supérieures à 30 %. On constate également que les populations issues de l'exode rural s'installent principalement aux abords de la ville, notamment sur les rives du lac et sur les pentes abruptes (Muhaya *et al.*, 2022). De plus, la plupart des habitations à Bukavu sont informelles, présentant des niveaux différents de sécurité foncière (Jacobs *et al.*, 2018).



Figure 9 : Exemple d'urbanisation non structurée dans une zone sujette à éboulements (Caroline Michellier, comm. pers., 2025).

L'étude de Muhaya *et al.* (2022), en considérant différents paramètres comme les pentes, les zones affectées par les glissements de terrain ou les bords de lac et routes, suggère que la majorité des zones propices à l'urbanisation se trouvent à Bagira (59,2 %), suivie d'Ibanda (29,3 %) et de Kadutu avec seulement 11,5 %. En effet, la commune de Kadutu est la plus sujette aux activités néotectoniques et aux glissements de terrain existants (Ndyanabo *et al.*, 2010). Malgré ce fait, elle présente une forte densité d'habitants (cf. Figure 8) et est généralement considérée comme le cœur industriel et commercial de la ville (Van Overbeek,

2020 ; Muhaya *et al.*, 2022). Tandis que la commune d'Ibanda, centre historique avec l'installation des Européens durant la période coloniale, est aujourd'hui considérée comme le centre urbain (Van Overbeek, 2020). L'étude de Muhaya *et al.* (2022) montre déjà que les zones les plus urbanisées - Ibanda et Kadutu - sont aussi les moins appropriées.

En outre, bien que Bukavu soit une des villes les plus peuplées de RDC, les conditions socio-économiques sont marquées par une pauvreté structurelle importante, combinée avec un accès limité aux services de base et à des infrastructures urbaines souvent insuffisantes, comme discuté précédemment. En effet, la province du Sud-Kivu est la province avec le taux de pauvreté le plus élevé à l'échelle nationale (Marivoet *et al.*, 2019). En outre, le contexte politique de Bukavu est particulièrement complexe, marqué par une forte centralisation du pouvoir depuis Kinshasa, une gouvernance fragmentée, et une autonomie locale partielle, dans un territoire marqué par les conflits armés (Bisoka *et al.*, 2021). En matière de gouvernance, les autorités de la ville sont critiquées pour leur absence de vision prospective et de volonté politique, ainsi que pour le manque de financement et les détournements de fonds (Aganze Marhegane *et al.*, 2022).

---

### 3.3 Aléas naturels

---

L'Afrique centrale, y compris Bukavu, est connue pour la présence d'aléas naturels majeurs, tels que des séismes et des glissements de terrain, dans le contexte, précédemment développé, de forte densité démographique, de pauvreté élevée et d'instabilité politique (Michellier *et al.*, 2016). Ainsi, les catastrophes liées à des aléas naturels se sont amplifiées à cause des facteurs naturels, tels que les séismes, le climat, la topographie et la lithologie ainsi que des facteurs anthropiques (Ndyanabo *et al.*, 2010).

Tout d'abord, la région est exposée à une grande sismicité vu sa localisation dans le Rift africain et face à la croissance des populations exposées (Michellier *et al.*, 2016). Par exemple, en 2008, un séisme de magnitude 5,9 sur l'échelle de Richter a touché la ville en engendrant 11 morts, des centaines de blessés et des milliers de bâtiments endommagés (d'Oreye *et al.*, 2011 ; Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2025). Un autre séisme d'une magnitude de 5,5 a secoué la zone en 2015, comptabilisant 3 morts et 30 blessés (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2025).

De plus, la ville est régulièrement confrontée à des glissements de terrain, en grande partie à cause de son contexte géographique et géomorphologique naturel marqué par un relief



accidenté, des sols argileux, une pluviométrie intense et la sismicité de la région (Mateso & Dewitte, 2014 ; Kalikone *et al.*, 2017 ; Dille *et al.*, 2022). Cependant, les facteurs anthropiques contribuent aussi, notamment à travers l'urbanisation anarchique avec des aménagements réalisés sans vision globale, la perturbation du drainage et la déforestation, en influençant les dynamiques de ces glissements de terrain (Maki Mateso & Dewitte, 2014 ; Michellier *et al.*, 2016 ; Dille *et al.*, 2022). Selon Moeyersons *et al.* (2004), plus de 15% de la surface de Bukavu est couverte par des glissements de terrain, certains encore actifs. Deux des plus grands glissements de terrain observés dans la ville sont le glissement de Funu (1,5 km<sup>2</sup>) et le glissement de Nyakavogo (0,066 km<sup>2</sup>) (voir Figure 10 pour la délimitation de certains glissements de terrain, notamment celui de Funu) (Mugaruka *et al.*, 2017 ; Michellier *et al.*, 2020a ; Dille *et al.*, 2022). De plus, ces zones de glissements de terrain provoquent du ravinement important qui implique des dégâts significatifs sur les parcelles et constructions (Balegamire *et al.*, 2017). En outre, comme discuté précédemment, les nouveaux habitants et les populations les plus pauvres ont tendance à s'installer dans les zones affectées par des glissements de terrain (exemple de cas dans la Figure 11) (Michellier *et al.*, 2016).

Entre 2000 et 2025, deux événements de glissements de terrain majeurs furent déplorés à Bukavu, tous deux causés par d'importantes précipitations. Le premier événement date de 18/01/2014 et a engendré 11 morts, tandis que le deuxième date du 10/12/2023 entraînant 14 morts (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2025).

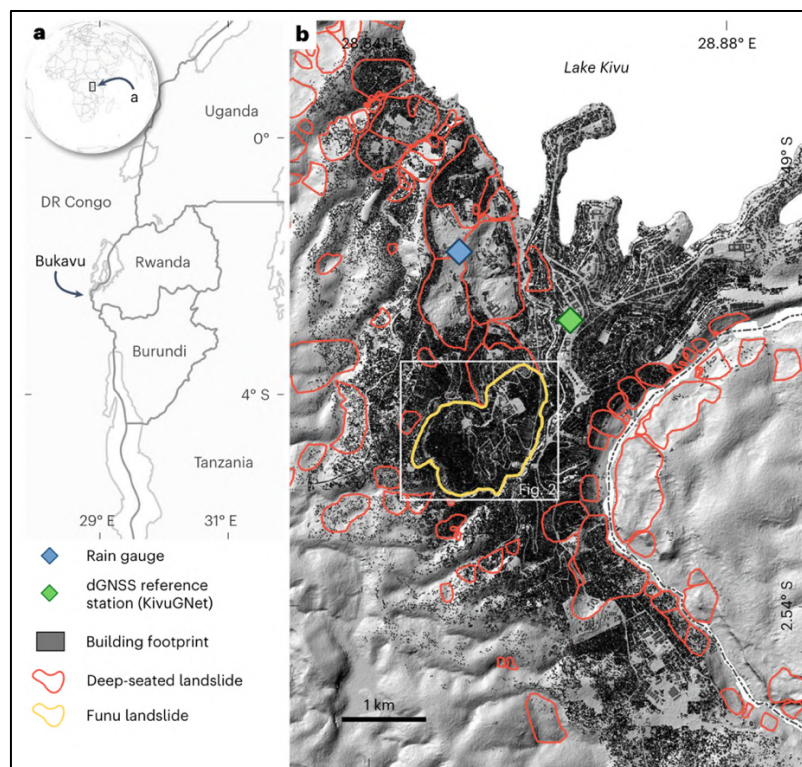


Figure 10 : Délimitation des glissements de terrain (en rouge, en particulier le glissement de terrain Funu en jaune) avec l'implantation des bâtiments à Bukavu (Dille *et al.*, 2022).

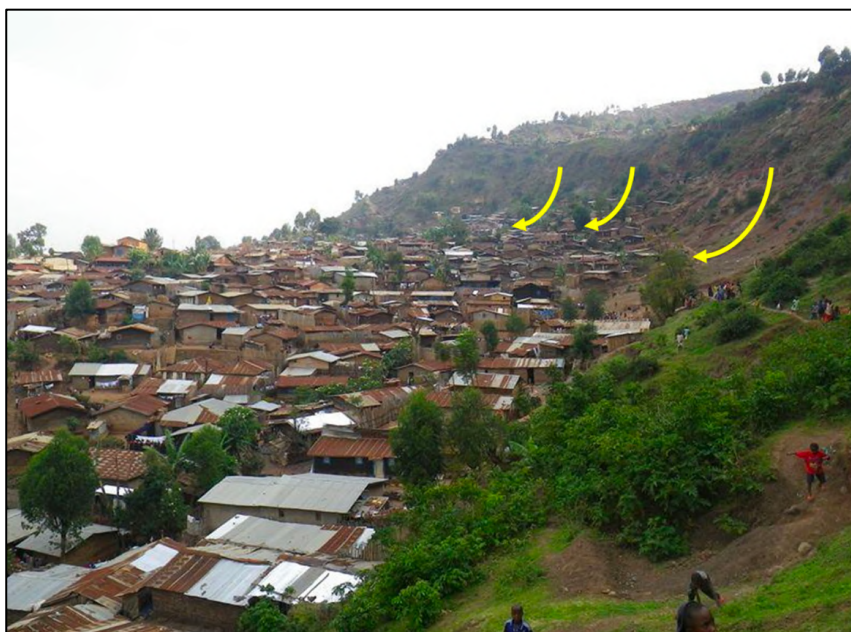


Figure 11 : Quartier pauvre et très dense de Bukavu, construit sur une zone instable qui se déplace de plusieurs dizaines de centimètres par an par endroits (flèches jaunes), photographié en 2012 (Michellier et al., 2016).

Les inondations par ruissellement dues aux fortes pluies, conjuguées à la nature des sols avec des faibles taux d'infiltration et à la topographie sont également importantes et s'intensifient (Ndyanabo *et al.*, 2010 ; Muhaya *et al.*, 2022). Par exemple, 21 personnes sont décédées des suites d'inondations et coulées de boue dans la ville fin décembre 2023 à la suite de précipitations intenses (RFI, 2023 ; Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2025). Selon Muhaya *et al.* (2022), environ 1,85 % de la superficie de la ville est sujette aux inondations en raison de pentes inférieures à 2 %, tandis que plus de 15 % du territoire présente des pentes fortes (>15 %), le rendant exposé à l'érosion et aux glissements de terrain.

---

### 3.4 Gestion des risques et changement climatique

---

Après le séisme majeur de 2008 à Bukavu, les autorités provinciales du Sud-Kivu ont amorcé la création d'un service de gestion des risques, mais aucune action concrète n'a été mise en œuvre dans un premier temps : le service est resté pendant plusieurs années sans mission définie, sans personnel dédié, ni moyens d'intervention (Michellier *et al.*, 2016). Dans l'attente de la mise en place d'une structure officielle, les interventions d'urgence étaient assurées par la Croix-Rouge, grâce à des volontaires. Ce n'est qu'en 2012 qu'un bureau provincial de la Protection civile a officiellement été créé, avec l'appui, notamment financier, d'organisations telles que l'ONG Oxfam Novib et l'organisme des Nations Unies OCHA (Michellier *et al.*, 2016). De 2013 à 2015, un plan de contingence de gestion de catastrophes a été élaboré et finalisé pour la première fois à Bukavu par la Protection civile. Depuis, cette dernière a commencé à

enregistrer systématiquement les catastrophes. En 2015, avec le soutien du PNUD (Programme des Nations Unies pour le Développement), une plateforme nationale des risques a été lancée, avec le Sud-Kivu comme province pilote, incluant un système d'alerte précoce basé sur des observateurs communautaires (Michellier *et al.*, 2016).

Afin de réduire les risques de catastrophes, les institutions doivent s'appuyer sur des outils d'aide à la décision, ce qui rend indispensables les évaluations du risque et de la vulnérabilité (Michellier *et al.*, 2016). Toutefois, dans la zone étudiée, les données disponibles restent rares et limitées, en particulier celles concernant l'impact des catastrophes, pourtant essentielles à de telles évaluations (Michellier *et al.*, 2016).

De plus, en termes de préparation aux risques et d'évacuation, les habitants ne peuvent pas facilement fuir en raison des caractéristiques géographiques de la ville, bordée au nord par un lac et à l'est par une rivière formant également une frontière nationale avec le Rwanda (Michellier *et al.*, 2016).

De manière générale, les pays en développement, en particulier ceux du continent africain, voient croître la vulnérabilité de leurs populations face aux aléas naturels, par une combinaison complexe de facteurs tels que la croissance démographique, la pauvreté, la pression migratoire, la faible capacité de réponse face aux catastrophes ainsi que l'augmentation d'habitats formels et informels dans des zones à risque (Di Ruocco *et al.*, 2015). La croissance démographique et urbaine est d'ailleurs la plus rapide dans la région intertropicale et les villes de cette région s'étendent surtout sur des terrains escarpés, avec de la déforestation non réglementée, propices aux glissements de terrain (Ozturk *et al.*, 2022). Tandis que le changement climatique constitue un facteur aggravant, en exacerbant l'intensité et la fréquence d'aléas naturels tels que les glissements de terrain suite aux précipitations plus intenses (Di Ruocco *et al.*, 2015 ; Ozturk *et al.*, 2022). Il est d'ailleurs désormais question de vulnérabilité aux aléas induits par le changement climatique, qui constituent des enjeux majeurs pour l'évaluation du risque et de la résilience dans les villes africaines (Vincent, 2004 ; Di Ruocco *et al.*, 2015). Pour faire face à ces enjeux grandissants, il y a donc une nécessité de planifier et réguler les villes telles que Bukavu (Muhaya *et al.*, 2022).

## CHAPITRE 4 • MÉTHODOLOGIE

Ce chapitre a pour objectif d'exposer la méthodologie employée pour l'élaboration des indicateurs socio-économiques et démographiques, ainsi que la construction d'indices de vulnérabilité, dans sa dimension sociale. Pour ces derniers, deux approches ont été retenues : d'une part, l'indice de vulnérabilité sociale (SoVI), et d'autre part, l'indice opérationnel de vulnérabilité (OVI), tous deux déjà présentés dans le chapitre 2.

Cette étude s'appuie sur des données d'enquête de terrain collectées à Bukavu en 2018 par l'équipe de Mme C. Michellier, chercheuse spécialisée en risques naturels et vulnérabilité, du Musée royal de l'Afrique centrale, dans le but de reproduire une méthodologie déjà appliquée aux données d'une enquête de 2014 dans le cadre de la thèse de Michellier (2017) portant sur Goma et Bukavu, ainsi que dans la publication de Michellier *et al.* (2020b), centrée uniquement sur Goma. Il apparaît dès lors cohérent de reprendre cette même méthodologie, d'autant plus que l'objectif est d'analyser l'évolution des indices. Toutefois, la pertinence de cette méthodologie a été réévaluée à la lumière de l'état de l'art, et fera l'objet d'une discussion au chapitre 6.

---

### 4.1 Enquête de terrain : la base de données de l'étude

---

#### 4.1.1 Préambule : étude de 2018, une extension à celle de 2014

---

Pour l'étude des données de 2014, menée dans le cadre de la thèse de Michellier (2017), une méthodologie rigoureuse de conception de l'enquête et de l'échantillonnage avait été longuement réfléchie, notamment avec des experts locaux, une approche participative et sur base des connaissances de terrain. À partir d'une évaluation de l'enquête de 2014, une nouvelle enquête « adaptée » a été organisée en 2018.

L'enquête de terrain, constituant ainsi la base de données de cette étude, s'est déroulée du 25 avril au 28 mai 2018 auprès d'individus et de ménages de Bukavu. Elle comprenait trois jours de formation des enquêteurs, pour se familiariser aux matériels et procédures, et 30 jours de collecte sur le terrain. Elle a été pilotée par deux superviseurs, un de l'Institut Supérieur Pédagogique (ISP) de Bukavu et l'autre de l'Institut National de la Statistique (INS) du Sud Kivu, et réalisée par une équipe de treize enquêteurs issus des mêmes instituts. De plus, deux démarches ont été mises en œuvre, tout comme en 2014 : le dénombrement de la population et la collecte de données socio-économiques (Figure 12) (Michellier *et al.*, s.d.).





Figure 12 : Photographies de l'enquête de terrain de 2018 (Caroline Michellier, comm. pers., 2025).

## 4.1.2 Données issues de l'enquête

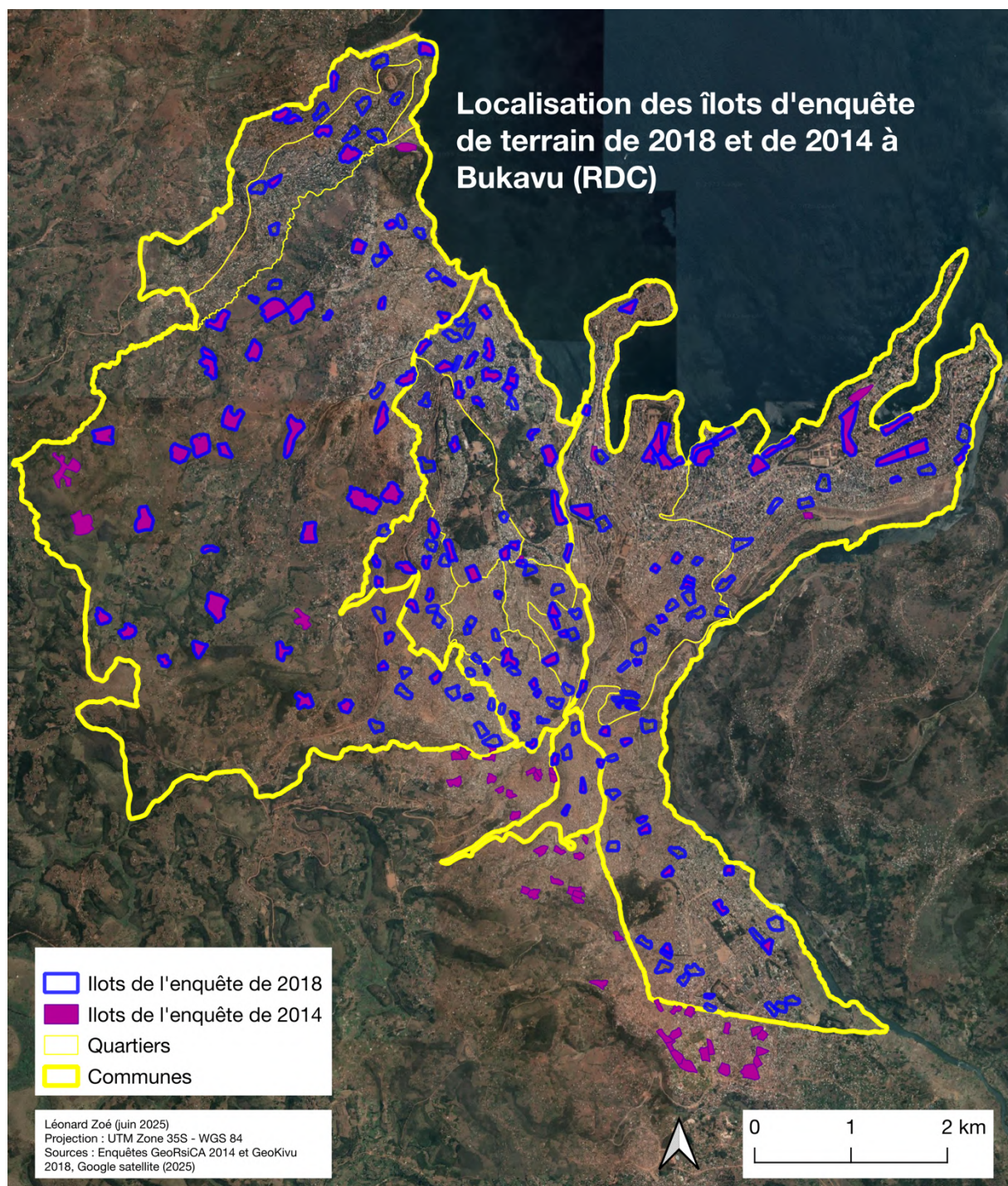
### 4.1.2.1 Échantillonnage

En ce qui concerne l'échantillonnage, il a été réalisé en 2018 au sein des limites administratives de Bukavu (cf. Section 3.1).

Le choix a été de distribuer environ 210 îlots d'enquête, soit les unités d'échantillonnage et de réalisation de l'enquête, aléatoirement au sein des communes, proportionnellement à leur superficie (environ 70 îlots par commune) (Figure 13). Ce nombre a été fixé pour être statistiquement représentatif. Ces îlots, considérés comme des regroupements de ménages, ont été délimités manuellement à l'aide d'images satellitaires. Les éléments urbains linéaires tels que les routes, ravines ou rivières ont été utilisés pour délimiter ces rassemblements. Par rapport à l'enquête de 2014, le nombre d'îlots par commune est passé d'environ 40 pour l'enquête de 2014 à 70 pour celle de 2018 afin de renforcer l'échantillonnage. Nous observons que la plupart des îlots déjà enquêtés en 2014 ont été réutilisés pour 2018, mais avec une présence globalement plus importante d'îlots dans la zone est de Bukavu (Figure 13).

Au final, pour le dénombrement de la population, 212 îlots ont été explorés, avec plus de 11 500 ménages visités et plus 77 000 personnes recensées au sein de ces îlots (Michellier *et al.*, s.d.). Pour procéder à la collecte d'informations socio-économiques, les mêmes îlots ont été visités mais uniquement dix ménages furent sélectionnés aléatoirement par îlot (Michellier *et al.*, 2020b). En définitive, cette collecte a totalisé plus de 2 000 ménages enquêtés (Michellier *et al.*, s.d.).





*Figure 13 : Localisation des îlots des enquêtes de terrain de 2018 et de 2014 à Bukavu.*

#### **4.1.2.2 Collecte de données socio-économiques**

Un premier questionnaire d'enquête a été réalisé et réfléchi, avec l'aide d'experts locaux, pour la réalisation de l'enquête de terrain de 2014. Ce questionnaire a ensuite été réévalué et modifié pour la nouvelle étude de 2018. Concrètement, ce questionnaire a pour objectif de

disposer des informations socio-économiques sur la population de Bukavu ainsi que des informations sur leurs expériences de catastrophe passées et leurs perceptions face aux risques. La récolte d'un tel nombre d'informations est essentielle dans un contexte de manque de données disponibles et de qualité, en particulier dans le domaine social. Par ailleurs, cette approche peut être justifiée par les éléments discutés dans le chapitre 2 qui privilégient la vulnérabilité comme un produit de processus sociaux et économiques sur les populations, sachant que les caractéristiques des groupes et des individus constituent des facteurs déterminants dans l'évaluation de leur vulnérabilité aux aléas (Wisner *et al.*, 2004).

Le questionnaire de 2018 (voir Annexe 1) a été divisé en quatre parties principales. La première partie (A) concerne les données géographiques et d'identification du ménage. La seconde partie (B) identifie certaines caractéristiques des individus du ménage et de sa structure, telles que le sexe, l'âge, l'ethnie, le lieu de résidence, la scolarité, les croyances, les langues parlées, les activités économiques et le revenu, ou les décès connus au sein du ménage. Les questions de la troisième partie (C) collectent des informations concernant les menaces, y compris celles engendrées par les aléas naturels, auxquels ont dû faire face les ménages ainsi que leurs impacts. Finalement, la dernière partie (D) vise à établir les caractéristiques de l'habitation (par exemple, date et matériaux de construction, nombre de pièces, mode d'approvisionnement et d'évacuation ainsi que les équipements).

Outre cette division en quatre parties, le questionnaire se compose de deux formulaires distincts selon l'échelle individuelle ou du ménage. Le « formulaire individus » concerne des questions posées à chaque membre du ménage. Il concerne donc principalement la partie B, mais aussi certains éléments d'identification de la partie A. Les réponses sont ainsi collectées à l'échelle individuelle. Le « formulaire ménages » regroupe toutes les questions liées au ménage en tant qu'unité, associant ainsi les questions des parties A, C et D.

À noter que certaines questions étaient conditionnelles : elles n'ont été posées qu'en cas de réponses affirmatives à la question précédente. Par ailleurs, pour le « formulaire individus », certaines questions n'ont pas été posées lorsque la personne enquêtée n'était pas concernée en raison de son âge.

En comparaison avec le questionnaire de 2014 (voir Annexe 2), les thématiques et les questions posées dans le questionnaire de 2018 sont globalement restées similaires, avec la même division en quatre parties et en distinguant les questions à l'échelle de l'individu ou du ménage. Toutefois, outre des modifications portant sur la forme, certaines questions ont été révisées sur recommandations de l'avis des superviseurs lors d'ateliers participatifs, en

particulier concernant la formulation et la traduction des termes utilisés pour une compréhension identique pour l'ensemble de la population. Parmi les exemples de cas notables :

- Les catégories prédéfinies de revenu ont été réévaluées (Tableau 1).
- Les questions relatives aux langues parlées dans le questionnaire de 2014 se référaient aux trois langues principales, contrairement à celui de 2018, où il a été demandé toutes les langues parlées.
- Les questions relatives aux activités et aux personnes actives ont été entièrement reformulées, avec l'ajout de nouvelles questions, plus fermées. En effet, dans le questionnaire de 2014, uniquement une question ouverte s'y référait (*Quelles sont les activités qui vous font vivre ?*).
- Les questions relatives aux aléas portaient sur les aléas *géologiques* dans le questionnaire de 2014, tandis que dans celui de 2018, ces questions se référaient aux aléas *naturels* (en précisant des exemples comme un séisme, un éboulement ou une inondation). Les *aléas géologiques*, comme définis par l'UNDRR (2017), sont « associés aux processus internes de la terre. Il s'agit notamment des tremblements de terre, de l'activité et des émissions volcaniques, ainsi que des processus géophysiques connexes tels que les mouvements de masse, les glissements de terrain, les éboulements, les effondrements de surface et les lahars et coulées de boue ».
- Les catégories prédéfinies pour les murs des habitations ont été réévaluées (Tableau 1).

	Questionnaire de 2014	Questionnaire de 2018
Montant du revenu mensuel	Moins de 100 \$ 100 à 150 \$ 150 à 200 \$ 200 à 250 \$ 250 à 300 \$ Plus de 300 \$	Moins de 50 US \$ 50 à 100 US \$ 101 à 200 US \$ 201 à 300 US \$ 301 à 500 US \$ Plus de 500 US \$ Ne sait pas
Matériaux des murs	Mur en pisé Bois, planches Béton Bloc ciment Briques cuites Briques adobe Autre (préciser)	Pisé Bois, planches Semi durable crépi (bois/bambous/pierres/mortier) Semi durable non crépi (bois/bambous/pierres/mortier) Béton Bloc ciment Briques cuites Briques adobe Autre (préciser)

Tableau 1 : Modifications apportées aux catégories de revenu et de type de mur dans le questionnaire de 2018.



---

## 4.2 Site et échelles d'étude

---

Comme détaillé dans le chapitre 3, le site d'étude correspond à la ville de Bukavu et est défini par les limites administratives officielles de la ville (voir Figure 7). Il est toutefois manifeste, notamment à l'aide d'images satellitaires, que son emprise urbaine s'étend parfois au-delà de ces limites, en particulier dans le sud-est. Ce choix de s'en tenir aux limites administratives s'explique par le fait que la collecte de données de l'enquête de 2018 s'est exclusivement déroulée à l'intérieur de celles-ci, en raison de l'absence d'autorisation d'intervenir au-delà.

Pour l'établissement des indicateurs socio-économiques, l'unité spatiale d'étude choisie est celle des quartiers (voir Figure 7). En revanche, pour l'évaluation des indices de vulnérabilité, l'analyse se développe au sein de zones morphologiques (ZM). Ces ZM sont des polygones, découpant chaque commune et identifiées par un code unique, qui correspondent à des zones homogènes en termes de structure et de densité du bâti, sans qu'elles soient nécessairement contiguës. Ce découpage, réalisé sur base d'images satellites, est motivé par la distribution spatiale des caractéristiques socio-économiques de la population qui est souvent associée à son organisation spatiale (Liverman *et al.*, 1998). Certaines zones, dénommées zones exclues (ZE), n'ont cependant pas été retenues dans l'analyse car elles ne sont a priori pas occupées par des ménages, ce qui ne reflète donc pas la vulnérabilité de la population (ex. : commerces, écoles ou administrations). Cette délimitation en ZM et ZE avait été préalablement réalisée par Mme Michellier et ses collègues pour l'étude de 2014. La méthodologie est illustrée dans la Figure 14 et est détaillée dans l'Annexe 3. Pour l'enquête de terrain de 2018, la délimitation des ZM a été légèrement réévaluée, grâce aux conseils d'experts locaux, antérieurement au travail réalisé dans le cadre de ce mémoire. Au total, 23 ZM ont été définies pour cette nouvelle enquête (voir Figure 15 pour distinguer les ZM et ZE, ainsi que dans l'Annexe 4 pour les visualiser sur un fond satellite).

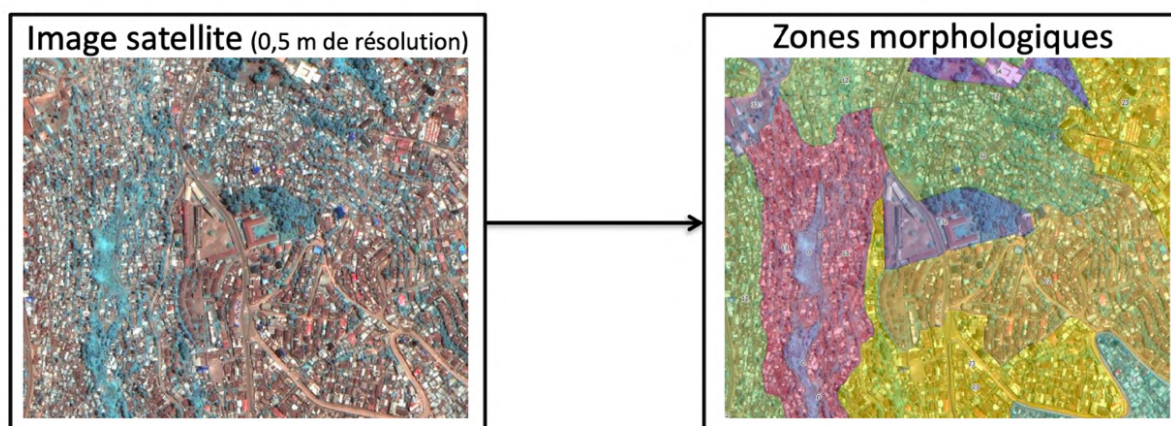


Figure 14 : Illustration de la méthodologie appliquée pour la délimitation des ZM (Michellier *et al.*, s.d.)

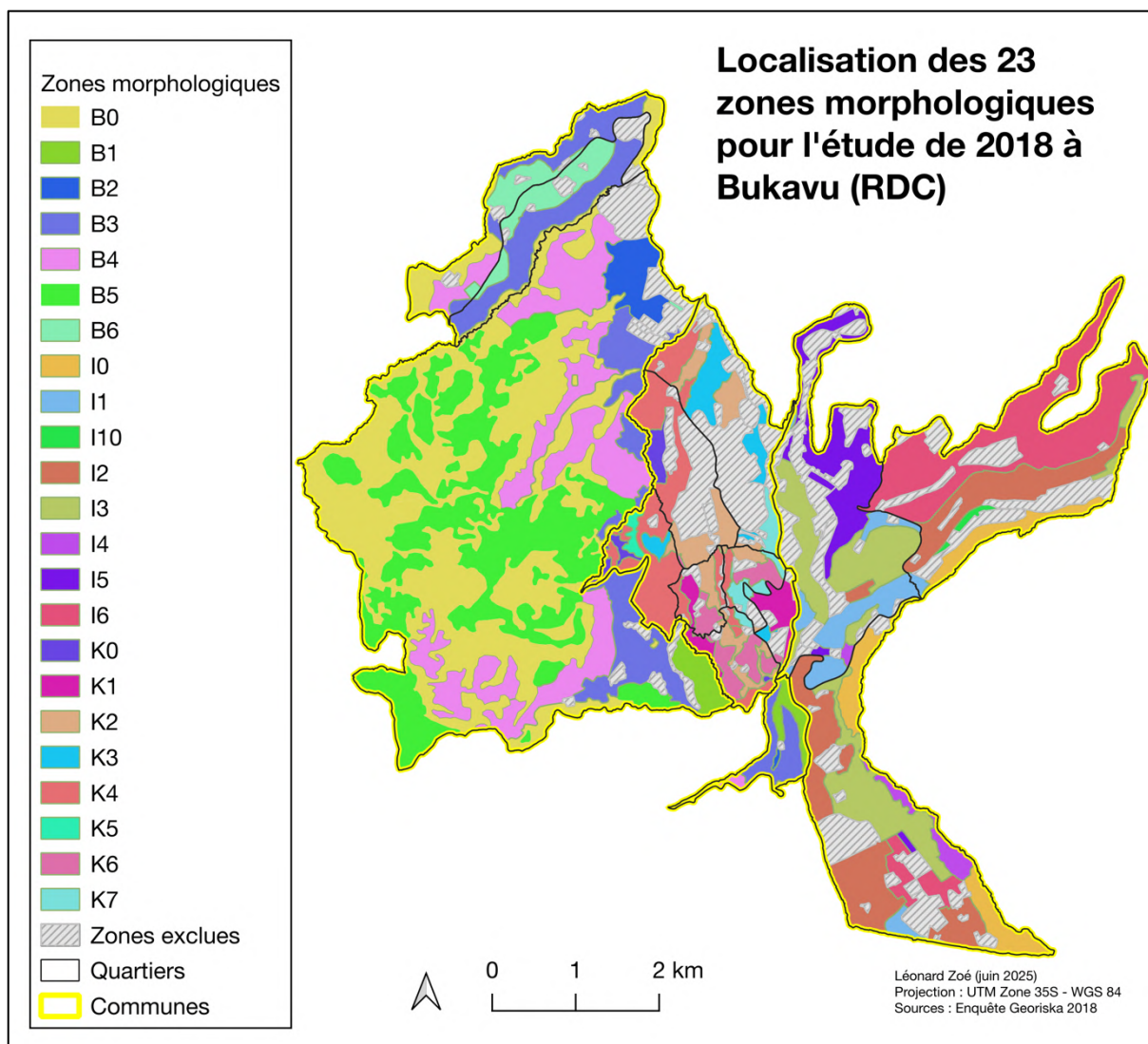


Figure 15 : Zones morphologiques et zones exclues pour l'étude de l'enquête de terrain de 2018 à Bukavu. Les définitions des codes des ZM se trouvent dans l'Annexe 3.

Sur la Figure 16, les modifications appliquées sur les ZM entre celles datant de 2014 et 2018 peuvent être visualisées. 24 ZM étaient comptabilisées en 2014 dans les limites administratives de Bukavu, pour 23 en 2018. Une ZM de 2014 a été entièrement transposée en ZE en 2018. De plus, pour l'enquête de 2014, la collecte de données couvrait également une partie plus au sud, en dehors de ces limites administratives, appelée « Annexe » et d'identifiants commençant par A. Cependant, comme précédemment discuté, vu qu'elles n'ont pas été prises en compte en 2018, les résultats de ce travail ne porteront pas sur ces zones. Hormis cela, peu de changements ont été effectués, en observant les zones de couleur verte identiques entre les deux enquêtes. Les changements restants représentent des portions de ZM étendues (zones de couleur bleue) ou réduites (zones de couleur rose). La réduction concerne surtout certaines zones au niveau de La Botte. Pour plus de précision, les différences de dénombrement de portions de ZM pour 2014 et 2018 sont présentées dans le tableau de l'Annexe 5.

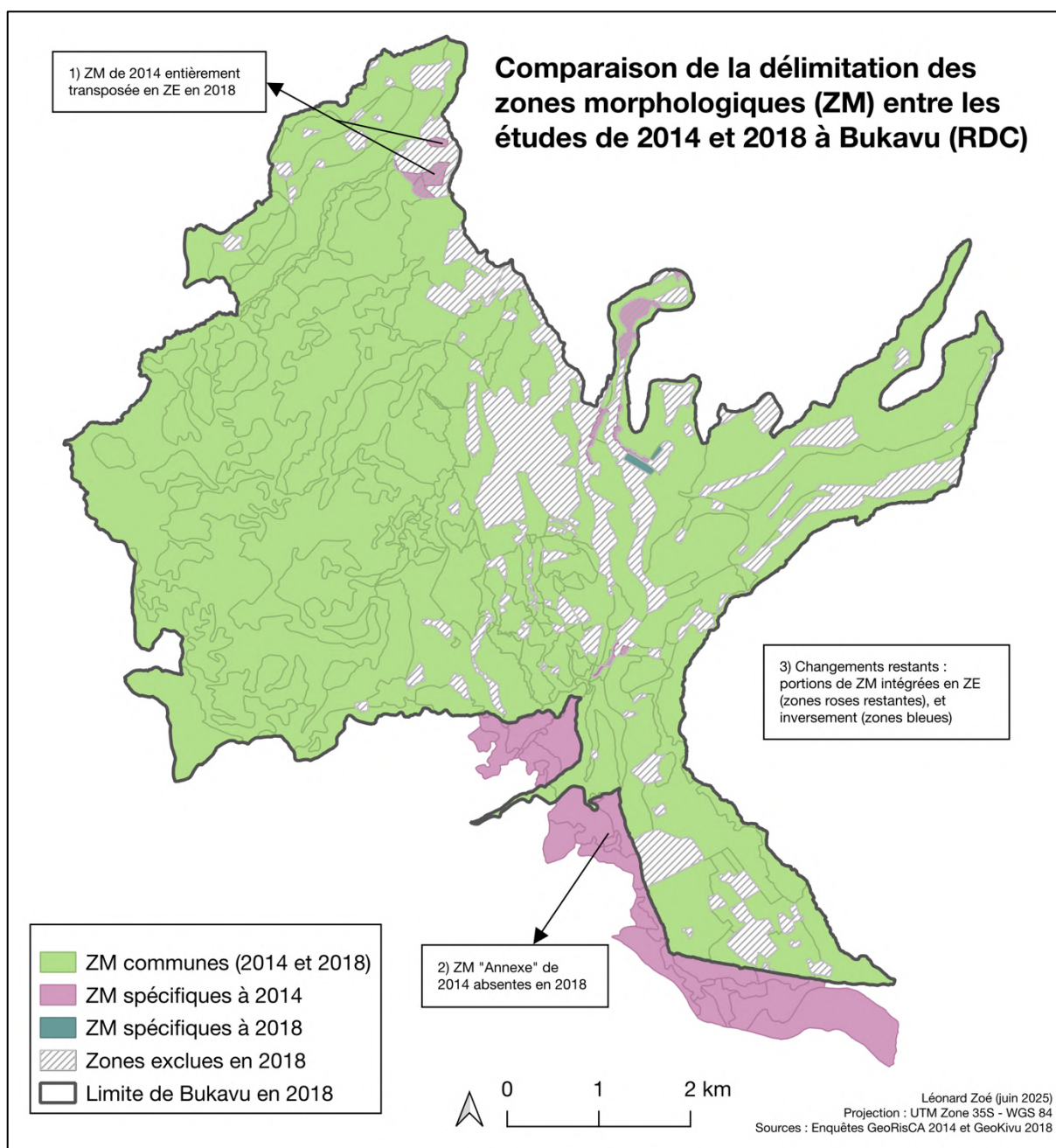


Figure 16 : Comparaison des ZM entre les études de 2014 et de 2018 à Bukavu.

### 4.3 Analyse descriptive : indicateurs socio-économiques et informations démographiques

Concernant les informations socio-économiques de 2018, les données déjà traitées ont été mises à disposition, tout comme celles de 2014, dont la méthodologie est détaillée dans l'Annexe 6. Plus précisément, des fichiers contenant le nombre d'effectifs par réponses possibles découlant des questionnaire de 2018 et 2014 estimés par quartiers et ZM ont été

fournis. L'ensemble des variables possibles découlant du questionnaire de 2018, à l'échelle individuelle et à l'échelle du ménage, est repris dans le tableau de l'Annexe 7.

En outre, pour les informations démographiques, des fichiers contenant des estimations du nombre de population par quartiers et ZM ont été délivrés. Ces données furent collectées sur base de la deuxième approche visée par l'enquête de terrain, l'approche de dénombrement de population, comme annoncée dans la section 4.1.1. La méthodologie pour obtenir ces informations est développée dans l'Annexe 6.

Pour l'analyse descriptive via les variables socio-économiques, une sélection d'indicateurs a été réfléchi sur base de ceux déjà présentés dans la thèse de Michellier (2017), et sur base des variables retenues par la suite dans la construction d'indices de vulnérabilité. Cette analyse, tout comme les éléments apportés avec le chapitre 3, s'accorde avec les propos de Solangaarachchi *et al.* (2012), qui soulignaient l'importance du contexte pour l'interprétation d'indices de vulnérabilité. Les indicateurs sélectionnés ont permis de réaliser des cartes thématiques socio-économiques de la population.

---

## 4.4 Évaluer la vulnérabilité sociale

---

Comme discuté dans le chapitre 2, différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sociale existent dans la littérature. Au vu des méthodes d'évaluation utilisées pour l'étude de 2014 et des données récoltées ainsi que des aspects mis en évidence dans l'état de l'art, il a été choisi de construire les deux mêmes indices de vulnérabilité sociale, le SoVI (développé par Cutter *et al.*, 2003) et l'OVI (développé par Michellier, 2017) pour l'échantillonnage de 2018. Ce choix s'explique aussi dans un but de comparaison de l'évaluation de la vulnérabilité, qui est le sujet principal de ce mémoire.

Afin de calculer ces deux indices, différents outils ont été mobilisés. Tout d'abord, Google Colab a été utilisé afin de coder un nouveau script en python pour traiter les données et construire les indices, sauf pour l'Analyse en Composantes Principales (ACP) (voir section 4.4.2.4.a). Google Colab permet la création rapide et simple de notebooks en ligne. L'ACP a quant à elle été réalisée dans R Studio, dans le langage R, car ce langage a été considéré comme plus pertinent dans les analyses statistiques. En outre, des outils d'intelligence artificielle, à savoir Chat GPT et Gemini, ont été utilisés pour aider au développement et à la correction des scripts. Malgré ces aides, ces scripts ont été modifiés manuellement et révisés de nombreuses fois.



Se basant sur des jeux de données semblables, la méthodologie en amont de la construction d'indices de vulnérabilité est identique à celle de l'étude de Michellier *et al.* (2020b). Ce choix est renforcé par le fait d'utiliser les deux mêmes indices de vulnérabilité que pour 2014. Cependant, les données n'étaient pas exactement similaires, comme expliqué plus haut, il a donc fallu réévaluer les traitements. Un schéma récapitulatif de l'ensemble de la méthodologie employée, avec les nouveautés mises en évidence pour l'étude de 2018, est visible sur la Figure 17.

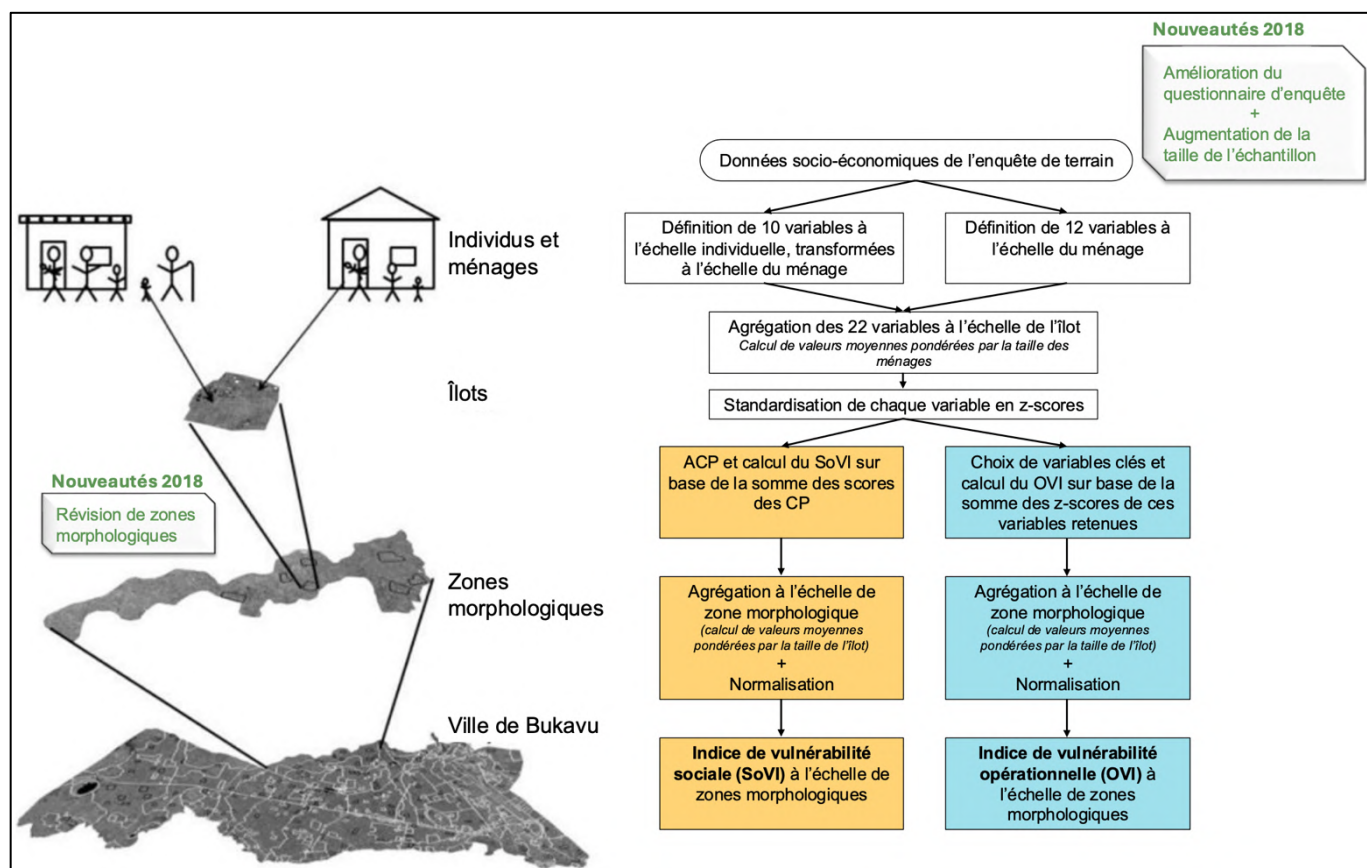


Figure 17 : Schéma récapitulatif de la méthodologie employée pour la construction des indices de vulnérabilité (modifié d'après Michellier *et al.*, 2020b).

#### 4.4.1 Données

Les données utilisées pour la construction des indices de vulnérabilité sociale sont les données brutes issues des questionnaires de l'enquête de collecte de données socio-économiques de 2018 à Bukavu. Pour rappel, cette enquête a été réalisée dans différents îlots, identifiables au sein des ZM, quartiers et communes, ce qui a permis d'obtenir des données à l'échelle des individus et des ménages pour chaque îlot.

Deux fichiers ont été mis à disposition : un fichier avec les réponses de chaque individu (fichier *Individu*) et un fichier avec les réponses de chaque ménage (fichier *Ménage*). Chaque individu



et chaque ménage sont identifiables par un code unique (associé) et des codes d'îlots, de ZM, de quartiers et de communes.

## **4.4.2 Construction d'indices de vulnérabilité sociale**

### **4.4.2.1 Prétraitements**

Des prétraitements sur les données brutes ont été réalisés afin de nettoyer ces données. Ce nettoyage a permis de supprimer les doublons et les données absolument vides. En outre, les non-résidents ont été supprimés de la base de données (individus ayant répondu « visiteur » à la question concernant la situation de résidence).

### **4.4.2.2 Définition de variables au niveau du ménage**

La première étape pour la construction d'indices de vulnérabilité consiste à définir un ensemble de variables appropriées. Les 22 mêmes variables que celles utilisées dans l'étude des données de 2014, présentées dans la thèse de Michellier (2017) et dans l'étude de Michellier *et al.* (2020b), ont été retenues. Ce choix s'explique par la similitude des jeux de données, le même contexte géographique (ville de Bukavu) et la pertinence des critères ayant guidés ce choix. En effet, ces 22 variables, tout comme leur influence positive ou négative sur la vulnérabilité, avaient été déterminées à l'issue d'une revue de littérature, une enquête Delphi<sup>2</sup>, de consultations auprès d'experts locaux et d'expériences de terrain. Cette combinaison de facteurs justifie le choix de conserver les mêmes variables pour 2018.

Les 22 variables retenues et leurs descriptions sont disponibles dans le Tableau 2 (une description plus complète des logiques de calcul se trouve dans l'Annexe 8). Parmi celles-ci, 10 variables proviennent de données à l'échelle individuelle qui ont été agrégées en variables à l'échelle du ménage. Les 12 autres variables proviennent directement des données à l'échelle du ménage.

---

<sup>2</sup> Des experts ont été réunis afin de discuter du sujet. L'objectif était de trouver un accord commun sur les facteurs les plus pertinents à prendre en considération lors de l'évaluation de la vulnérabilité.

Tableau 2 : Définition et caractérisation des 22 variables retenues (modifié d'après Michellier, 2017 ; Michellier et al., 2020b).

Numéro	Variable	Abréviation	Type de variable	Influence sur la vulnérabilité	Description détaillée
<b>VARIABLES A L'ÉCHELLE DES INDIVIDUS AGRÉGÉES A L'ÉCHELLE DES MÉNAGES</b>					
1	Nombre d'individus vivant dans le ménage	NUMIND	Continu	+	Nombre total d'individus vivant dans le ménage
2	Proportion d'individus dépendants dans le ménage (< 16 ans et > 65 ans)	PROPDEP	Continu (0 à 1)	+	Proportion d'individus dépendants (moins de 16 ans ou 65 ans et plus) dans le ménage
3	Durée maximale de résidence en années dans Bukavu	MAXRESTIME	Continu	-	Durée maximale de résidence d'un individu dans la ville (0 si < 1 an)
4	Proportion d'individus de plus de 3 ans scolarisés	PROPSCH	Continu (0 à 1)	-	Proportion d'individus >= 3 ans ayant été ou étant scolarisés
5	Éducation secondaire acquise dans le ménage	BASEDUC	Binaire	-	Indique si au moins un individu a suivi un niveau d'éducation de base (au moins secondaire)
6	Nombre maximal de langues parlées par un individu >12 ans	MAXLAN	Continu	-	Nombre maximal de langues parlées par un individu > 12 ans dans le ménage
7	Proportion d'individus actifs économiquement	PROPACT	Continu (0 à 1)	-	Proportion d'individus économiquement actifs dans le ménage
8	Revenu moyen mensuel par personne dans le ménage	INCOMEPM	Continu	-	Revenu mensuel total du ménage (en US \$) divisé par le nombre d'individus
9	Ménage avec moins de deux personnes indépendantes (16-65 ans)	MOINS2INDEP	Binaire	+	Indique si le ménage a moins de 2 personnes indépendantes (ménages monoparentaux ou dépendants uniquement)
10	Proportion de femmes dans le ménage	PROPWOMAN	Continu (0 à 1)	+	Proportion de femmes dans le ménage
<b>VARIABLES A L'ÉCHELLE DES MÉNAGES</b>					
11	Ménage se sentant menacé par un aléa naturel	THRHAZARD	Binaire	-	Indique si le ménage s'est senti menacé par un aléa naturel (perception du risque)
12	Ménage ayant vécu une catastrophe liée à un aléa naturel	EXPHAZARD	Binaire	-	Indique si le ménage a vécu une catastrophe liée à un aléa naturel
13	Habitation avec murs en matériaux coûteux	WALL	Binaire	-	Indique si les murs sont en matériaux coûteux (briques, pierres, béton, ciment)
14	Habitation avec toit en matériaux coûteux	ROOF	Binaire	-	Indique si le toit est en matériaux coûteux (tuiles, ciment, tôle galvanisée, béton)
15	Habitation avec sol en matériaux coûteux	FLOOR	Binaire	-	Indique si le sol est en matériaux coûteux (carrelage, pierres, béton, ciment)

16	Ménage possédant une radio	RADIO	Binaire	-	Indique la possession d'au moins une radio.
17	Ménage possédant un téléphone portable	MOBPHONE	Binaire	-	Indique la possession d'au moins un téléphone portable.
18	Ménage possédant un appareil multimédia	MULTIMEDIA	Binaire	-	Indique la possession d'au moins un appareil multimédia (TV, ordinateur, lecteur DVD).
19	Ménage possédant un vélo	BICYCLE	Binaire	-	Indique la possession d'au moins un vélo.
20	Ménage possédant une moto	MOTO	Binaire	-	Indique la possession d'au moins une moto.
21	Ménage possédant une voiture	CAR	Binaire	-	Indique la possession d'au moins une voiture.
22	Superficie de l'habitation	HOUSEAREA	Continu	-	Surface totale de l'habitation (en m²).

#### 4.4.2.3 Conversion des variables à l'échelle des îlots d'enquête et conversion en z-scores

Les 22 variables définies précédemment ont ensuite été agrégées à l'échelle des îlots d'enquête selon la formule (Michellier, 2017 ; Michellier *et al.*, 2020b) :

$$V_i = \sum_{h=1}^H \left( \frac{I_m}{I_i} \times V_m \right)$$

Où :

- $V_i$  : valeur moyenne de la variable pour l'îlot  $i$  ;
- $H$  : nombre de ménages interrogés dans l'îlot  $i$  ;
- $I_m$  : nombre d'individus dans le ménage  $m$  (NUMIND) ;
- $I_i$  : nombre total d'individus enquêtés dans l'îlot  $i$  ;
- $V_m$  : valeur de la variable pour le ménage  $m$ .

Pour les variables binaires, afin de correspondre à la méthodologie employée pour les données de 2014, il a été décidé de garder les valeurs décimales des suites de cette agrégation.

Les valeurs des variables agrégées aux îlots ont ensuite été converties en z-scores. Le z-score est une méthode de standardisation des données, calculée en soustrayant la moyenne des valeurs, puis en divisant le résultat par l'écart-type.

#### 4.4.2.4 Méthode SoVI

##### 4.4.2.4.a ACP

Les z-scores précédemment calculés ont été utilisés dans une Analyse en Composantes Principales (ACP). Cette analyse statistique vise à réduire la dimension d'un large jeu de données de variables interdépendantes, tout en préservant au maximum la variance initiale de ce jeu de données. Elle aboutit à la construction d'un nouveau jeu de variables, appelées composantes principales (CP), qui sont non corrélées entre elles et qui regroupent différentes variables initiales corrélées entre elles. Les CP sont classées de manière à ce que les premières capturent la plus grande part de la variabilité du jeu initial de variables (Jolliffe, 2002). Ainsi, les 22 variables, sous forme de z-scores, ont été réduites et regroupées selon leur corrélation.

Afin de vérifier si l'application d'une ACP sur les variables étaient adéquates, deux tests ont été utilisés (comme par exemple dans l'étude de Maharani *et al.*, 2016 ou de Mavhura *et al.*, 2017).

Le premier test est l'indice de KMO (Kaiser-Meyer-Olkin). Il est recommandé un résultat minimal de 0,5 ; un résultat entre 0,5 et 0,7 est médiocre, celui entre 0,7 et 0,8 est bon, celui entre 0,8 et 0,9 est très bon, et celui supérieur à 0,9 est excellent (Hutcheson, 1999).

L'autre test utilisé est le test de Bartlett afin d'évaluer la corrélation entre variables. En effet, ce test évalue l'hypothèse nulle selon laquelle il n'existe aucune corrélation entre les différentes variables, et il est considéré comme significatif lorsque la p-value est inférieure à 0,001 (Maharani *et al.*, 2016).

Pour réaliser cette ACP, un script dans le logiciel R studio a été développé. En pratique, une rotation varimax a été ajoutée lors de l'analyse pour faciliter l'interprétation des analyses des CP. Seules les CP possédant une valeur absolue supérieure à un ont été retenues (Zwick & Velicer, 1986 ; Mavhura *et al.*, 2017 ; Michellier *et al.*, 2020b). En outre, seules les variables de charge supérieure à 0,6 ou inférieure à -0,6 ont été conservées dans chaque CP, ce qui facilite leur interprétation tout en contenant un nombre de variables suffisant (Michellier, 2017).

Des suites de cette performance, des scores sont obtenus par CP et par îlot d'enquête.

#### 4.4.2.4.b Construction de l'indice SoVI

Chaque CP produite par l'ACP est ensuite évaluée, selon son interprétation avec les variables qui la composent (et leurs charges), de telle manière à choisir l'influence positive ou négative sur la vulnérabilité de la population. Si une CP exerce une influence positive sur la vulnérabilité, c'est-à-dire qu'elle contribue à l'augmenter, son signe sera égal à celui des variables qui la forment, à condition que ces variables aient été préalablement admises comme ayant une influence positive sur la vulnérabilité (voir Tableau 2) (et inversement). Dans certains cas, notamment lorsque les signes de variables composant une CP sont contradictoires, le choix du sens de l'influence sur la vulnérabilité devra soit reposer sur des décisions subjectives mais justifiables, soit être traité en valeur absolue lorsque la relation avec la vulnérabilité n'est pas claire (ex. : Bronfman *et al.*, 2021).

Ensuite, l'indice de vulnérabilité sociale, SoVI, est construit sur base des scores de chaque CP additionnés, selon leur signe, via la formule suivante pour chaque îlot :

$$W = \sum_{k=1}^K (a_j \times W_j)$$

Où :

- $W$  : score SoVI de l'îlot ;
- $K$  : nombre de CP retenues (valeur propre > 1) ;
- $a_j$  : signe positif ou négatif de la CP  $j$  ;
- $W_j$  : score de la CP  $j$ .

Les CP sont considérées comme ayant une importance égale dans la construction de l'indice (comme dans Michellier *et al.*, 2020b ; Cutter *et al.*, 2003 ; Bronfman *et al.*, 2021).

Par la suite, les valeurs de l'indice sont agrégées à l'échelle des ZM, selon une pondération suivant la population des îlots, via la formule :

$$W_Z = \sum_{i=1}^I \left( \frac{J_i}{P_i} \times W_i \right)$$

Où :

- $W_Z$  : score SoVI de la ZM ;
- $I$  : nombre d'îlots enquêtés dans la ZM ;
- $J_i$  : nombre d'individus enquêtés dans l'îlot  $i$  ;

- $P_i$  : nombre total d'individus enquêtés vivant dans les îlots de la ZM (somme des  $J_i$  pour tous les îlots de la ZM) ;
- $W_i$  : scores SoVI de l'îlot  $i$ .

#### 4.4.2.5 Méthode OVI

La construction de l'indice de vulnérabilité opérationnel (OVI) repose sur l'équation définie dans les travaux de Michellier (2017) et Michellier *et al.* (2020b), qui s'appuyaient sur des jeux de données comparables. De plus, ce choix méthodologique s'inscrit dans la logique voulue lors de la création de l'OVI (cf. section 2.3.2.3) et répond à l'objectif d'évaluer l'évolution de la vulnérabilité en maintenant une méthodologie cohérente et comparable dans le temps.

Cette équation est la suivante :

*Indice opérationnel de vulnérabilité = - (Revenus moyens du ménage + Proportion d'individus (ayant été) scolarisés + Proportion d'individus actifs au sein du ménages + Proportion de femmes au sein de ménage + Le fait de se sentir menacé par un aléa naturel)*

#### 4.4.2.6 Cartographie thématique

Pour la cartographie thématique des deux indices de vulnérabilité, plusieurs méthodes étaient envisageables. Une réflexion a été menée afin d'identifier les approches permettant une comparaison temporelle des cartes.

Dans un premier temps, une normalisation min-max a été appliquée sur les scores finaux des deux indices afin de ramener leurs valeurs entre 0 (vulnérabilité minimale) et 1 (vulnérabilité maximale) (ex. : Yoon, 2012 ; Michellier *et al.*, 2020b ; de Assis Dias *et al.*, 2020). Ces scores ont ensuite été discrétisés en neuf classes d'amplitude égale, conformément à la méthode proposée par Michellier *et al.* (2020b).

Dans un second temps, une analyse complémentaire a été menée à partir de scores standardisés (z-scores), conformément aux pratiques couramment utilisées dans la littérature, qui reposent sur une discrétisation selon les écarts-types (ex. : Cutter *et al.*, 2003 ; Holand *et al.*, 2011 ; Armaş & Gavriş, 2013 ; de Loyola Hummell *et al.*, 2016 ; Mavhura *et al.*, 2017 ; Bronfman *et al.*, 2021 ; Blackwood & Cutter, 2023). Deux types de standardisation ont été appliqués : une standardisation annuelle (z-scores calculés séparément pour chaque année) et une standardisation générale (z-scores calculés sur l'ensemble des données des deux années). Cette dernière visait spécifiquement à permettre une comparaison cartographique

directe entre les années 2014 et 2018 et a également permis la réalisation de cartographies d'évolution des indices de vulnérabilité sociale, construites à partir de la différence des z-scores entre les deux années (Récapitulatif des méthodes employées dans le Tableau 3).

Tableau 3 : Récapitulatifs des méthodes cartographiques employées pour la visualisation des indices.

Cartographie	Méthode	Classification	Commentaires
<b>Normalisation min-max</b>	$\frac{\text{score brut} - \min}{\max - \min}$	Utilisation des intervalles égaux en 9 classes	Résultats entre 0 et 1
<b>Standardisation annuelle (z-score)</b>	$\frac{\text{score brut} - \text{moyenne annuelle}}{\text{écart} - \text{type annuel}}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ≤ -1,5 : Très faible</li> <li>▪ ≤ -0,5 : Faible</li> <li>▪ ≤ 0,5 : Moyen</li> <li>▪ ≤ 1,5 : Fort</li> <li>▪ &gt; 1,5 : Très fort</li> </ul>	Résultats autour d'une moyenne
<b>Standardisation générale (z-score)</b>	$\frac{\text{score brut} - \text{moyenne interannuelle}}{\text{écart} - \text{type interannuel}}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ≤ -1,5 : Très faible</li> <li>▪ ≤ -0,5 : Faible</li> <li>▪ ≤ 0,5 : Moyen</li> <li>▪ ≤ 1,5 : Fort</li> <li>▪ &gt; 1,5 : Très fort</li> </ul>	<p>Comparaison visuelle interannuelle possible, avec une légende identique.</p> <p>Calculs limités aux ZM existantes dans les deux années, excluant ainsi la ZM B7.</p> <p>Toutefois, les limites de certaines ZM ont légèrement été modifiées entre les deux années, ce qui peut entraîner un léger biais dans la comparaison.</p>
<b>Différence entre 2018 et 2014</b>	$\Delta Z = z_{2018} - z_{2014}$ <p>Z-scores issus de la standardisation commune</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ≤ -1,5 : Forte diminution</li> <li>▪ ≤ -0,5 : Diminution modérée</li> <li>▪ ≤ 0,5 : Peu ou pas de changement</li> <li>▪ ≤ 1,5 : Augmentation modérée</li> <li>▪ &gt; 1,5 : Forte augmentation</li> </ul>	

#### 4.4.3 Résultats de 2014

Comme expliqué précédemment, les résultats des deux indices de vulnérabilité pour l'année 2014 ont été obtenus dans le cadre de la thèse de Michellier (2017), sur base d'un script développé antérieurement. Le nouveau script, développé pour traiter les données de 2018 dans un nouvel environnement (Google Colab) et dans un nouveau langage (Python), a été testé sur les données de 2014 afin de reproduire les résultats existants. Certaines adaptations ont toutefois été nécessaires pour tenir compte des différences liées au questionnaire utilisé en 2014 (cf. section 4.1). Les résultats obtenus convergent vers ceux issus de la thèse, ce qui témoigne d'une bonne reproductibilité pour une application de la méthodologie sur les données de 2018. Par ailleurs, ce nouveau script appliqué aux données de 2014 a permis de manipuler les scores bruts dans le but de réaliser la démarche de comparaison. Par exemple, en recalculant la standardisation ou la normalisation min-max sans considérer les ZM annexes.

#### 4.4.4 Évaluer l'autocorrélation spatiale des scores des indices

Afin d'évaluer l'autocorrélation spatiale des résultats des deux indices (cf. par ex. : Armaş & Gavriş, 2013 ; Roncancio & Nardocci, 2016 ; Bronfman *et al.*, 2021), l'indice global de Moran et l'indice local de Moran ont été calculés pour les scores obtenus de 2018. Ces analyses ont été menées à l'échelle des îlots d'enquête, sur les scores bruts avant toute agrégation par ZM, afin de garantir une taille d'échantillon suffisante et d'éviter les biais liés à la faible représentativité et à l'hétérogénéité des ZM (nombre réduit, formes irrégulières, polygones non contigus). Les calculs ont été réalisés sous R Studio, en langage R. Après avoir testé plusieurs options de voisinage, la méthode des trois plus proches voisins a été retenue (voir Annexe 14 pour plus de détails).

L'indice global de Moran varie entre -1 et 1 ; une valeur positive indique une autocorrélation spatiale positive (valeurs similaires regroupées), une valeur proche de zéro suggère une absence d'autocorrélation spatiale et une valeur négative une autocorrélation négative (valeurs opposées regroupées). Une simulation de type Monte Carlo (9 999 permutations) a également été réalisée afin de tester la significativité statistique de l'indice de Moran global. Cette méthode génère des indices de Moran à partir de répartitions aléatoires des scores entre îlots (Bouayad & de Bellefon, 2018). Les corrélogrammes spatiaux permettent d'analyser l'évolution de l'autocorrélation spatiale selon différents ordres de voisinage. Dans ce cas, cinq ordres ont été testés, correspondant à des distances croissantes entre les îlots d'enquête.

L'indice local de Moran compare la variance locale à la variance globale. Son analyse est similaire à l'indice global de Moran. L'aspect statistiquement significatif est calculé par la p-value, attribuée pour chaque entité (Bouayad & de Bellefon, 2018).

Cette analyse d'autocorrélation spatiale permet de déterminer si les îlots les plus (ou les moins) vulnérables tendent à se regrouper spatialement, ou si les scores des indices sont distribués de manière aléatoire dans l'espace.



## CHAPITRE 5 • RÉSULTATS

Ce cinquième chapitre présente les résultats issus des traitements des données de l'enquête de terrain à travers, d'une part, la caractérisation socio-économique de la population au moyen de plusieurs indicateurs, et d'autre part, l'évaluation de la vulnérabilité à l'aide des deux indices retenus. Ces résultats seront mis en parallèle avec les résultats issus de l'enquête organisée en 2014 afin d'en analyser une évolution.

Il convient de noter que ces résultats, issus d'enquêtes et ayant subi des agrégations, présentent des incertitudes. Par conséquent, lorsque des valeurs proches sont comparées, l'interprétation doit rester prudente : il existe une marge d'erreur non mesurable, ce qui impose de privilégier l'analyse des écarts tranchés plutôt que des différences faibles.

---

### 5.1 Caractérisation socio-économique de la population de Bukavu

---

Dans cette section sont présentés les résultats de l'enquête de terrain menée en 2018, estimés et agrégés à l'échelle des quartiers, à travers une sélection d'indicateurs socio-économiques. Ces indicateurs permettent de caractériser les habitants de Bukavu et cette caractérisation est utile pour comprendre la vulnérabilité de la population. Une comparaison, quand elle est possible et souhaitée, est établie avec les résultats obtenus pour 2014.

#### 5.1.1 Densité de population

La ville de Bukavu recensait 837 123 habitants en 2018, contre 798 544 en 2014 (Tableau 4, chiffres détaillés à l'Annexe 9). Le taux de croissance annuel moyen est de 1,19 % entre 2014 et 2018. La taille moyenne d'un ménage est passée d'environ 6 personnes en 2014 à 7 personnes en 2018.

La densité globale moyenne de la ville de Bukavu (environ 44 km<sup>2</sup>) est de 19 322 hab./km<sup>2</sup> pour 2018, contre 18 431 hab./km<sup>2</sup> pour 2014, soit une hausse de 4,83 %. Cette densité varie fortement entre communes et quartiers, comme le montre la Figure 18. En 2018, Kadutu (environ 7 km<sup>2</sup>) est la commune la plus densément peuplée avec 29 045 hab./km<sup>2</sup> (+ 2,13 % par rapport à 2014), suivie de près par Ibanda (environ 13 km<sup>2</sup>) avec 27 377 hab./km<sup>2</sup> (+ 1,20 %). Bagira (environ 23 km<sup>2</sup>) se distingue par une densité nettement plus faible de 11 892 hab./km<sup>2</sup>, bien qu'en forte progression depuis 2014 (+ 12,26 %). La carte montre que les densités les plus élevées se concentrent dans les parties sud et ouest des communes de

Kadutu et Ibanda, communes les plus urbanisées, tandis que Bagira affiche une densité nettement plus faible en lien avec ses caractéristiques rurales, son relief et sa localisation périphérique aux quartiers centraux.

Tableau 4 : Informations démographiques et de densité pour 2014 et 2018 par commune de Bukavu.

Commune	2014			2018			Évolution de densité 2014-2018
	Population	Ménages	Densité (hab./km <sup>2</sup> )	Population	Ménages	Densité (hab./km <sup>2</sup> )	
Bagira	246 367	54 558	10 593	276 561	41 753	11 892	12,26 %
Ibanda	362 081	52 016	27 053	366 427	49 358	27 377	1,20 %
Kadutu	190 096	28 432	28 440	194 135	29 905	29 045	2,13 %
<b>Bukavu</b>	<b>798 544</b>	<b>135 006</b>	<b>18 431</b>	<b>837 123</b>	<b>121 016</b>	<b>19 322</b>	<b>4,83 %</b>

L'évolution (en %) de densité de population entre 2014 et 2018 est représentée par ZM sur la Figure 19. Elle met en évidence une densité en augmentation notable dans la commune de Bagira, en particulier dans le quartier de Kasha, ainsi que dans les zones bordant la rivière Rusizi. À l'inverse, la commune de Kadutu a globalement connu une baisse de densification, parfois marquée au sud-est, bien que certaines parties des quartiers de Nkafu et de Kajangu aient enregistré une hausse. Dans le nord de Bagira, certaines zones présentent également une diminution de densité.

La Figure 20, qui illustre l'évolution de la densité par quartiers, montre que Nyamugo et Mosala restent les plus densément peuplés de la ville, avec des valeurs avoisinant 50 000 hab./km<sup>2</sup> en 2018. Entre 2014 et 2018, une densification notable est observée dans plusieurs quartiers périphériques, tels que Kasha, Nyakavogo, Lumumba, Cahi ou Panzi, qui disposaient encore d'espaces non bâtis. En revanche, certains quartiers déjà très denses, comme Cimpunda, Mosala et Nyamugo, montrent une baisse de densité sur la période.

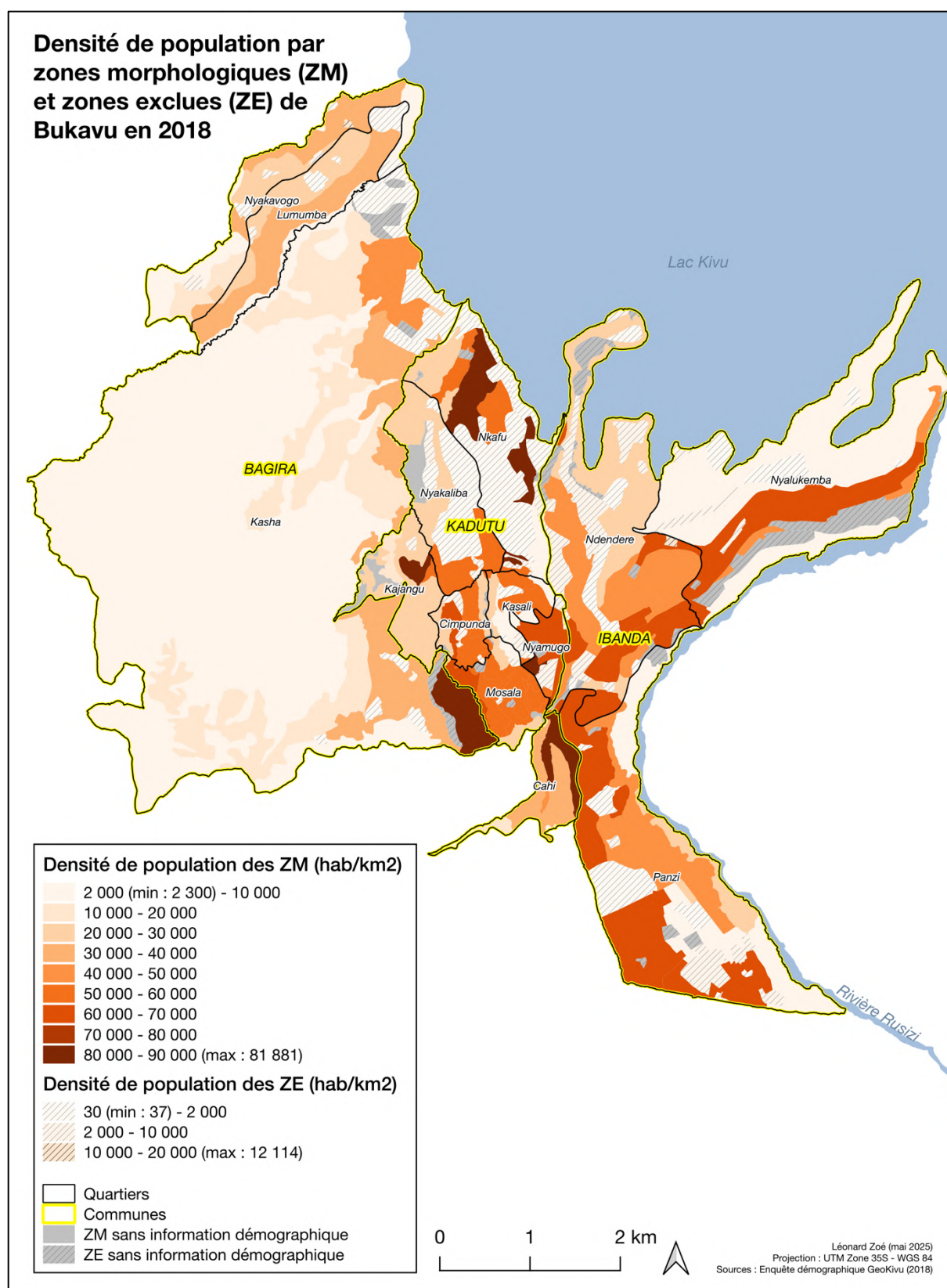


Figure 18 : Densité de population par ZM et ZE en 2018 à Bukavu. La présence de données en ZE s'explique par le fait que ces ZE, a priori inhabitées, ont fait l'objet d'une enquête à part pour le dénombrement de la population.

# **Évolution de la densité de population par ZM à Bukavu entre 2014 et 2018**

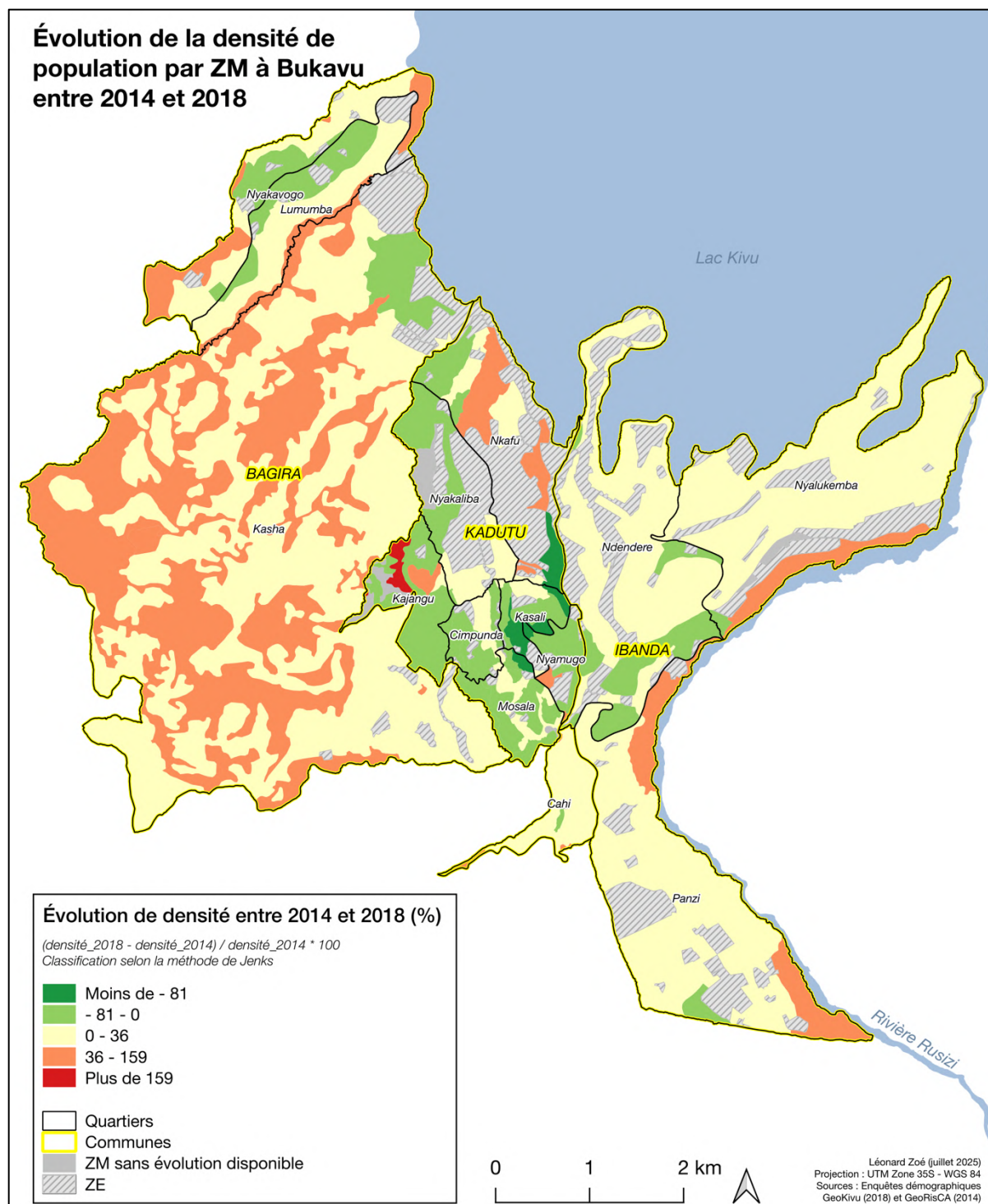


Figure 19 : Évolution de densité de population entre 2014 et 2018 par ZM de Bukavu.

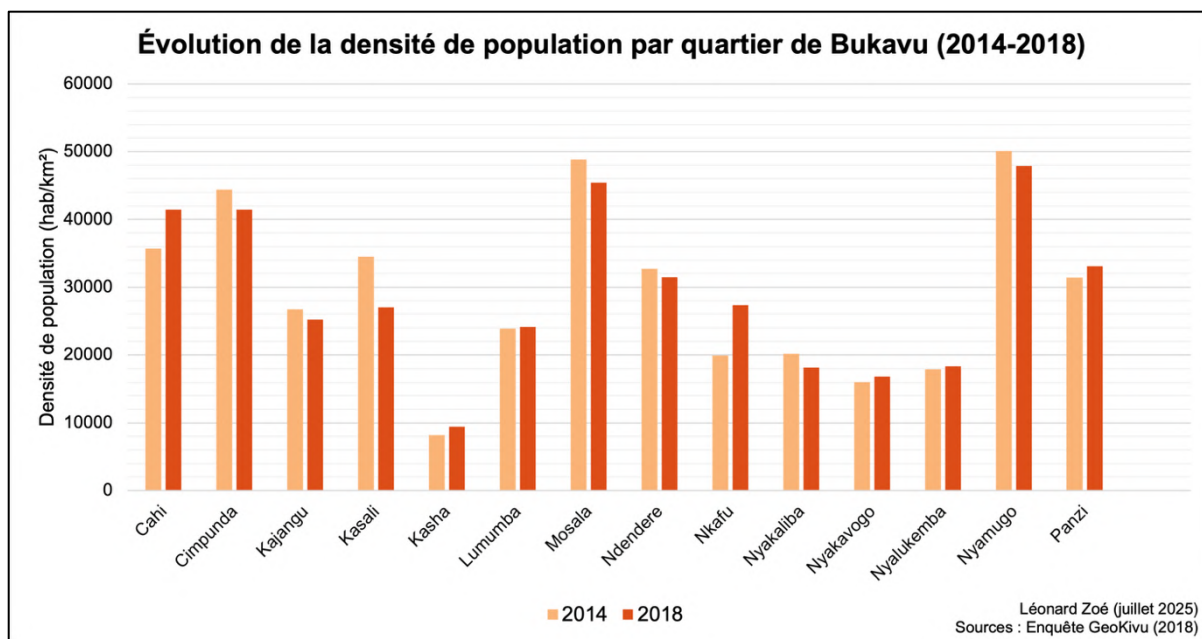


Figure 20 : Évolution de densité de population entre 2014 et 2018 par quartiers de Bukavu.

### 5.1.2 Répartition de l'âge et du sexe

En 2018, la répartition des individus par classe d'âge à Bukavu révèle une dominance de la tranche 18 - 65 ans, qui représente 44,07 % de la population. Elle est suivie par les tranches 3-11 ans (29,15 %), 12-17 ans (14,52 %) et moins de 3 ans (10,58 %). Les personnes âgées de plus de 65 ans constituent la proportion la plus faible, avec seulement 1,68 %. Ces tendances se retrouvent globalement dans l'ensemble des quartiers de la ville (Figure 21).

En outre, cette répartition par classe d'âge est relativement similaire à celle de 2014. En effet, la répartition était de 43,63 % pour la tranche 18-65 ans, 28,30 % pour 3-11 ans, 16,19 % pour 12-17 ans, 10,29 % pour les moins de 3 ans, et 1,59 % pour les plus de 65 ans. L'évolution de cette répartition par quartier entre 2014 et 2018 est disponible sur la Figure 22. Les tendances de répartition au sein des quartiers restent globalement similaires entre les deux années.



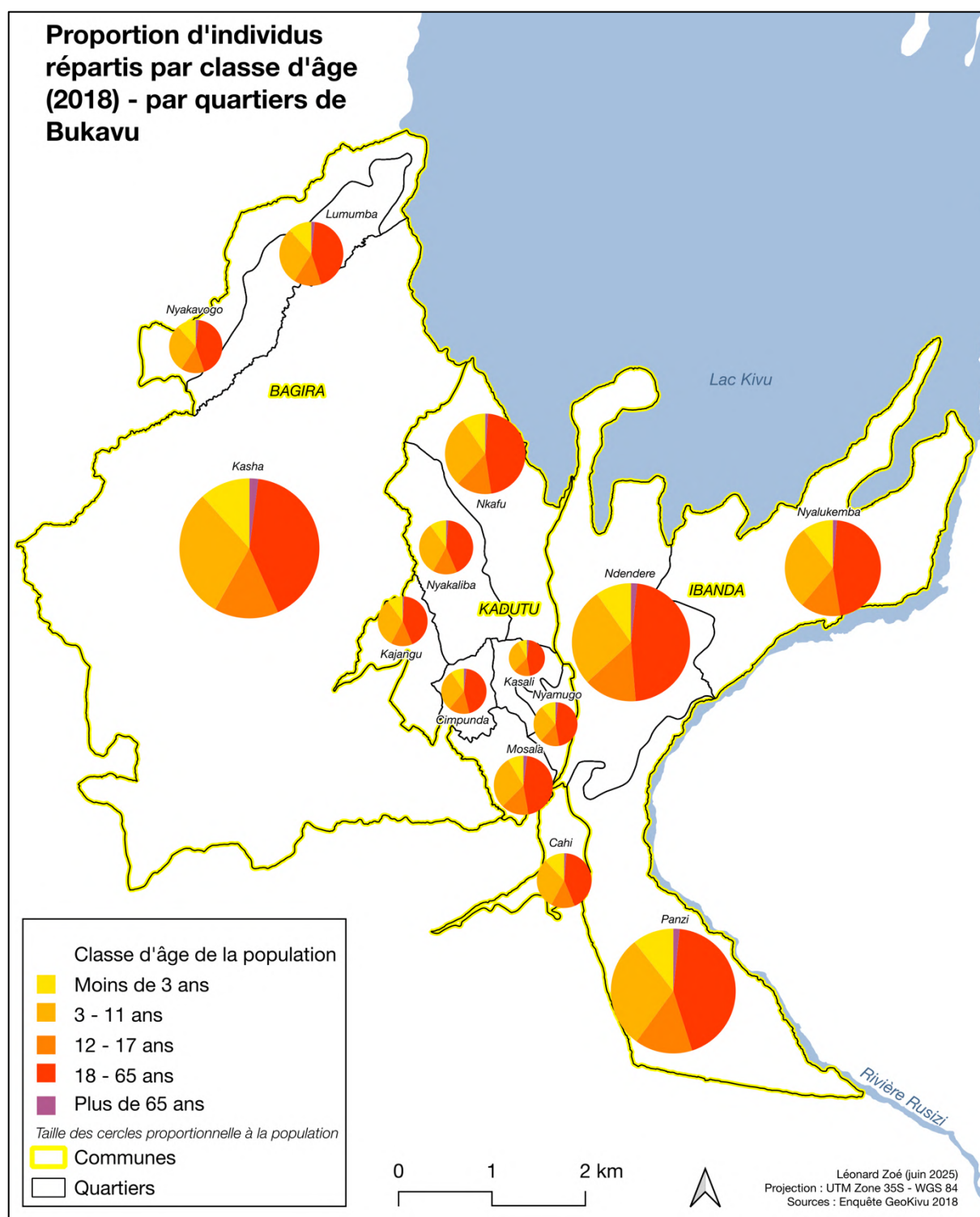


Figure 21 : Répartition des individus par classe d'âge dans les quartiers de Bukavu (2018).

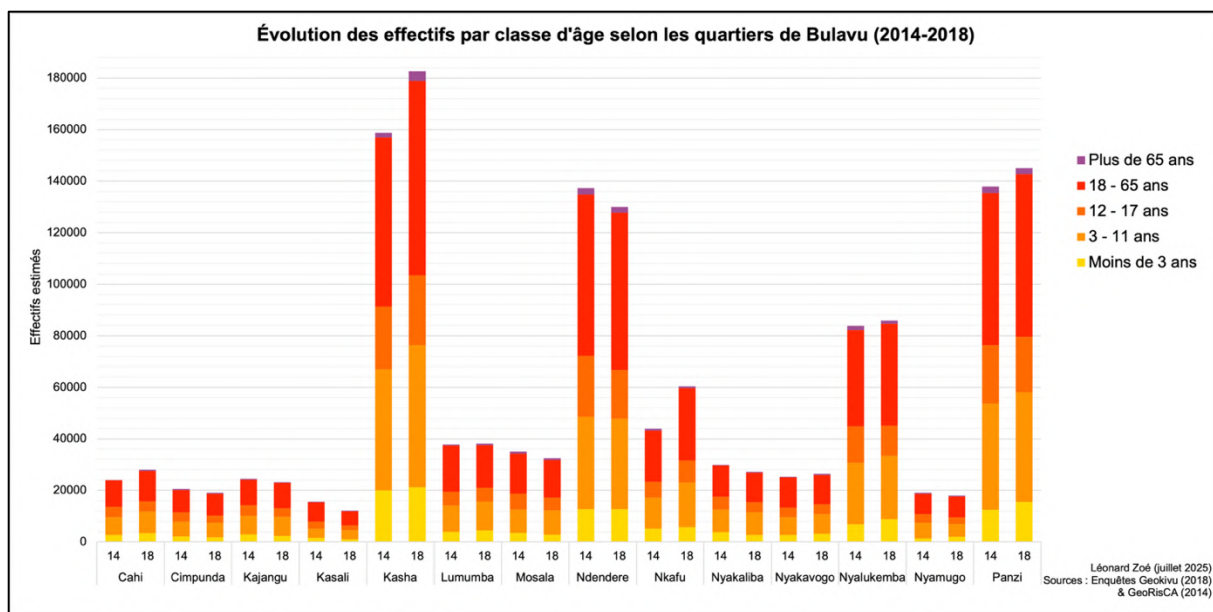


Figure 22 : Évolution du nombre d'individus par classe d'âge selon les quartiers de Bukavu (2014-2018).

La répartition par sexe de la population de Bukavu est relativement équilibrée et stable entre 2014 et 2018. En 2018, 50,12 % de la population est de sexe féminin, une proportion très similaire à celle de 2014 (50,78 %), contre 49,88 % de sexe masculin. Cette tendance se retrouve globalement dans tous les quartiers, bien que certains, comme Nyamugo, Nyalukemba ou Panzi, affichent une légère prédominance masculine (cartographie en Annexe 10). Par ailleurs, les rapports intra-quartiers restent assez constants sur cette période (graphique en Annexe 10).

### 5.1.3 Durée de résidence

La tranche dominante de durée de résidence d'un individu dans son quartier à Bukavu est celle de 2-10 ans (50,02 %), suivie de 11-20 ans (22,33 %), 21-50 ans (15,69 %), moins de 2 ans (9,93 %) et plus de 50 ans (2,03 %). Ainsi, les durées de résidence courtes, moins de 10 ans, dominent les tendances. Cela est également montré sur la Figure 23, traduisant une population plutôt récente ou mobile dans la majorité des quartiers. Cependant, certains quartiers, principalement situés à l'ouest dans la commune de Bagira, comme Kasha ou Nyakavogo, présentent des parts plus notables de résidents de longue durée, notamment dans les catégories 21-50 ans et plus de 50 ans. Cela témoigne d'une stabilité plus importante dans ces quartiers excentrés.

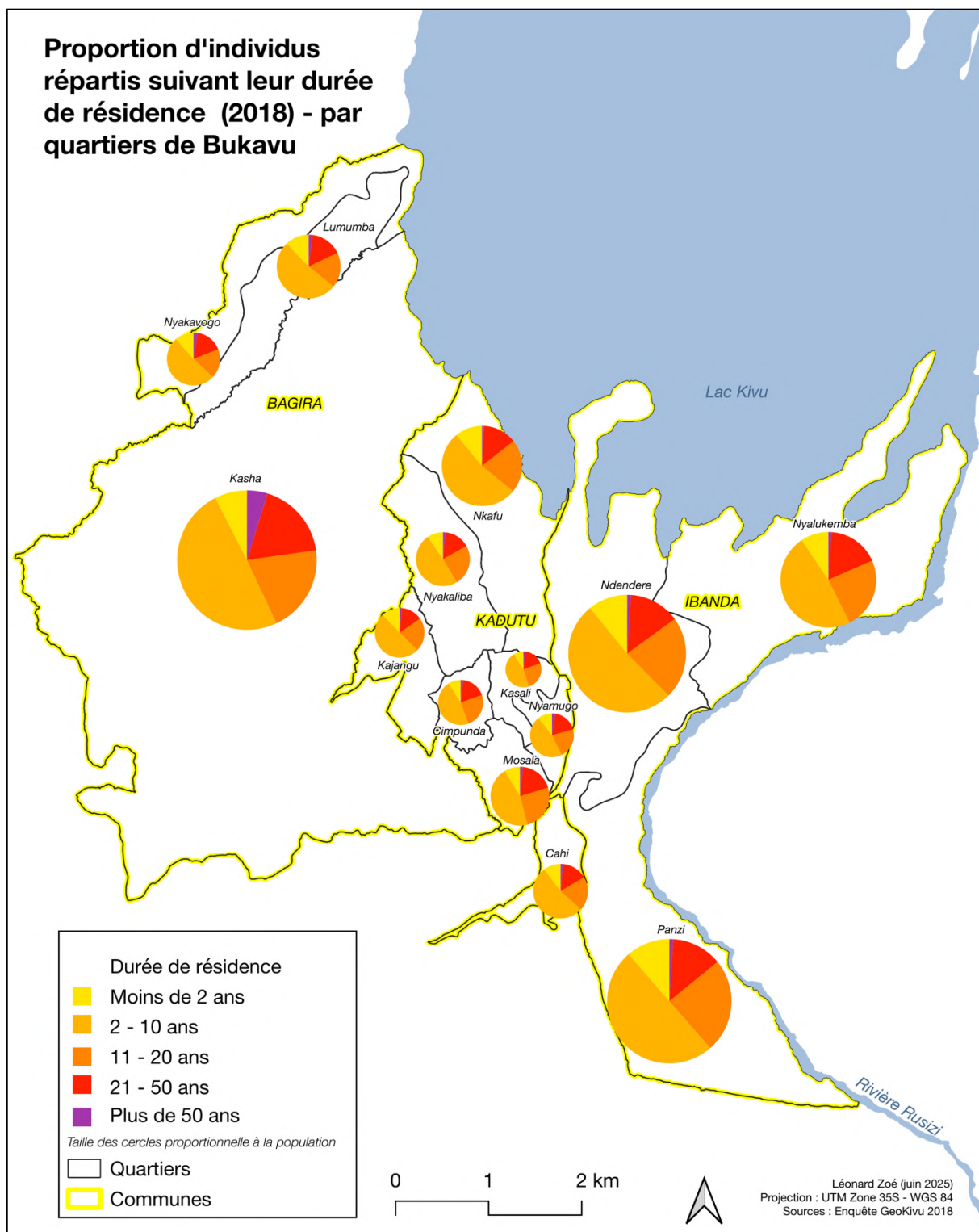


Figure 23 : Répartition des individus selon leur durée de résidence dans les quartiers de Bukavu (2018).

En termes d'évolution, l'analyse du graphique (Annexe 10) révèle que les parts de durée de résidence par classe d'âge sont restées relativement constantes dans le temps au sein des quartiers de Bukavu entre 2014 et 2018. Toutefois, on observe une diminution notable de la part de la population ayant moins de 2 ans de résidence dans la plupart des quartiers. Cela se



confirme, à l'échelle de la ville en 2014, par la part de la population résidant depuis moins de 2 ans, qui représentait 16,05 % et qui a diminué à 9,93 % en 2018, tandis que les autres catégories d'ancienneté ont connu des variations plus modestes (2-10 ans : 46,61 % ; 11-20 ans : 21,20 % ; 21-50 ans : 14,32 % ; plus de 50 ans : 1,81 %).

#### **5.1.4 Scolarisation et niveau de scolarité**

Plus de 85 % des résidents de Bukavu âgés de plus de 3 ans ont été ou sont scolarisés. En effet, la part de personnes scolarisées est de 47,40 %, celle des personnes en cours de scolarisation est de 38,74 % et celle des personnes non scolarisées est de 13,86 % à Bukavu en 2018. Cette répartition est assez similaire à travers tous les quartiers de la ville (Figure 24). Cependant, la part de non scolarisés est notablement plus importante dans le quartier de Kasha (21,29 %), plus rural.

En termes de comparaison avec 2014, les chiffres globaux étaient de 51,37 % pour la part de scolarisés, 35,19 % pour la part de personnes en cours de scolarisation et 13,44 % pour la part de non scolarisés. Le graphique en Annexe 10, permettant de caractériser cette évolution avec 2018 par quartiers, permet de dire que la répartition des parts de scolarisés ou non est restée assez similaire d'une année à l'autre.

En ce qui concerne le niveau de scolarisation, la population de la ville est surtout marquée par des niveaux primaire (41,14 %) ou secondaire (45,01 %) en 2018<sup>3</sup>. Le reste de répartition est comme suit : préscolaire avec 1,63 % ; supérieur avec 7,23 % ; universitaire avec 4,91 % et post-universitaire avec 0,07 %. Au sein des quartiers (Figure 25), cette répartition est assez similaire en dehors de Kasha et Cahiri qui présentent moins de niveaux scolaires élevés. En outre, les niveaux supérieurs et plus sont remarquablement plus présents dans les quartiers du nord-est de la ville, le long du lac et de la rivière.

En 2014, les chiffres globaux étaient relativement similaires, même si ceux-ci étaient très légèrement plus élevés pour les niveaux universitaires et post-universitaires (6,66 % et 0,11 % respectivement) face au niveau supérieur légèrement plus bas (5,24 %). Le niveau préscolaire avait une part de 1,64 %, le primaire de 40,44 % et le secondaire de 45,90 %.

---

<sup>3</sup> Il est toutefois à noter que le nombre d'effectifs ayant répondu à la question sur le niveau de scolarisation est parfois presque identique à celui ayant répondu à la question sur la scolarisation, ce qui peut sembler étonnant dans la mesure où les personnes non scolarisées n'auraient pas dû y répondre. Cette incohérence apparaît notamment en comparant les graphiques de scolarisation avec celui du niveau de scolarisation présentés en Annexe 10.

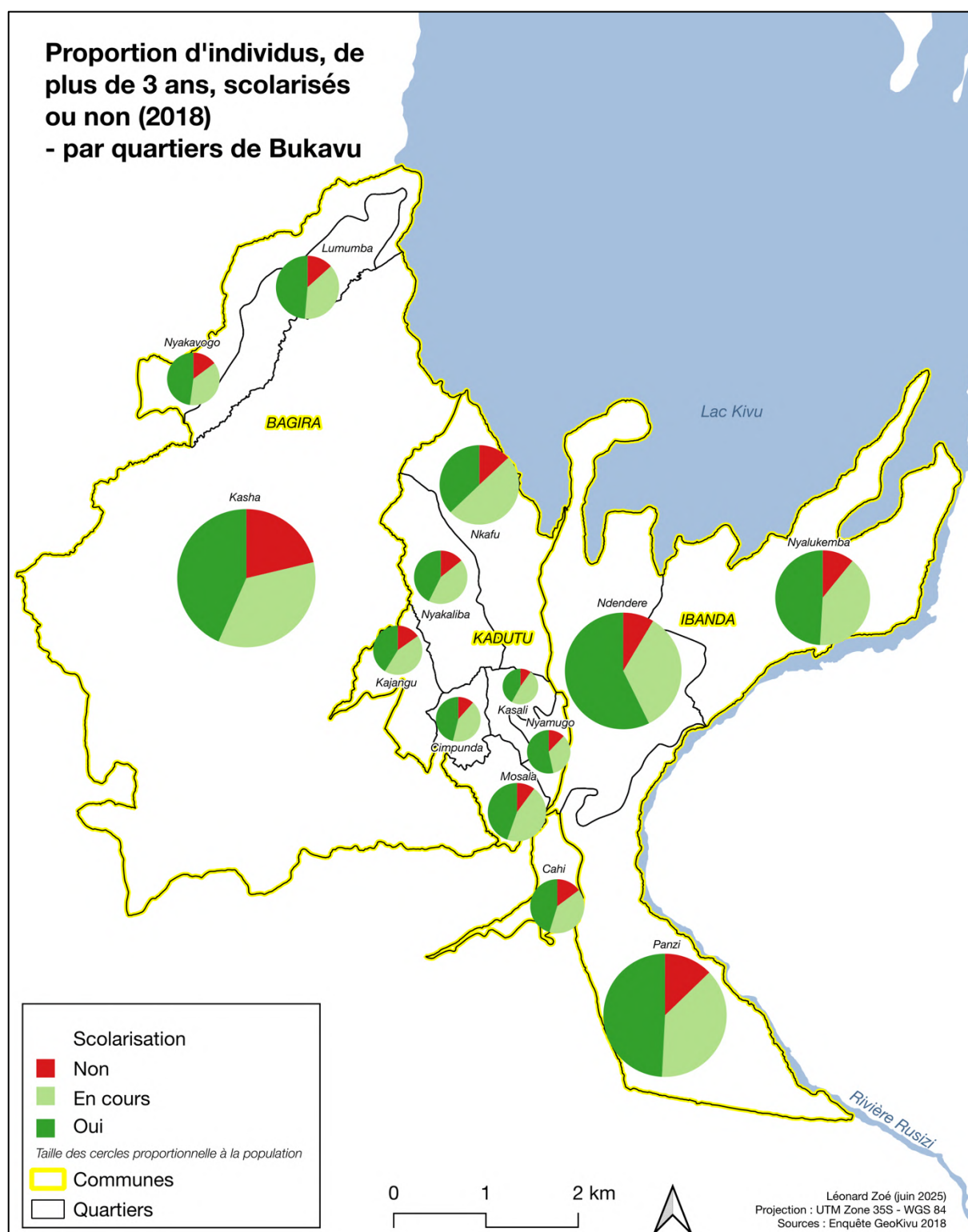


Figure 24 : Répartition des individus selon leur scolarisation ou non dans les quartiers de Bukavu (2018).

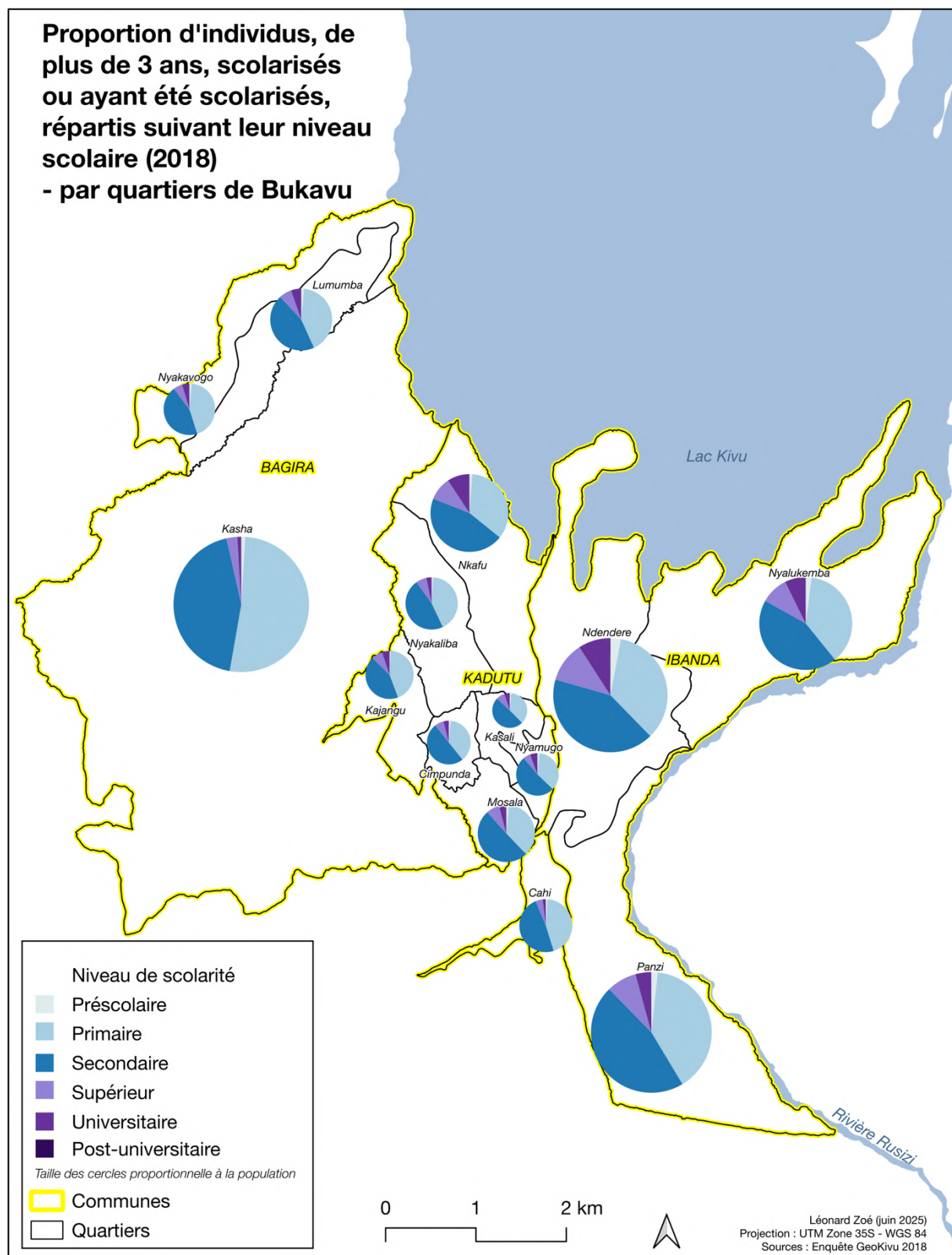


Figure 25 : Répartition des individus selon leur niveau scolaire dans les quartiers de Bukavu (2018).

### 5.1.5 Proportion d'actifs et niveau de revenu

En 2018, la proportion de personnes économiquement actives dans la ville était de 40,16 % contre 59,84 % de personnes inactives. Comme en 2014, les actifs sont définis comme les personnes n'étant ni sans activité, ni élèves et ni pensionnées. À l'échelle des quartiers, cette répartition reste relativement homogène en 2018, aucun quartier ne se distinguant particulièrement (Figure 26 et Annexe 10 pour la cartographie).

Il est à noter que la tendance globale observée en 2018 est inversée par rapport à 2014, où 64,94 % de la population était active contre 35,06 % inactive. Cette inversion est également visible sur le graphique de la Figure 26, où la proportion d'actifs est systématiquement plus faible en 2018, parfois de plus du double comme pour le quartier de Nyamugo. Cette différence interroge et illustre les incertitudes inhérentes liées aux enquêtes de terrain et aux réponses des enquêtés, mais peut aussi refléter, au moins en partie, l'évolution de la conjoncture ou du contexte politique. Faute d'informations complémentaires sur la méthodologie appliquée sur le terrain, il n'est pas possible de vérifier d'éventuelles interprétations erronées.

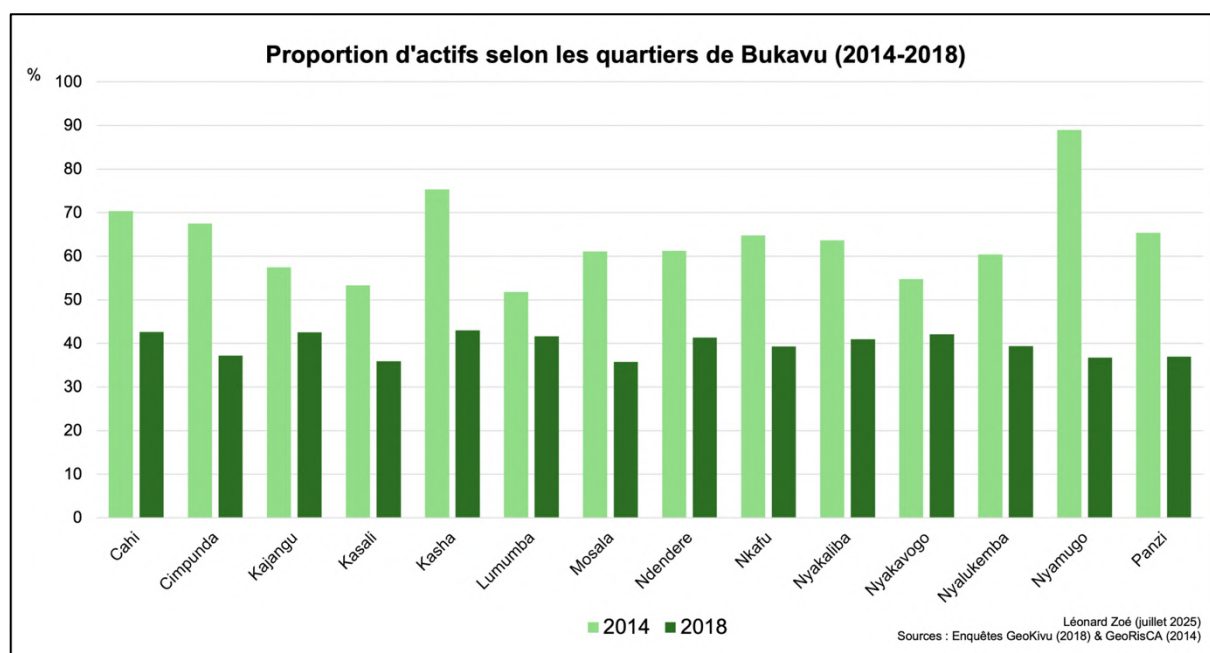


Figure 26 : Évolution de la proportion d'actifs selon les quartiers de Bukavu (2014-2018). Un inactif équivaut à une personne sans activité, un élève ou un pensionné.

Pour les tranches de revenu mensuel, plus de 50 % des individus sont sous la barre de 100 US \$ en 2018. Plus précisément, la répartition est comme suit :

- Moins de 50 US \$ : 25,00 % ;
- 50 – 100 US \$ : 31,31 % ;
- 101 – 200 US \$ : 18,95 % ;
- 201 – 300 US \$ : 10,30 % ;
- 301 – 500 US \$ : 4,59 % ;
- Plus de 500 US \$ : 3,04 % ;
- Ne sait pas : 6,81 %.

Il est à noter que les revenus de moins de 50 US \$ s'inscrivent dans le seuil mondial de pauvreté défini par la Banque mondiale (2,15 \$ PPA par personne et par jour) (Banque mondiale, 2025).

Les habitants possèdent ainsi surtout des revenus mensuels extrêmement faibles. Cependant, cette répartition n'est pas spatialement homogène (Figure 27). En effet, les parts de plus grandes tranches de revenu sont plus importantes dans la partie nord-est de Bukavu tandis que celles de tranches les plus faibles dominent la partie ouest, longeant le lac et la rivière Rusizi, en particulier pour Kasha qui possède une part notable de revenu de moins de 50 US \$.

Par rapport à 2014, les tranches proposées dans les deux questionnaires n'étant pas identiques, une réévaluation des limites de classe a été appliquée, en excluant également la part des « ne sait pas ». Ainsi, les pourcentages globaux sont de 45,79 % pour les moins de 100 US \$, 38,01 % pour 100-200 US \$, 6,69 % pour 200-300 US \$ ainsi que 9,50 % pour plus de 300 US \$, contre 60,42 %, 20,33 %, 11,06 % et 8,19 % respectivement pour 2018. Cela démontre une légère hausse de part de revenus au-dessus de 200 US \$.

Spatialement, l'évolution de cette répartition par quartiers est disponible à la Figure 28. Cette dernière met clairement en évidence la part largement dominante de très faibles revenus mensuels peu importe l'année et le quartier. Cependant, cette part (en dessous de 200 US \$) a diminué pour les quartiers de Nkafu et Cahu en 2018.

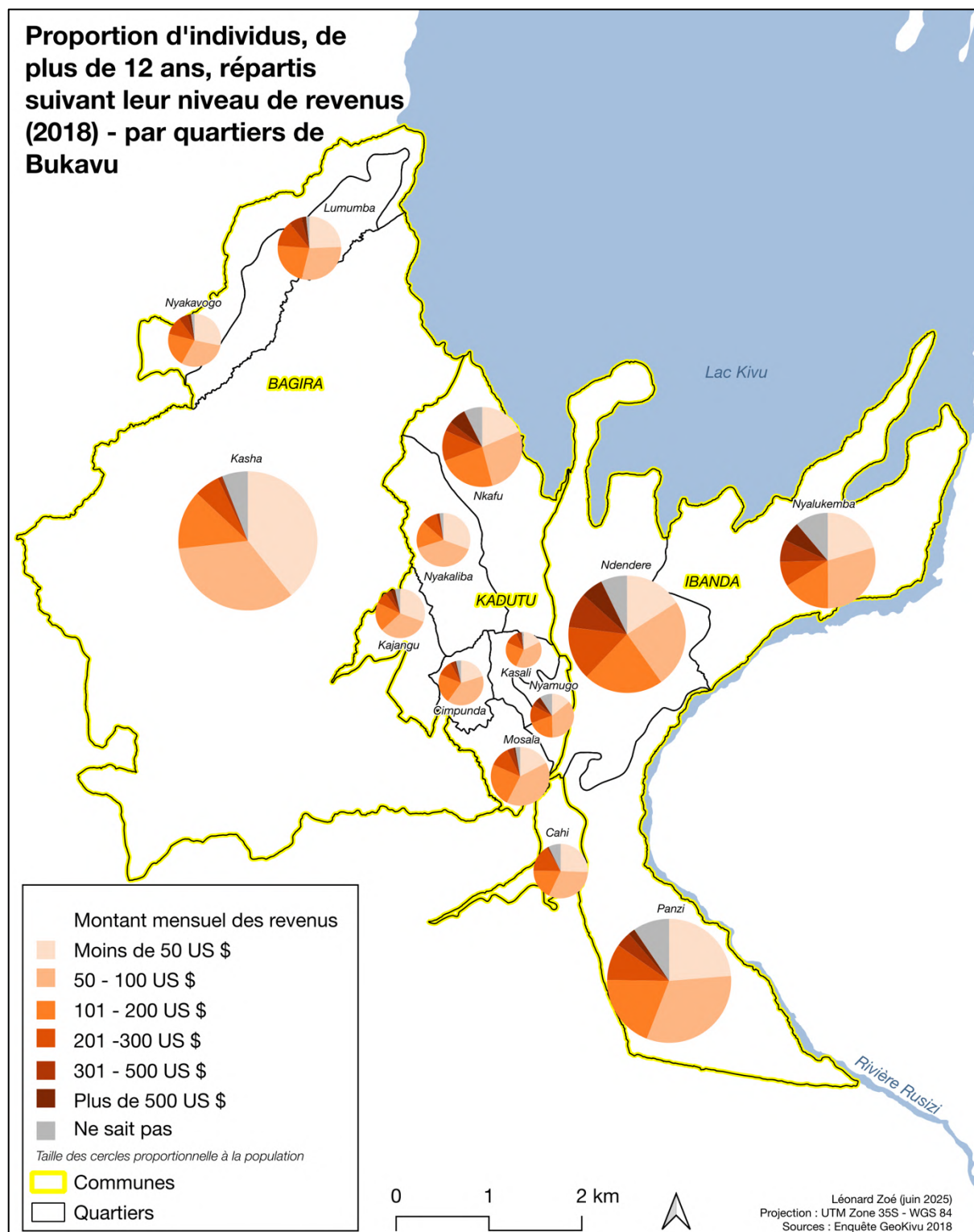
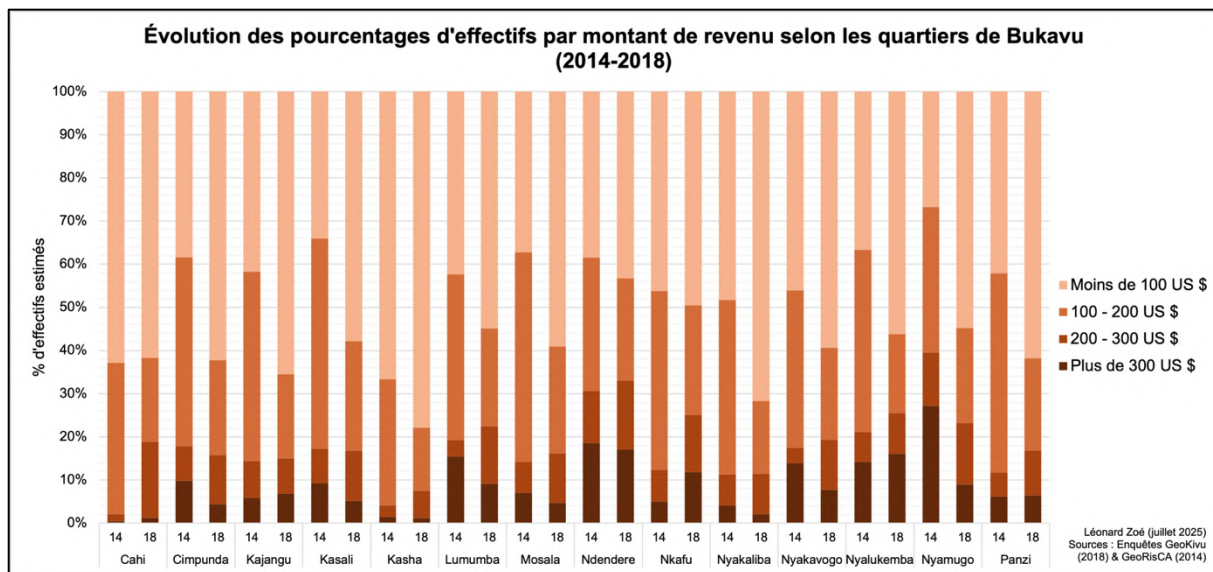


Figure 27 : Répartition des individus selon leur niveau de revenus dans les quartiers de Bukavu (2018).





notamment des parts de carrelage plus présentes dans les quartiers de Nyalukemba et Ndendere. Par contre, à Kasha, les sols sont majoritairement en terre battue, faisant de ce quartier le seul où ce type de sol est aussi largement représenté.

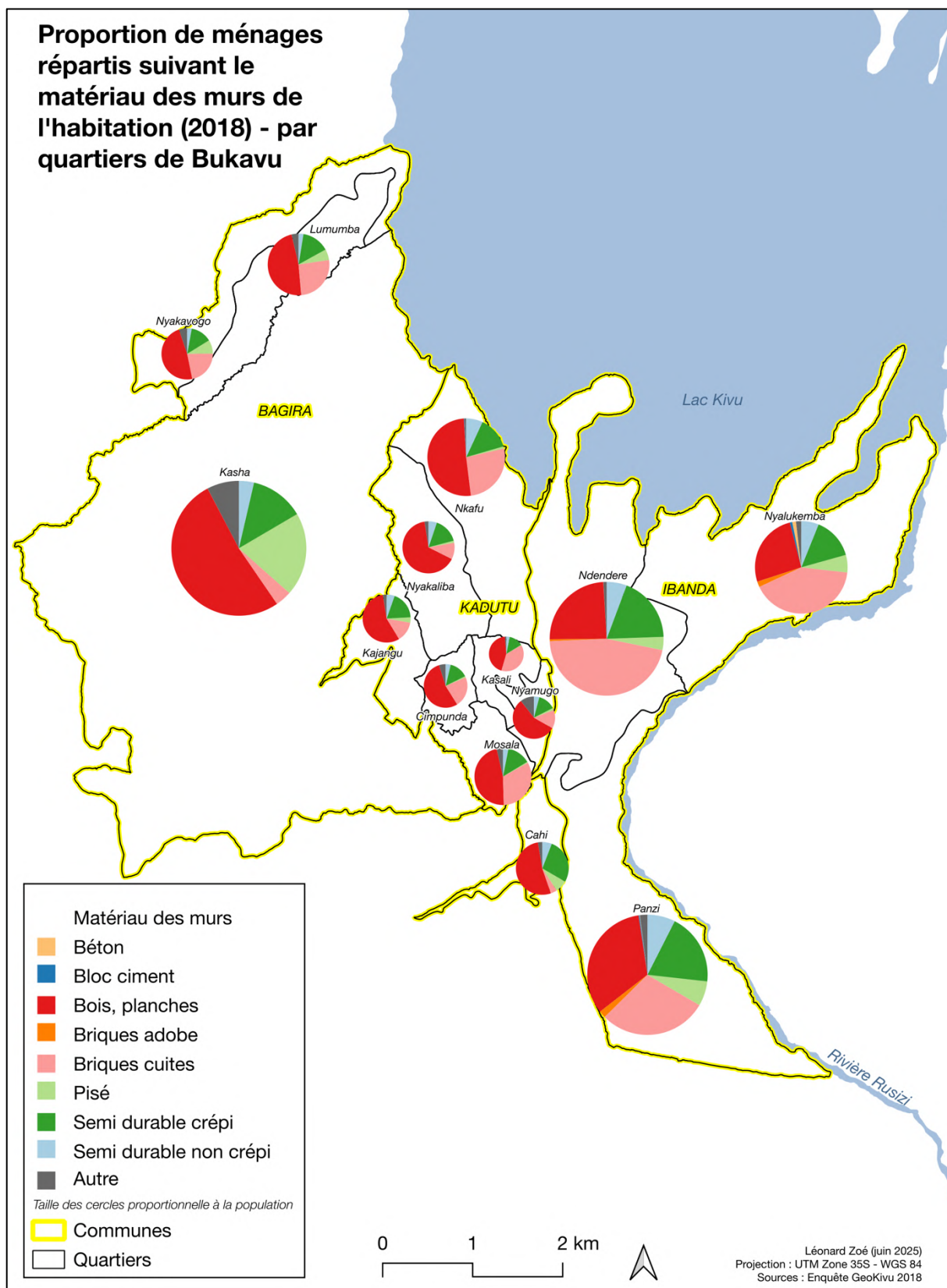


Figure 29 : Répartition des ménages selon le matériau des murs de l'habitation dans les quartiers de Bukavu (2018).



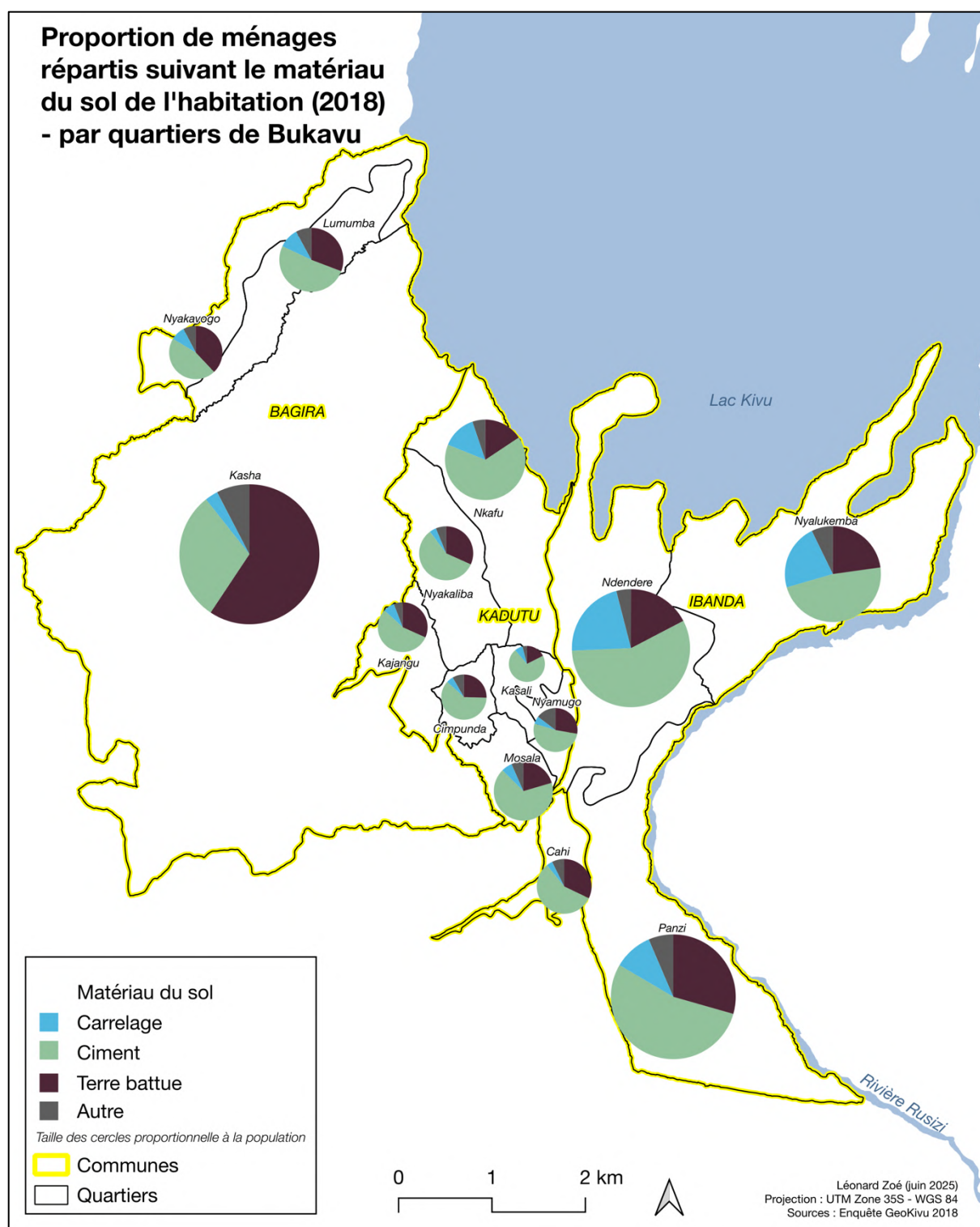


Figure 30 : Répartition des ménages selon le matériau du sol de l'habitation dans les quartiers de Bukavu (2018).

### 5.1.7 Perception des risques de catastrophes liées à des aléas naturels

En 2018, 26,27 % des ménages de Bukavu déclarent avoir déjà été menacés par un aléa naturel et 23,81 % rapportent avoir vécu un aléa de ce type.

Ces proportions varient selon les quartiers (Figure 31). Une part plus importante de ménages ayant vécu un aléa naturel se trouve dans les quartiers d'Ibanda longeant la rivière Rusizi, ainsi que dans les quartiers du sud-ouest de Kadutu, une zone particulièrement sujette aux glissements de terrain, comme celui de Funu. Pour les ménages ayant été menacés (Annexe 10), la répartition spatiale est très similaire.

Concernant le type d'aléas naturels rencontrés globalement pour la ville en 2018, il est majoritairement d'origine sismique (39,19 %), suivi des éboulements/glissements de terrain<sup>4</sup> (34,63 %) et des inondations (26,18 %). Logiquement, les quartiers bordant la rivière Rusizi ont surtout été touchés par les inondations (Figure 32), tandis que la part d'éboulements et de glissements de terrain est plus élevée dans les quartiers du nord-ouest, tels que Lumumba, Nkafu, Nyakavogo et Nyakaliba.

En termes d'évolution par rapport à 2014 (Figure 33), la proportion de ménages ayant déjà vécu une catastrophe liée à un aléa naturel a augmenté dans tous les quartiers, à l'exception des quartiers de Cahu et Nkafu où elle a diminué légèrement. L'augmentation est particulièrement marquée, presque doublée voire plus, dans les quartiers de Cimpunda, Kasali, Mosala, Nyalukemba, Nyamugo et Panzi, situés globalement à l'est d'Ibanda et au sud de Kadutu. Une augmentation notable est également observée à Kasha et Lumumba.

---

<sup>4</sup> Il est toutefois impossible de différencier les éboulements/glissements de terrain dus à un séisme ou une érosion pluviale.

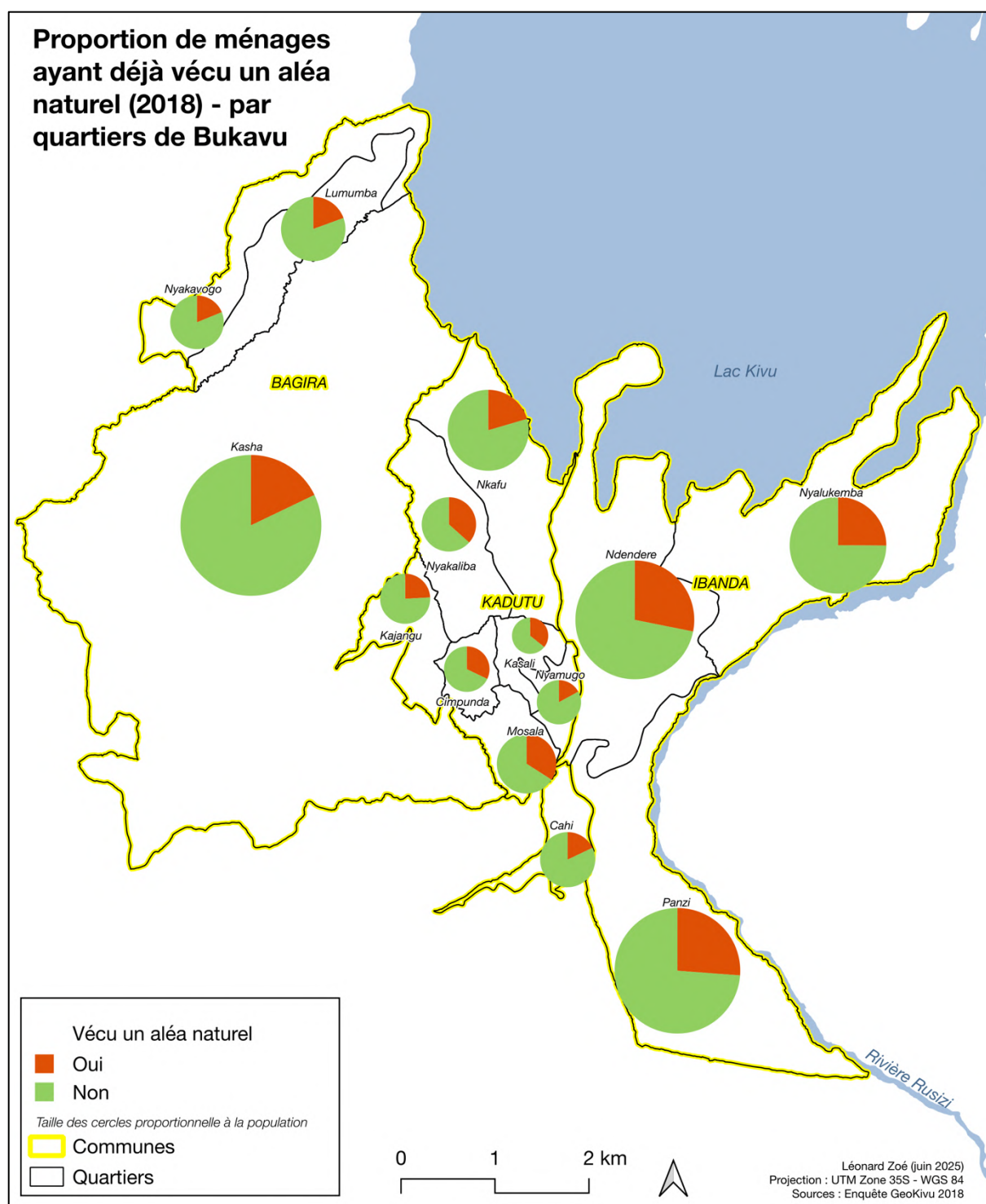


Figure 31 : Répartition des ménages ayant déjà vécu un aléa naturel dans les quartiers de Bukavu (2018).

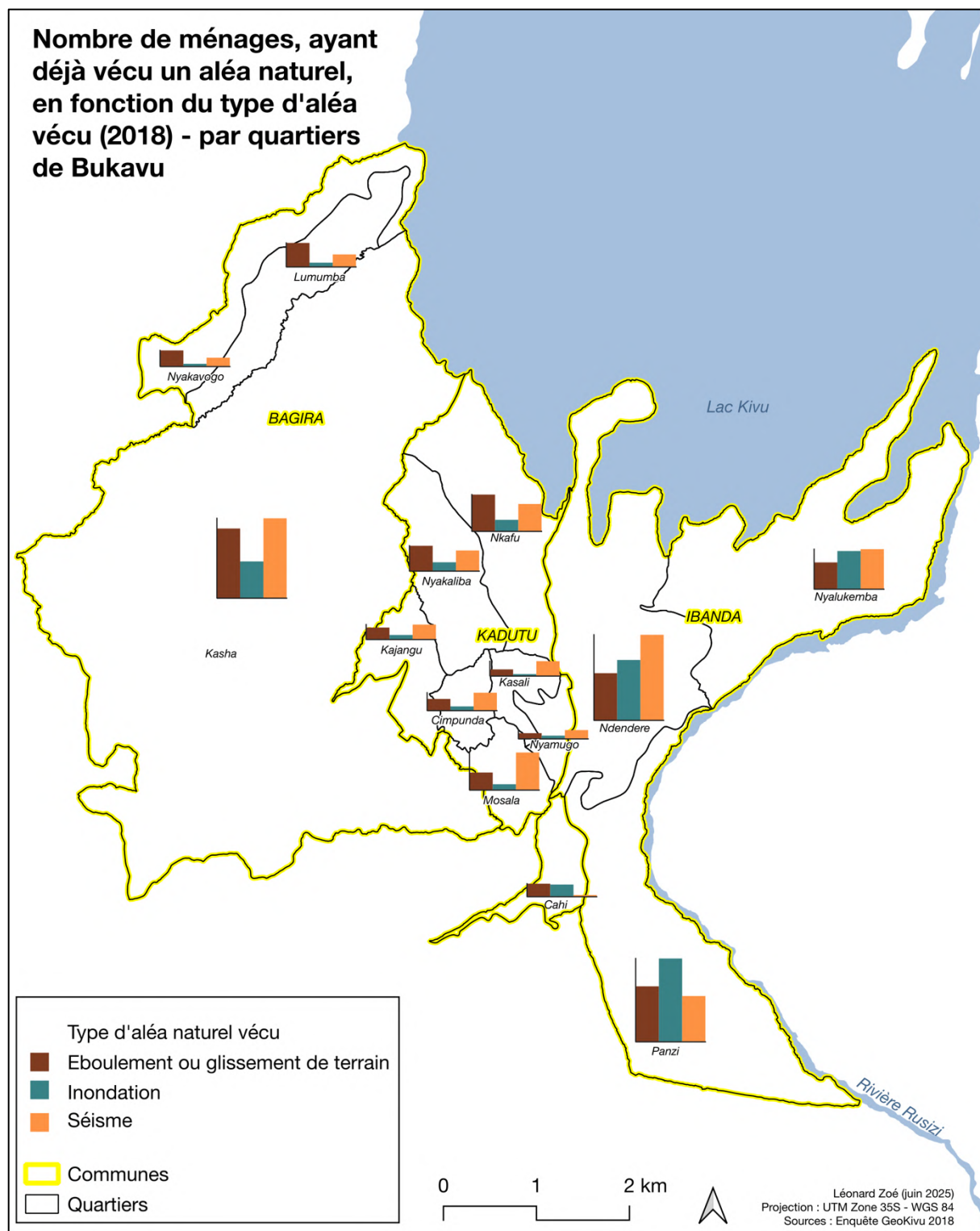


Figure 32 : Répartition des ménages ayant déjà vécu un aléa naturel selon le type d'aléa dans les quartiers de Bukavu (2018).

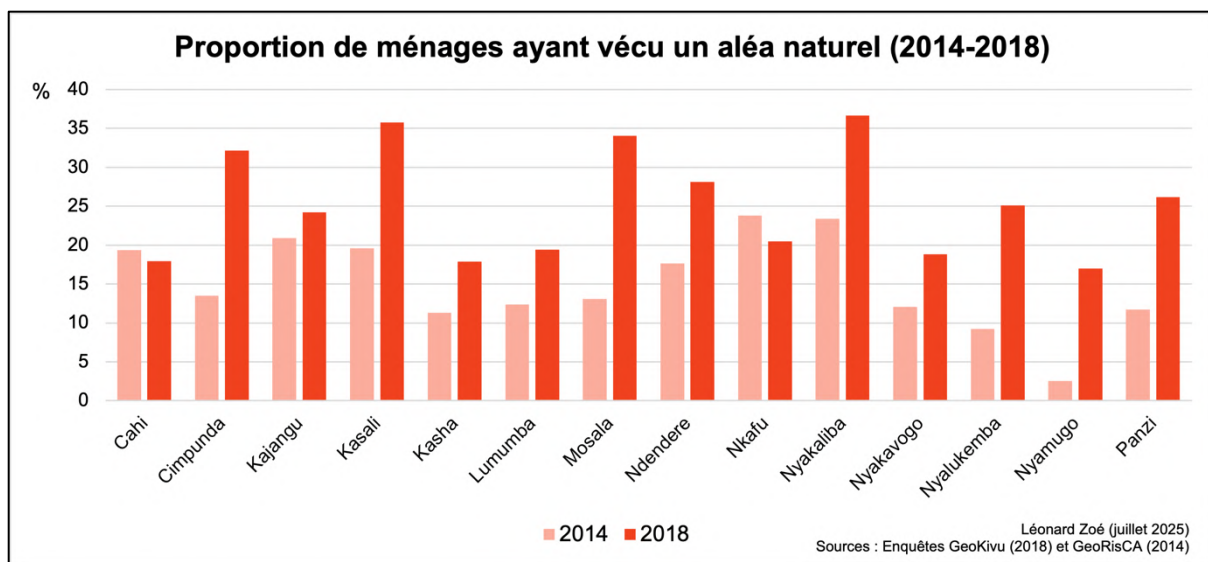


Figure 33 : Évolution de la proportion de ménages ayant vécu un aléa naturel selon les quartiers de Bukavu (2014-2018).

## 5.2 Évaluation de la vulnérabilité sociale en 2018

### 5.2.1 Résultats des prétraitements des données de 2018

Certaines données issues du questionnaire ont été incorrectement encodées ou étaient manquantes. Après un nettoyage des doublons et des données vides, les données effectivement exploitables pour appliquer la suite de la méthodologie résultent de 13 467 individus et 2 100 ménages enquêtés pour 212 îlots (Tableau 5). De plus, le Tableau 6 montre que les ménages enquêtés comptent en moyenne 6,43 individus<sup>5</sup> et que 9,85 ménages en moyenne par îlot d'enquête (variant entre 8,50 et 10,35) ont effectivement été questionnés, ce qui semble confirmer le respect sur le terrain de la méthodologie théorique.

Tableau 5 : Totaux d'individus et de ménages enquêtés ainsi que d'îlots d'enquête, par commune et quartier de Bukavu.

Commune	Quartier	Nombre total d'individus enquêtés	Nombre total de ménages enquêtés	Nombre total d'îlots d'enquête
Bagira	Cahi	383	61	6
	Kasha	3159	518	54
	Lumumba	553	88	9
	Nyakavogo	342	51	6
Ibanda	Ndendere	1 844	291	29
	Nyalukemba	1 139	180	18
	Panzi	1 800	258	26
Kadutu	Cimpunda	239	40	4
	Kajangu	758	107	11
	Kasali	246	39	4
	Mosala	893	130	13
	Nkafu	1292	207	20
	Nyakaliba	445	69	7
	Nyamugo	374	61	6
<b>Bukavu (total)</b>		<b>13 467</b>	<b>2 100</b>	<b>212</b>

<sup>5</sup> Cette valeur moyenne diffère de celle précédemment annoncée, car celle-ci dépendait de l'approche utilisée pour le dénombrement de la population.

Tableau 6 : Taille moyenne des ménages enquêtés et nombre moyen de ménages enquêtés par îlot d'enquête.

Commune	Quartier	Taille moyenne des ménages enquêtés (nombre d'individus par ménage)  <i>Nombre total d'individus dans le quartier ÷ nombre total de ménages dans le quartier.</i>  <i>Valeurs décimales gardées afin de s'assurer de la cohérence effective de la méthodologie de l'enquête.</i>	Nombre moyen de ménages enquêtés par îlot d'enquête  <i>Nombre total de ménages dans le quartier ÷ nombre total d'îlots dans le quartier.</i>  <i>Valeurs décimales gardées afin de s'assurer de la cohérence effective de la méthodologie de l'enquête.</i>
Bagira	Cahi	6,28	10,17
	Kasha	6,10	9,59
	Lumumba	6,28	9,78
	Nyakavogo	6,71	8,50
Ibanda	Ndendere	6,34	10,03
	Nyalukemba	6,33	10,00
	Panzi	6,98	9,92
Kadutu	Cimpunda	5,98	10,00
	Kajangu	7,08	9,73
	Kasali	6,31	9,75
	Mosala	6,87	10,00
	Nkafu	6,24	10,35
	Nyakaliba	6,45	9,86
	Nyamugo	6,13	10,17
<b>Bukavu (moyenne globale)</b>		6,43	9,85

Les statistiques des dix variables définies à l'échelle individuelle agrégées à l'échelle des ménages se trouvent dans le Tableau 7. L'analyse de ces variables montre que la taille moyenne des ménages est de 6,43 personnes (NUMIND) et que la proportion moyenne de dépendants, personnes de moins de 16 ans et de plus de 65 ans, est de 48,03 % (PROPDEP). La durée maximale moyenne de résidence dans Bukavu est d'environ 27 ans (MAXRESTIME), tandis que la proportion moyenne d'individus scolarisés ou ayant été scolarisés est de 73,34 % (PROPSCH). La majorité des ménages (89,33 %) comptent au moins une personne ayant une éducation de niveau secondaire (BASEEDUC). Le nombre moyen de langues parlées dans les ménages (MAXLAN) est d'environ 2 (MAXLAN). Par ailleurs, la proportion moyenne d'actifs est de 26,75 % (PROPACT) et le revenu mensuel moyen par personne dans le ménage de 30,15 US \$ (INCOME). Ce revenu moyen cache cependant de grandes différences entre les ménages, ce que montre un écart-type élevé de 50,82, beaucoup plus grand que la moyenne. Cela s'explique par la présence de quelques revenus très élevés (jusqu'à 750 US \$) qui augmentent la moyenne. La proportion de ménages avec moins de deux personnes indépendantes est de 7,67 % (MOINS2INDEP). Enfin, la proportion moyenne de femmes dans



les ménages est de 49,58 % (PROPWOMAN), légèrement inférieure à l'estimation démographique globale pour la ville (50,12 %, section 5.1.2).

*Tableau 7 : Statistiques des variables à l'échelle individuelle agrégée à l'échelle des ménages, définies dans cette étude de 2018.*

Variable	Description de la variable	Moyenne	Écart-type	Min	Médiane (50%)	Max
<b>NUMIND</b>	Nombre d'individus vivant dans le ménage	6,43	2,88	1	6,00	21
<b>PROPDEP</b>	Proportion d'individus dépendants dans le ménage (< 16 ans et > 65 ans)	0,48	0,24	0	0,50	1
<b>MAXRESTIME</b>	Durée maximale de résidence en années dans Bukavu	27,28	19,40	0	28,00	100
<b>PROPSCH</b>	Proportion d'individus de plus de 3 ans scolarisés	0,73	0,23	0	0,75	1
<b>BASEEDUC</b>	Éducation secondaire acquise dans le ménage	0,89	0,31	0	1,00	1
<b>MAXLAN</b>	Nombre maximal de langues parlées par un individu >12 ans	2,16	0,90	1	2,00	8
<b>PROPACT</b>	Proportion d'individus actifs économiquement	0,27	0,21	0	0,23	1
<b>INCOMEPM</b>	Revenu moyen mensuel par personne dans le ménage	30,15	50,82	0	16,67	750
<b>MOINS2INDEP</b>	Ménage avec moins de deux personnes indépendantes (16-65 ans)	0,08	0,27	0	0,00	1
<b>PROPWOMAN</b>	Proportion de femmes dans le ménage	0,50 (0,4958)	0,20	0	0,50	1

En ce qui concerne les statistiques des douze autres variables, définies à l'échelle des ménages, elles sont présentées dans le Tableau 8. En moyenne, 26,47 % des ménages déclarent avoir déjà été menacés par un aléa naturel (THRHAZARD) et 24,05 % avoir effectivement vécu un tel événement (EXPHAZARD)<sup>6</sup>. La proportion de ménages disposant de murs fabriqués avec des matériaux considérés comme coûteux est de 45,45 % (WALL), celle ayant un toit en matériau coûteux s'élève à 94,17 % (ROOF), et 60,58 % disposent d'un sol en matériau coûteux (FLOOR). La superficie moyenne des habitations est de 61,60 m<sup>2</sup> (HOUSEAREA), mais cette moyenne masque une grande disparité. En effet, un écart-type élevé de 52,37 et un maximum de 600 m<sup>2</sup>, ce qui semble peu courant voire inhabituel dans le

<sup>6</sup> Ces chiffres diffèrent des moyennes précédemment discutées précédemment, car ils n'ont pas encore été agrégés à l'échelle d'analyse.



contexte local, suggérant la présence de logements exceptionnels ou, éventuellement, une donnée aberrante. Par ailleurs, 75,38 % des ménages possèdent au moins une radio (RADIO), 84,87 % un téléphone mobile (MOBPHONE), et 51,71 % un équipement multimédia (télévision, ordinateur ou lecteur DVD) (MULTIMEDIA). Les parts de ménages possédant un vélo, une moto ou une voiture sont respectivement faibles : 0,85 % (BICYCLE), 1,99 % (MOTO) et 6,26 % (CAR). Pour la part très faible en vélo, cela est logique compte tenu du relief de la ville (Sylvain Kulimushi Matabaro de l'ISP de Bukavu, comm. pers., 2025)

*Tableau 8 : Statistiques des variables à l'échelle des ménages, définies dans cette étude de 2018.*

Variable	Description de la variable	Moyenne	Écart-type	Min	Médiane (50%)	Max
<b>THRHAZARD</b>	Ménage se sentant menacé par un aléa naturel	0,26	0,44	0	0	1
<b>EXPHAZARD</b>	Ménage ayant vécu une catastrophe liée à un aléa naturel	0,24	0,42	0	0	1
<b>WALL</b>	Habitation avec murs en matériaux coûteux	0,45	0,49	0	0	1
<b>ROOF</b>	Habitation avec toit en matériaux coûteux	0,94	0,23	0	1	1
<b>FLOOR</b>	Habitation avec sol en matériaux coûteux	0,61	0,49	0	1	1
<b>RADIO</b>	Ménage possédant une radio	0,75	0,43	0	1	1
<b>MOBPHONE</b>	Ménage possédant un téléphone portable	0,85	0,36	0	1	1
<b>MULTIMEDIA</b>	Ménage possédant un appareil multimédia	0,52	0,50	0	1	1
<b>BICYCLE</b>	Ménage possédant un vélo	0,01	0,09	0	0	1
<b>MOTO</b>	Ménage possédant une moto	0,02	0,14	0	0	1
<b>CAR</b>	Ménage possédant une voiture	0,06	0,24	0	0	1
<b>HOUSEAREA</b>	Superficie de l'habitation	61,58	52,37	6	48	600

La matrice de corrélation entre les 22 variables définies se trouve dans la Figure 34 et permet de comprendre la structure sous-jacente des données. Les couleurs les plus chaudes indiquent une corrélation positive forte entre variables, tandis que les couleurs les plus froides indiquent une corrélation négative forte.

De manière logique, la corrélation positive la plus notable et la plus élevée est observée entre les ménages se sentant menacés par un aléa naturel et ceux ayant vécu un aléa naturel (0,93). De même, la corrélation est très forte entre les ménages ayant des murs construits avec un matériau coûteux et ceux ayant un sol en matériau coûteux (0,77). La corrélation est également forte entre la proportion de scolarisés dans les ménages et la présence d'un individu ayant suivi une éducation de base dans le ménage (0,75). Elle est suivie de près par la corrélation entre les ménages possédant au moins un équipement multimédia et ceux ayant un sol en matériau coûteux (0,74). La proportion de scolarisés dans le ménage est également fortement corrélée avec la présence de murs coûteux ainsi qu'avec la possession d'au moins un équipement multimédia (0,65).

Pour les corrélations négatives, les valeurs absolues sont moins extrêmes que pour les corrélations positives (maximum : - 0,55). La corrélation négative la plus forte est observée entre la proportion de personnes scolarisées et la proportion de dépendants (- 0,55). Cette proportion de dépendants est aussi corrélée négativement avec la superficie des habitations (- 0,45).

Le revenu, variable clé, est fortement corrélé positivement à la possession de voiture et de multimédia ainsi qu'à la superficie des habitations, et présente une corrélation négative notable avec la proportion de personnes dépendantes (- 0,40).

Parmi les corrélations remarquables, on note celle entre les ménages comptant au moins un individu ayant suivi une éducation de base et la durée maximale de résidence d'un individu (- 0,27), indiquant que ces ménages tendent à avoir une durée de résidence maximale plus courte. Une corrélation inattendue est observée entre le nombre de personnes par ménage et les ménages comptant moins de deux personnes indépendantes (- 0,26), suggérant que plus un ménage est grand, plus il est susceptible de compter moins de deux personnes indépendantes.

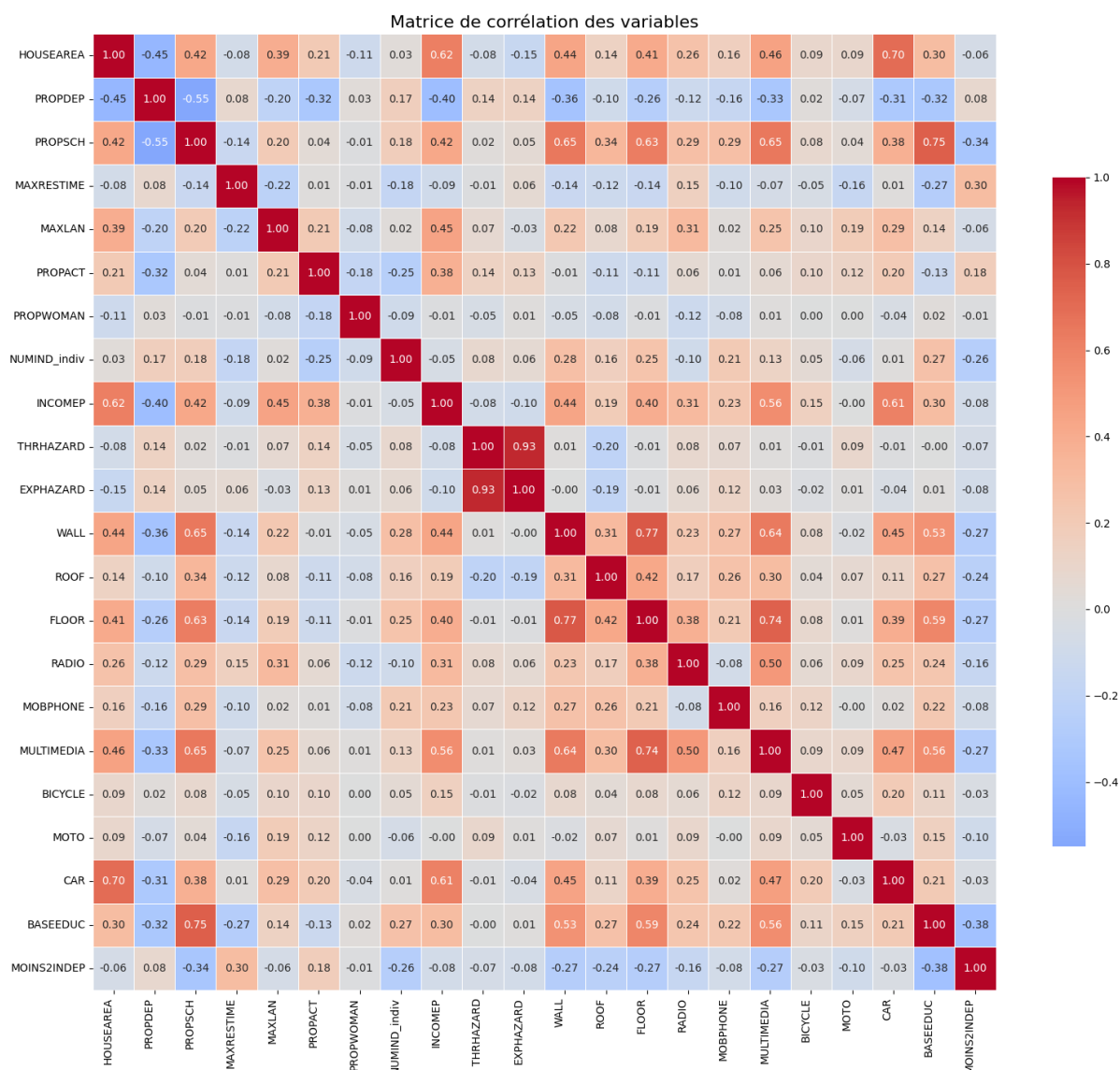


Figure 34 : Matrice de corrélation des 22 variables retenues pour l'étude de 2018. Pour la signification des abréviations des variables cf. Tableaux 7 et 8.

## 5.2.2 Résultats de l'ACP réalisée sur les données de 2018

Les résultats de l'indice de KMO et du test de Bartlett indiquent que les données sont adéquates pour réaliser une ACP. En effet, l'indice de KMO est de 0,76, soit une valeur supérieure au seuil minimal acceptable de 0,5, ce qui est considéré comme un bon résultat. Quant au test de Bartlett, la p-value est largement inférieure à 0,001 ( $1,482 \times 10^{-323}$ ) ce qui conduit à rejeter l'hypothèse nulle d'absence de corrélation entre les variables.

L'ACP retient sept composantes principales (CP) regroupant 18 variables, présentées dans le Tableau 9. La variance totale expliquée par ces CP est de 68,60 %.

La CP 1, qui explique la plus grande part de variance (25,67 %), combine cinq variables : la proportion de scolarisés, la présence de matériaux coûteux pour le sol et les murs des habitations, les ménages comptant au moins un individu ayant suivi une éducation de base, ainsi que ceux possédant au moins un équipement multimédia. Les charges des variables sont toutes positives, ce qui permet d'interpréter cette CP comme ayant une influence négative sur la vulnérabilité : plus ces facteurs économiques et ressources du ménage augmentent, plus la vulnérabilité diminue.

La CP 2 regroupe trois variables : la possession d'une voiture au sein du ménage, le revenu moyen mensuel et la superficie des habitations. Elle explique 10,55 % de la variance totale et, de manière similaire à la CP 1, elle est interprétée comme ayant une influence négative sur la vulnérabilité.

La CP 3, qui explique 9,50 % de la variance, regroupe deux variables liées à la perception d'une menace par un aléa naturel et au vécu d'une catastrophe liée à ce type d'aléa. Plus les ménages se sentent menacés ou ont vécu une catastrophe liée, plus la vulnérabilité diminue car ils seraient a priori mieux préparés (Van Manen, 2014). Cette CP exerce donc une influence négative sur la vulnérabilité.

La CP 4 combine trois variables liées à la structure du ménage : la proportion d'actifs, la proportion de dépendants et le nombre d'individus par ménage (variance expliquée : 6,41 %). La charge de la première variable est positive, contrairement aux deux autres. Avec une influence globale négative sur la vulnérabilité, cela suggère que plus un ménage compte d'actifs et moins de dépendants ou d'individus, moins il est vulnérable.

La CP 5 explique 5,86 % de la variance en combinant la possession de moto et la durée maximale de résidence d'un individu du ménage dans la ville. Ces variables ont des sens contradictoires vis-à-vis de la vulnérabilité au vu de leur charge égale au signe opposé. Il a donc été décidé de considérer la valeur absolue de l'influence de la CP sur la vulnérabilité (ex. : Bronfman *et al.*, 2021, comme discuté dans la Section 4.4.2.4.a).

La CP 6, qui explique 5,33 % de la variance, regroupe la possession de radio et de téléphone mobile. La possession d'un téléphone portable est négativement corrélée dans la CP, tandis que celle d'une radio l'est positivement. Il a donc été choisi d'interpréter cette CP comme ayant une influence positive sur la vulnérabilité. En effet, posséder un téléphone portable peut indiquer un niveau socio-économique et un degré d'intégration plus élevés, donc une vulnérabilité moindre, tandis que les ménages possédant seulement une radio seraient plus

vulnérables, ce qui pourrait refléter des moyens plus limités et une population plus âgée, moins connectée aux technologies récentes. Cette interprétation est cohérente avec les différences de prix entre ces équipements : environ 1,5 euro pour une radio, contre environ 8 euros pour le téléphone mobile le moins cher (Sylvain Kulimushi Matabaro de l'ISP de Bukavu, comm. pers., 2025). Cependant, même si la part de variance expliquée par la CP reste faible, son interprétation, bien que logique, reste un choix et ne permet pas de distinguer les ménages qui possèdent uniquement une radio de ceux qui possèdent à la fois une radio et un téléphone mobile.

Enfin, la CP 7, qui explique 4,99 % de la variance, comprend une seule variable : la proportion de femmes dans le ménage. Dans cette étude, il a été hypothétiquement décidé que plus cette proportion est élevée, plus le ménage serait vulnérable, en raison, par exemple, du rôle traditionnellement attribué aux femmes au foyer, souvent non actives économiquement.

Les cartographies de chacune des CP à l'échelle des ZM, réalisées selon la même logique que pour l'indice SoVI, sont présentées en Annexe 11. La CP 1 est plus marquée dans les communes de Kadutu et Ibanda. La CP 2 se concentre au nord d'Ibanda, dans les ZM bordant le lac Kivu. La CP 3 présente des valeurs élevées surtout au sud de Kadutu et le long de la rivière Rusizi dans la commune d'Ibanda, ce qui concorde avec les aléas naturels évoqués au chapitre 3. La CP 4 montre des valeurs globalement élevées, mais plus homogènes, sur l'ensemble du territoire. La CP 5 est localisée principalement dans les ZM bordant la rivière Rusizi. Le constat apporté pour la CP 4 est semblable à celui de la CP 6. Enfin, la CP 7 regroupe ses valeurs les plus importantes le long de la rivière, près du lac Kivu, ainsi que dans les ZM les plus élevées en altitude au sud-ouest de la ville.

Tableau 9 : Composantes principales issues de l'ACP 2018 et leur contribution à la vulnérabilité (évaluée par interprétation).

Composante principale (CP)	Variance (%)	Variance cumulée (%)	Valeur propre	Interprétation principale	Variables représentatives et charges	Influence sur la vulnérabilité
CP 1	25,97	25,97	5,71	Facteurs économiques et ressources du ménage	PROPSCH (+0,86), FLOOR (+0,83), BASEEDUC (+0,78), WALL (+0,78), MULTIMEDIA (+0,78)	-
CP 2	10,55	36,51	2,32	Facteurs économiques et ressources du ménage	CAR (+0,74), INCOME (+0,69), HOUSEAREA (+0,66)	-
CP 3	9,50	46,01	2,09	Perception de risque et expérience de catastrophe passée	EXPHAZARD (+0,97), THRHAZARD (+0,96)	-
CP 4	6,41	52,42	1,41	Structure du ménage	PROPACT (0,62), PROPDEP (-0,70), NUMIND (-0,63)	-
CP 5	5,86	58,28	1,29	Ressource du ménage et connaissance de Bukavu	MOTO (+0,69), MAXRESTIME (-0,69)	absolue
CP 6	5,33	63,61	1,17	Accès à la communication	RADIO (0,72), MOBPHONE (-0,62)	+
CP 7	4,99	68,60	1,10	Structure du ménage	PROPWOMAN (-0,87)	-

## 5.2.3 Indice SoVI

### 5.2.3.1 Cartographies thématiques de 2018

La carte de la Figure 35 présente les résultats de l'indice SoVI pour 2018, à l'échelle des ZM de la ville de Bukavu, selon la normalisation min-max. Les zones de forte vulnérabilité (tons orangés foncés) peuvent refléter les zones où les populations disposent de moyens socio-économiques plus limités et d'une perception réduite des risques de catastrophes liées à des aléas naturels, ce qui entrave leur capacité à y faire face et à s'en remettre.

De manière globale, la vulnérabilité sociale tend à augmenter à mesure que l'on s'éloigne des centres urbanisés du nord-est de la ville. Les zones de faible vulnérabilité sociale se concentrent dans la commune d'Ibanda, cœur urbain de Bukavu. Plus précisément, les quartiers de Nyalukemba, Ndendere et Nkafu présentent les scores les plus faibles. Bordant

le lac Kivu, ces quartiers se distinguent par une proportion plus élevée de ménages à revenus élevés et de matériaux de construction considérés comme plus coûteux (cf. section 5.1). Cela s'explique aussi par certains facteurs économiques et ressources plus importants par ménage, tels qu'en témoignent les CP 1 et CP 2 (Annexe 11).

À l'inverse, les zones les plus vulnérables se trouvent dans la commune de Bagira, plus excentrée et aux caractéristiques plus rurales, notamment le quartier de Kasha, où prédominent des habitations construites avec des matériaux moins coûteux et moins d'individus scolarisés, avec des niveaux de scolarisation plus bas et des revenus plus faibles (cf. section 5.1), ainsi que dans les zones longeant la rivière Rusizi au sein d'Ibanda.

La commune de Kadutu présente des valeurs plutôt intermédiaires de vulnérabilité, malgré des densités de population parmi les plus fortes de la ville et une exposition marquée aux aléas, notamment aux activités néotectoniques et aux glissements de terrain, tel celui de Funu situé au sud de la commune.

Pour les résultats selon une standardisation des scores de SoVI (Figure 36), la carte présente moins de nuances que la précédente. Toutefois, cette représentation peut faciliter l'identification directe des grandes zones présentant les niveaux de vulnérabilité sociale les plus élevés ou plus faibles, sans être brouillée par de faibles hétérogénéités locales, comme discuté précédemment.



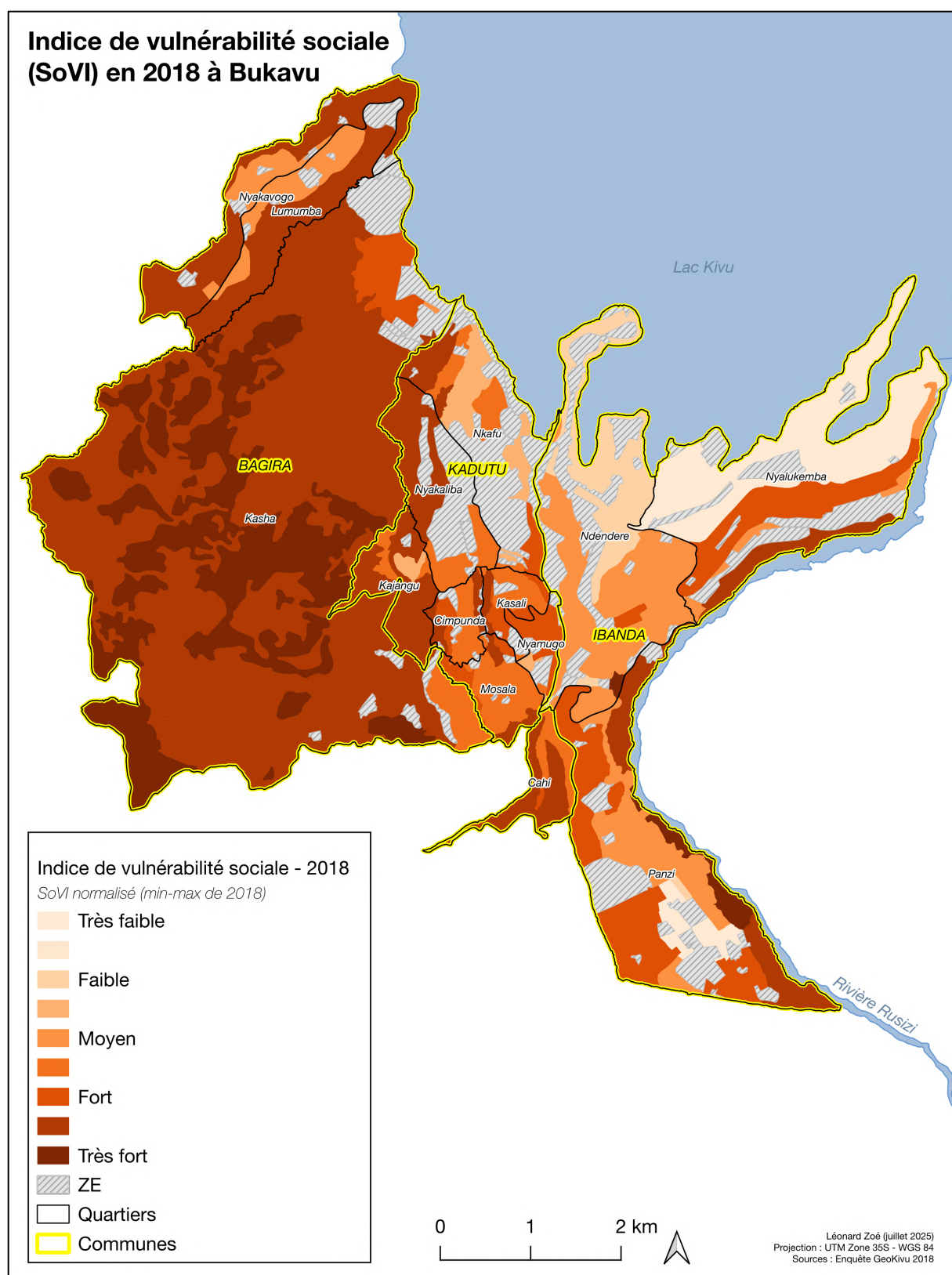


Figure 35 : Carte de l'indice SoVI pour 2018 à Bukavu, selon une normalisation min-max.

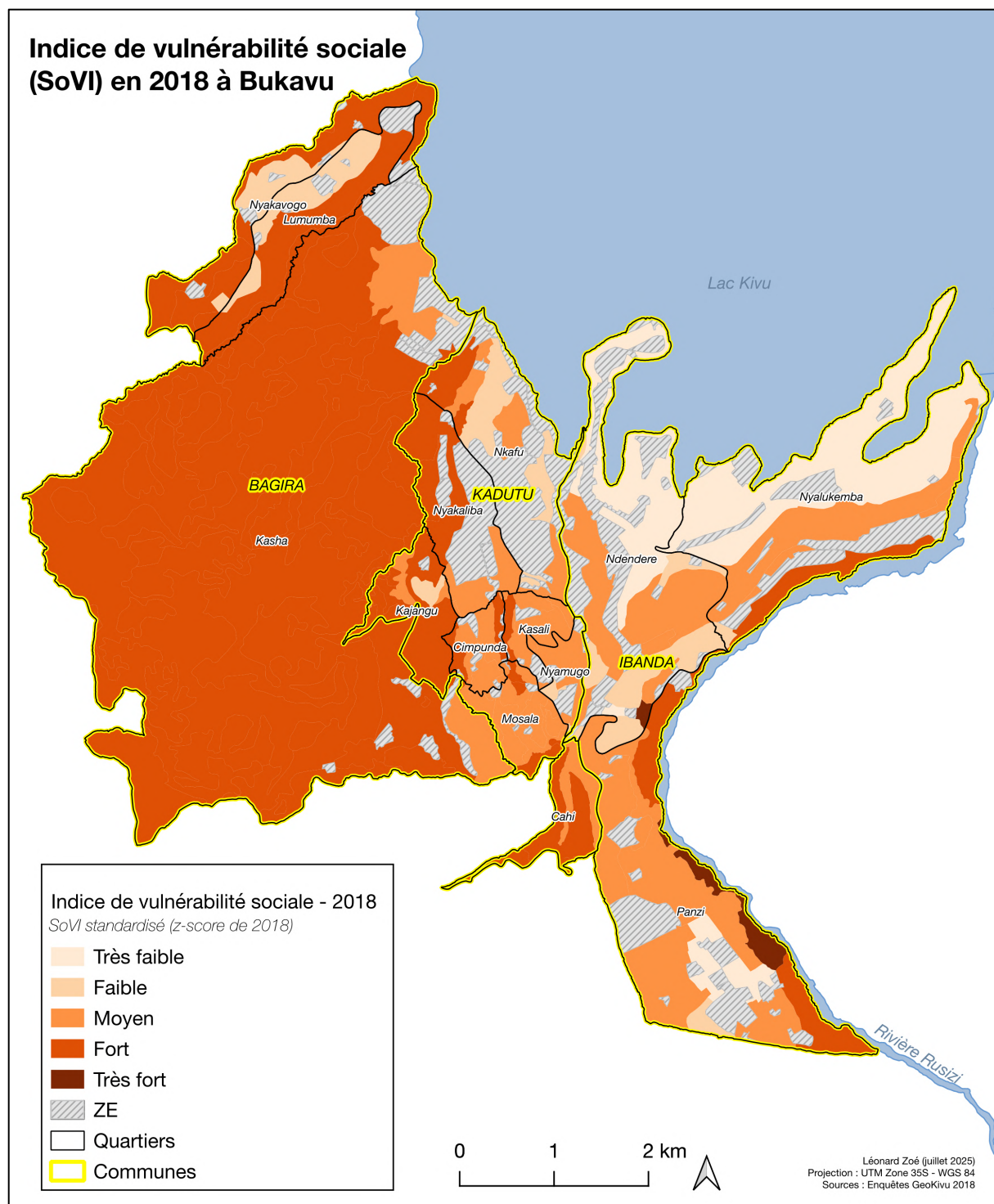


Figure 36 : Carte de l'indice SoVI pour 2018 à Bukavu, selon une standardisation en z-score.

### **5.2.3.2 Analyse comparative 2014-2018 : standardisation interannuelle et carte des différences**

Les cartes thématiques de 2014 sont présentées dans l'Annexe 12 à titre de référence. Les scores bruts des indices de vulnérabilité utilisés ont été produits dans le cadre de la thèse de Michellier (2017). Cependant, comme expliqué dans la section 4.4.3, un recalcul de normalisation ainsi qu'un calcul de standardisation ont été effectués sans prendre en compte les ZM annexes (hors de Bukavu) dans le cadre de ce mémoire. Ces cartes servent à contextualiser l'évolution entre 2014 et 2018.

La Figure 37 présente les cartes des scores de SoVI de 2014 et de 2018 selon une standardisation interannuelle afin d'être directement comparables. Cette standardisation interannuelle, qui repose sur le centrage et la réduction des données autour d'une moyenne commune, peut atténuer certaines nuances, ce qui explique la faible variation apparente sur la carte de 2014. Malgré cela, il est possible d'observer que les zones de fortes et faibles vulnérabilités restent globalement similaires d'une année à l'autre, conformément aux observations précédentes. Cependant, on constate une amplification en 2018.

La carte de différence de z-scores de SoVI entre 2014 et 2018 disponible en Figure 38, permet de mieux caractériser l'évolution. Une diminution modérée de vulnérabilité sociale est observée au nord du quartier de Nyalukemba, dans la commune d'Ibanda, ainsi que ponctuellement dans certaines zones de moindre superficie au sein des quartiers de Panzi et Kajangu. En plus d'une diminution de vulnérabilité, la commune d'Ibanda présente également des zones de faible ou aucun changement de vulnérabilité. Cela suggère une tendance dans la stabilisation, voire une diminution au nord, de vulnérabilité sociale dans cette commune. À l'inverse, une augmentation forte est quant à elle visible au sein de la commune de Kadutu, surtout dans le quartier de Kasali, commune plus sujette aux aléas géophysiques.

Cette évolution est peut parfois être mise en lien avec l'évolution de densité de population par ZM (cf. Figure 18). Par exemple, les zones d'augmentation modérée de vulnérabilité sociale dans Kasha ou le long de la rivière sont aussi les zones d'augmentation de densité.

Tous les scores normalisés et standardisés des indices SoVI de 2018 et 2014 sont disponibles dans le tableau en Annexe 13.



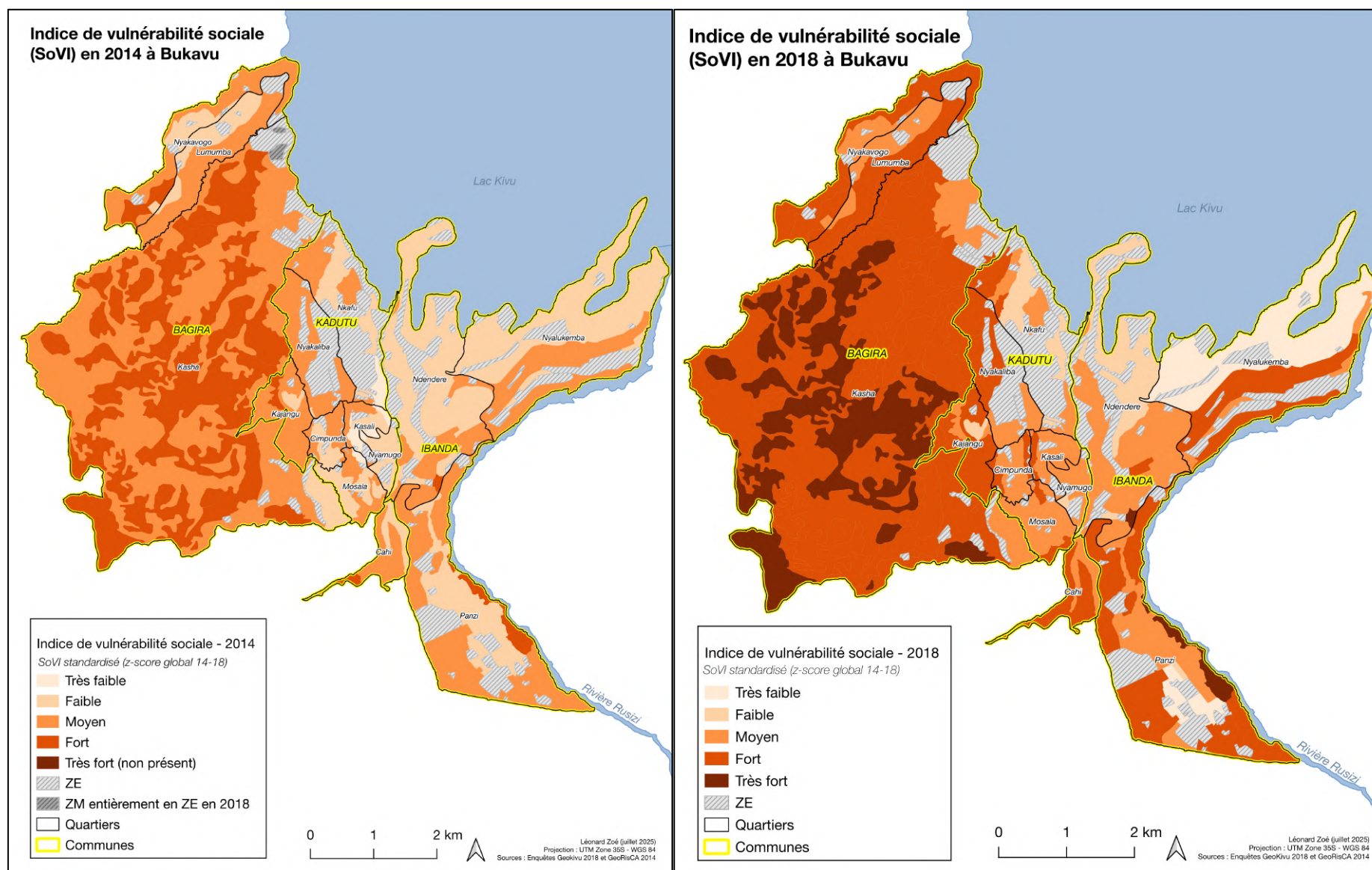


Figure 37 : Cartes de l'indice SoVI à Bukavu, selon une standardisation interannuelle en z-score (2014 à gauche, 2018 à droite).

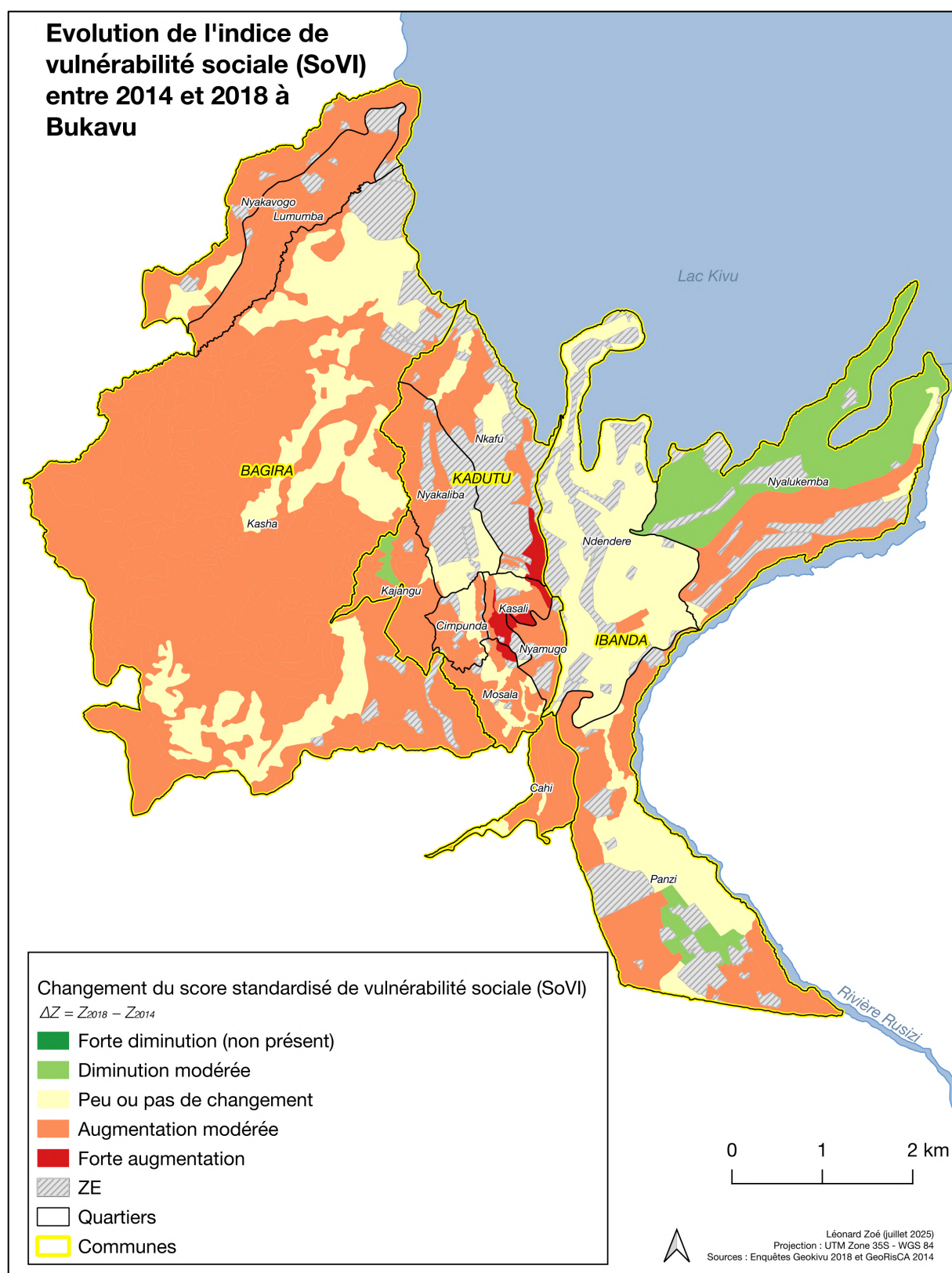


Figure 38 : Carte de la différence de l'indice SoVI standardisé (z-score) entre 2018 et 2014 à Bukavu.

## 5.2.4 Indice OVI

### 5.2.4.1 Cartographies thématiques de 2018

Sur la carte de la Figure 39 sont représentés les résultats des scores OVI de 2018, par ZM, selon une normalisation min-max. Comme pour l'indice SoVI, les zones en tons foncés peuvent correspondre à des zones où les populations disposent de ressources socio-économiques limitées et présentent une moindre perception des risques liés aux catastrophes naturelles, ce qui compromet leur capacité à y faire face et à s'en relever.

Malgré une méthodologie différente et plus simple, les résultats sont globalement similaires à ceux observés pour le SoVI, montrant de façon générale une vulnérabilité sociale croissante à mesure que l'on s'éloigne des centres urbains. Les quartiers de Nyalukemba et Ndendere affichent toujours les vulnérabilités les plus faibles. En revanche, ce n'est plus le cas de Nkafu avec l'OVI, qui possède une vulnérabilité modérée à forte.

Les zones les plus vulnérables demeurent situées dans la commune de Bagira. Toutefois, contrairement au SoVI, les zones longeant la rivière Rusizi au sein d'Ibanda ne figurent plus parmi les plus vulnérables selon l'OVI.

Enfin, la commune de Kadutu affiche des valeurs intermédiaires de vulnérabilité, en accord avec les observations du SoVI.

Les constats liés à la cartographie de l'OVI selon une standardisation (Figure 40) sont similaires à ceux observés pour le SoVI, avec une représentation fidèle à la version normalisée, mais moins nuancée.



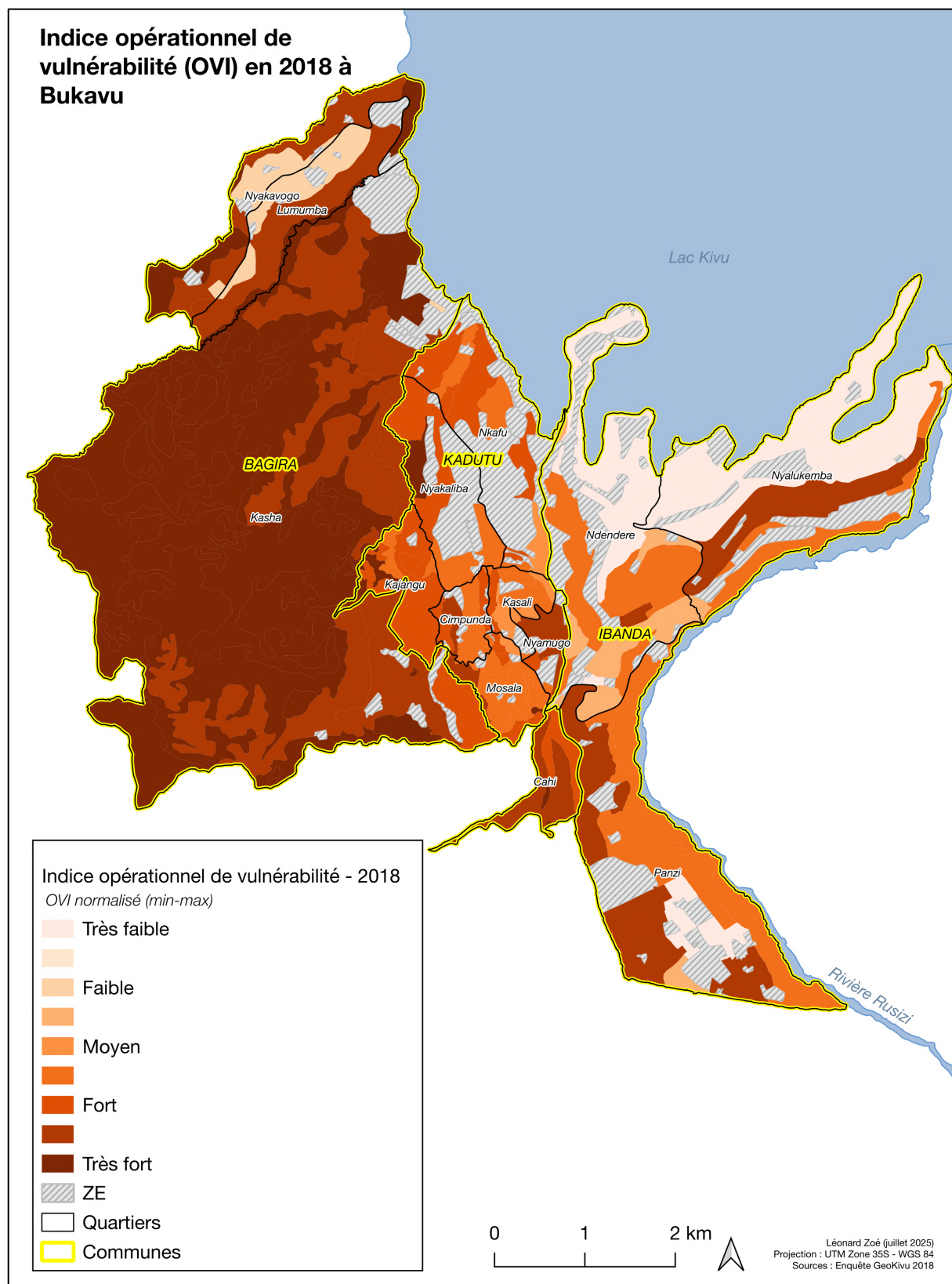


Figure 39 : Carte de l'indice OVI pour 2018 à Bukavu, selon une normalisation min-max.



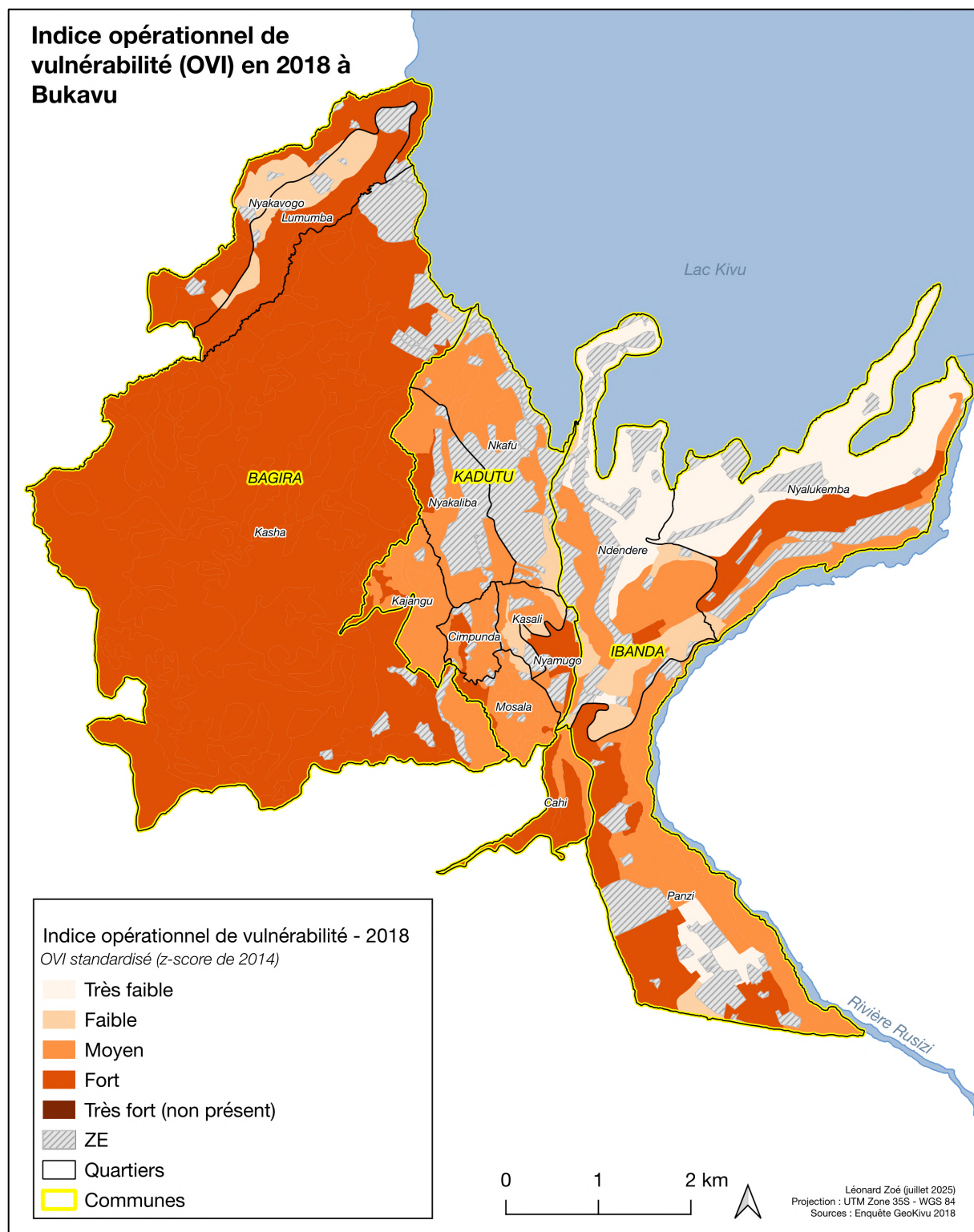


Figure 40 : Carte de l'indice OVI pour 2018 à Bukavu, selon une standardisation en z-score.

#### **5.2.4.2 Analyse comparative 2014-2018 : standardisation interannuelle et carte des différences**

Comme pour le SoVI, les cartes thématiques de 2014 sont disponibles en Annexe 12 à titre de référence ainsi que les scores normalisés et standardisés des indices OVI de 2018 et 2014 en Annexe 13.

La Figure 41 illustre les scores standardisés de l'OVI pour 2014 et 2018, selon la standardisation interannuelle. On y observe de façon globale que les zones de fortes et faibles vulnérabilités restent cohérentes d'une année à l'autre, suivant les mêmes tendances que celles analysées précédemment. Cependant, l'amplification de la vulnérabilité en 2018 apparaît moins marquée que pour le SoVI, rendant l'évolution moins évidente.

Cette relative absence de variation est compensée par la carte de différence des z-scores d'OVI entre 2014 et 2018 (Figure 42). Une diminution de vulnérabilité sociale est ainsi observée au nord des quartiers de Nyalukemba et Ndendere, ainsi que dans les quartiers de Nyakavogo, Lumumba, Mosala et Panzi. On constate également une augmentation de vulnérabilité dans les communes de Bagira et Kadutu, en particulier dans les quartiers de Kasali et au sud de Nkafu avec une augmentation forte. Pour le reste de la ville, la vulnérabilité sociale est restée stable ou a peu évolué.

Ces résultats sont cohérents avec l'évolution obtenue pour le SoVI, avec une convergence globale des zones en augmentation et diminution de vulnérabilité. Cependant, quelques différences méritent d'être soulignées, comme le nombre de zones en diminution de vulnérabilité qui est plus important avec l'OVI, tandis que la diminution de SoVI se concentrait surtout au sein du quartier de Nyalukemba. Par ailleurs, les zones avec une augmentation modérée de vulnérabilité sociale sont moins dominantes dans le cas de l'OVI.

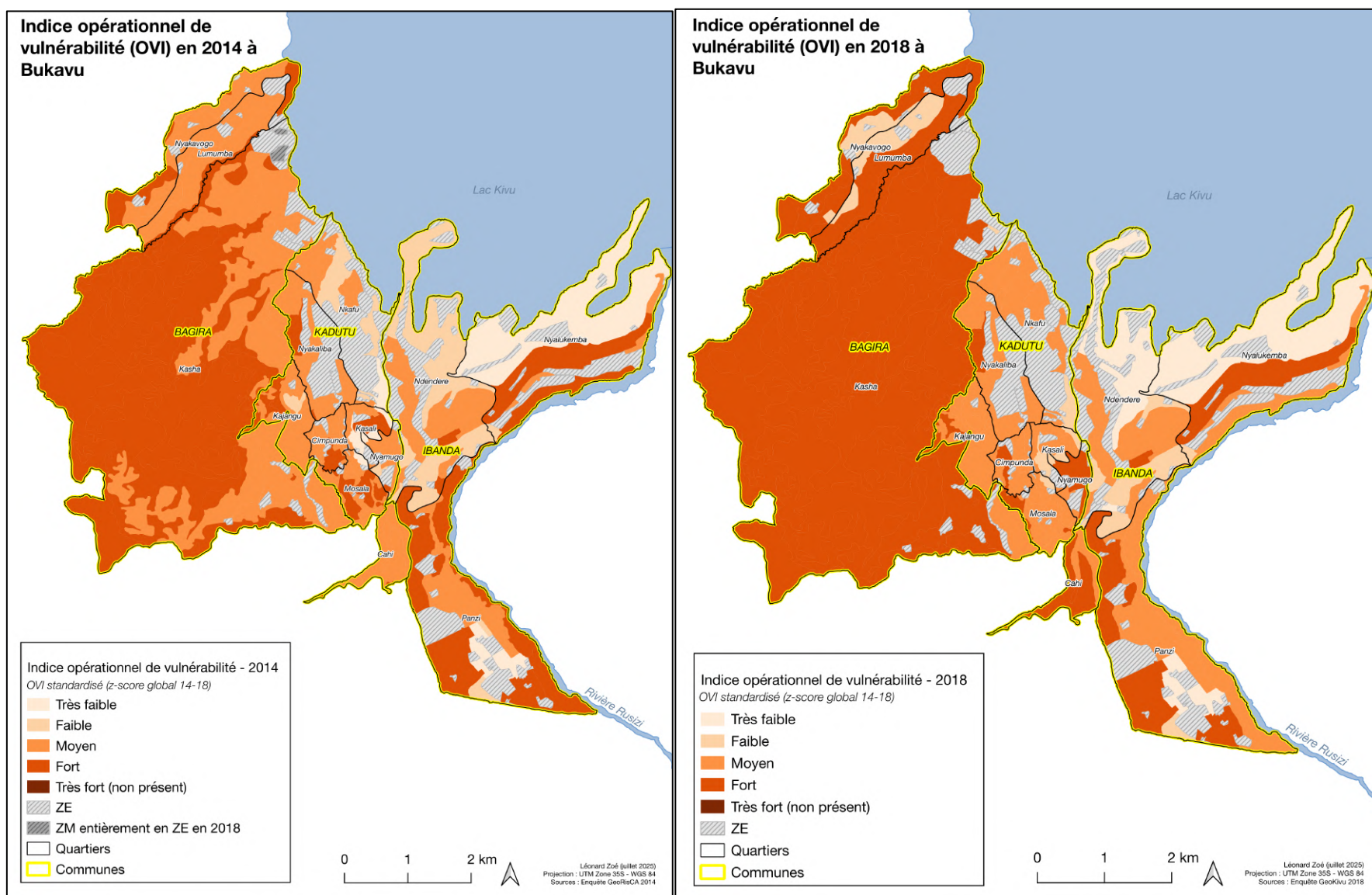


Figure 41 : Cartes de l'indice OVI à Bukavu, selon une standardisation interannuelle en z-score (2014 à gauche, 2018 à droite).

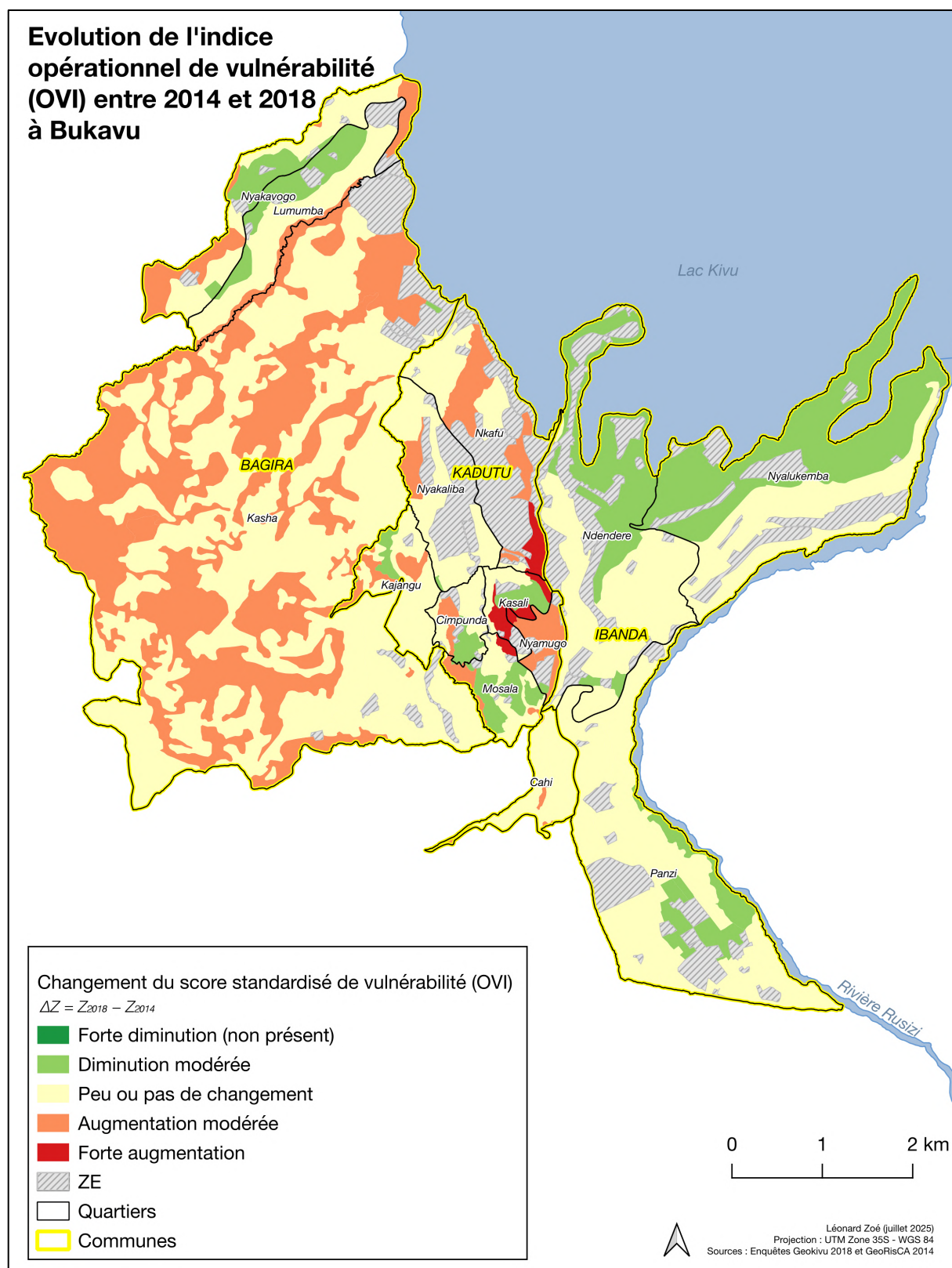


Figure 42 : Carte de la différence de l'indice OVI standardisé (z-score) entre 2018 et 2014 à Bukavu.



---

## 5.3 Autocorrélation spatiale des indices de vulnérabilité sociale de 2018

---

### 5.3.1 SoVI 2018

L'indice global de Moran renvoie une valeur de 0,36, ce qui indique une légère autocorrélation spatiale positive des scores à l'échelle des îlots. La p-value est très faible ( $1,9 \times 10^{-12}$ ), donc la valeur de cet indice est statistiquement significative. La valeur attendue sous hypothèse nulle est proche de zéro et légèrement négative (-0,0048), ce qui correspond à un léger biais lié au nombre d'unités spatiales (212 îlots) mais n'affecte pas l'interprétation. La p-value issue de la simulation de Monte Carlo est également très faible (0,0001), ce qui confirme que la valeur observée ( $I = 0,36$ ) est nettement en dehors de la distribution aléatoire (voir Annexe 15). Cela confirme donc l'existence d'un regroupement spatial significatif des scores de vulnérabilité.

Avec le corrélogramme de l'indice de Moran global (Annexe 15), il est observé que les cinq premiers ordres de voisinage présentent une autocorrélation statistiquement significative, avec une valeur décroissante à mesure que l'ordre augmente, traduisant une atténuation progressive de l'autocorrélation avec la distance.

L'indice local de Moran (Figure 43 et Annexe 15 pour les résultats supplémentaires) révèle que peu d'îlots présentent des valeurs significatives. Pour celles significatives, on distingue des clusters, de valeurs faibles ou élevées. Les clusters "High-High" (en rouge) indiquent des îlots d'enquête avec des scores SoVI élevés, entourés d'îlots d'enquête avec des scores SoVI également élevés. Les clusters "Low-Low" (en bleu foncé) indiquent des îlots d'enquête avec des scores SoVI faibles, entourés d'îlots d'enquête avec des scores SoVI faibles. Les zones "Low-High" (bleu clair) indiquent des valeurs contrastées avec les voisins, mais sont moins nombreuses.

Deux zones se démarquent : une zone de clusters de vulnérabilité faible au nord de la commune de Ibanda et une zone de clusters de vulnérabilité forte plutôt à l'ouest du quartier de Kasha dans la commune de Bagira.

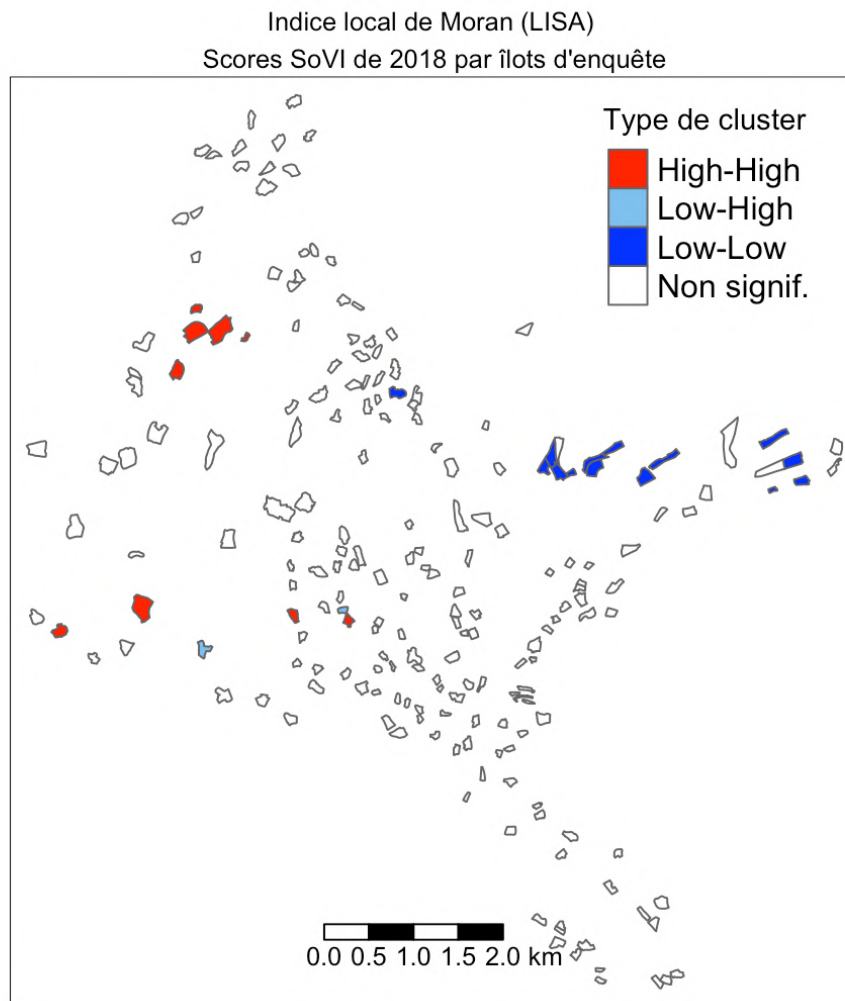


Figure 43 : Typologie des clusters des scores de SoVI par îlot d'enquête (2018) - Indice local de Moran.

### 5.3.2 OVI 2018

Pour les scores à l'échelle des îlots de l'OVI, l'indice global de Moran est de 0,42, ce qui indique également une légère autocorrélation spatiale positive et statistiquement significative ( $p\text{-value} < 2,2 \times 10^{-16}$ ). La valeur attendue sous hypothèse nulle est identique à celle calculée pour le SoVI (-0,0048), car elle dépend uniquement du nombre d'unités spatiales et de la structure de voisinage, et non des données elles-mêmes. La p-value de la simulation de Monte Carlo (0,0001) confirme que la valeur observée est nettement en dehors de la distribution aléatoire (Annexe 15).

Le corrélogramme montre, comme pour le SoVI, que les cinq premiers ordres de voisinage présentent une autocorrélation significative, décroissant avec la distance (Annexe 15).

En ce qui concerne le corrélogramme pour l'indice de Moran global (voir graphique dans l'Annexe 15), les résultats montrent que les cinq premiers ordres de voisinage présentent une autocorrélation statistiquement significative, qui diminue progressivement à mesure que l'ordre de voisinage augmente. Cette décroissance progressive traduit le fait que l'autocorrélation spatiale s'atténue à mesure que la distance augmente.

De façon similaire aux résultats obtenus pour le SoVI, l'indice local de Moran (Figure 44 et Annexe 15) indique que peu d'îlots d'enquête ont des valeurs significatives. Les zones de clusters de vulnérabilité forte sont concentrées à l'ouest dans le quartier de Kasha et les zones de clusters de vulnérabilité faible au nord d'Ibanda, près du lac Kivu.

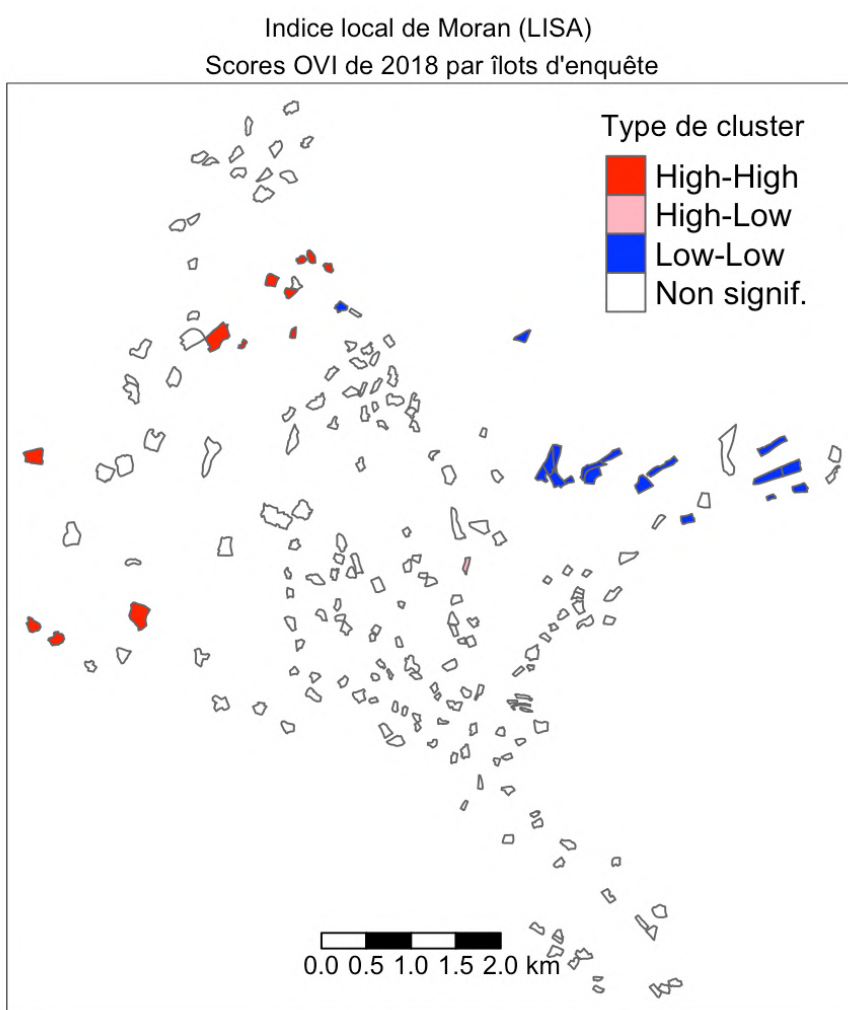


Figure 44 : Typologie des clusters des scores de OVI par îlot d'enquête (2018) – Indice local de Moran.

Globalement, les résultats de cette analyse d'autocorrélation spatiale pour les scores de SoVI et OVI coïncident. La zone de clusters de vulnérabilité forte correspond aux zones plus rurales, éloignées des centres urbains, d'altitude plus élevée. La zone de clusters de vulnérabilité faible correspond quant à elle à la zone où se s'est développée la ville originellement.



## CHAPITRE 6 • DISCUSSION

Cet avant-dernier chapitre a pour objectifs de discuter des résultats présentés dans le Chapitre 5, de les confronter avec l'état de l'art, de discuter des limites de l'étude et de la problématique de validation, de réfléchir autour du développement d'indices de vulnérabilité dans le cadre de la gestion des risques, et finalement de discuter des perspectives.

---

### 6.1 Indices de vulnérabilité sociale aux aléas naturels

---

#### 6.1.1 Évaluation de la vulnérabilité sociale en 2018

---

Même si la vulnérabilité sociale n'est pas directement observable et que les indices simplifient la réalité (Rufat *et al.*, 2015), une évaluation de celle-ci a pu être réalisée au travers d'indices. Pour rappel, cette évaluation s'est reposée sur deux types d'approches : le SoVI, méthode inductive, et le OVI, méthode déductive. Les données utilisées ressortent d'une enquête de terrain organisée en 2018.

L'évaluation de vulnérabilité sociale mise en œuvre selon la méthodologie SoVI en 2018 a dégagé des zones de forte et faible vulnérabilité. Globalement, plus on s'éloigne des quartiers centraux du nord-est, plus la vulnérabilité augmente. L'analyse de l'autocorrélation spatiale a d'ailleurs précisé que dans ces zones, des regroupements de même vulnérabilité existaient, avec le quartier de Kasha qui présente un regroupement de vulnérabilité forte et les quartiers du nord-est un regroupement de vulnérabilité faible. Les résultats obtenus semblent assez cohérents avec l'analyse descriptive réalisée sur base des indicateurs socio-économiques (même s'il faut rester prudent car le SoVI a été développé sur la même base de données) et le contexte détaillé dans le chapitre 3. Cette cohérence est soutenue par les propos de Sylvain Kulimushi Matabaro, chercheur à l'ISP de Bukavu (comm. pers, 2025) :

*La vulnérabilité sociale semble être plus concentrée à l'ouest de la ville, précisément au quartier Kasha. Ceci est lié à la pauvreté relative de cette population par rapport au reste de la population de la ville. Pour ce qui est de l'exposition aux aléas hydrogéologiques, Kasha n'est pas la zone la plus exposée sauf dans certaines zones de fortes pentes dans les bassins versants comme celle de la Tshula par exemple. Le nord-est de la ville est celle qui présente la vulnérabilité la plus faible. C'est normal. C'est la zone la plus riche de la ville. Elle est aussi la moins accidentée.*

*Le versant occidental de la rivière Ruzizi présente aussi une forte vulnérabilité car il combine la pauvreté de la population et un site instable sur le plan de la pente et la distribution spatiale des glissements de terrain et du ravinement.*

En pratique, la méthode inductive SoVI présente plusieurs contraintes méthodologiques. En effet, sa mise en œuvre n'est pas simple car elle se repose sur des traitements et concepts statistiques complexes et implique une certaine subjectivité. Cela concerne notamment la réalisation d'une Analyse en Composantes Principales (ACP) avec la sélection des variables de base, la définition de certains seuils, le choix de pondération entre les composantes principales (CP), ou encore la définition du signe d'influence de chaque CP sur la vulnérabilité. Par exemple, en attribuant initialement une valeur absolue à la CP 6, les résultats obtenus différaient légèrement de ceux finalement retenus, même si les grandes tendances globales restaient similaires et cohérentes (Annexe 16).

Chaque CP devrait pouvoir être interprétée de manière logique, ce qui n'a pas toujours été le cas, en particulier pour la CP 6. De plus, dans cette étude, une contribution égale a été attribuée à chacune des CP. Bien que Cutter *et al.* (2003) n'aient également pas pondéré les CP, ils soulignaient que toutes les variables ne se valent pas et qu'un système de pondération justifiable reste nécessaire. Dans ce mémoire, le choix de ne pas pondérer a été motivé par la volonté de comparer les résultats avec ceux de 2014. Cependant, il serait intéressant de revisiter cette question en discutant avec des experts locaux pour déterminer si certaines variables devraient être considérées comme plus importantes dans ce contexte, même si Apotsos (2019) souligne que l'utilité d'application d'une pondération reste incertaine.

Enfin, ces traitements statistiques complexes peuvent parfois manquer de transparence quant à la manière dont ils sont appliqués et interprétés, ce qui nécessite prudence et vigilance lors de l'analyse des résultats.

Quant à l'évaluation de la vulnérabilité sociale avec la méthode OVI en 2018, plus simple à mettre en œuvre que la méthode SoVI, elle a permis de mettre en évidence globalement les mêmes zones marquées de vulnérabilité forte et faible et recoupent donc également les commentaires précités de Sylvain Kulimushi Matabaro pour le SoVI. L'analyse de l'autocorrélation spatiale fournit les mêmes zones de clusters de vulnérabilité faible ou forte que le SoVI. Une subjectivité réside dans la méthode au travers de la sélection limitée des variables à inclure dans la formule. Ce choix a été fait pour l'étude de 2014 grâce à des discussions avec des experts en s'appuyant également sur des connaissances locales.

### 6.1.2 Évolution de la vulnérabilité sociale entre 2014 et 2018

---

L'évolution de la vulnérabilité sociale entre 2014 et 2018, pour chaque indice, a été évaluée grâce à une analyse comparative des résultats obtenus. Cette comparaison a été possible car les enquêtes de terrain ont collecté des types de données quasi-identiques, en suivant une méthodologie similaire, tout en élargissant le nombre d'échantillons et en ajustant légèrement les questions.

Les méthodes de transformation des scores des indices pour représenter ces évolutions ont fait l'objet d'une réflexion pour la comparabilité. En effet, il a été décidé de visualiser les scores non bruts selon une standardisation interannuelle afin de permettre une interprétation intertemporelle directe.

Cependant, cette analyse comparative reste délicate. En effet, il est impossible d'affirmer que des résultats soient justes ou faux, d'autant plus qu'ils dépendent de données issues d'enquêtes avec un nombre d'incertitudes notamment quant à la compréhension des questions et la formulation des réponses par les personnes sondées. Pour l'OVI, la méthodologie a été strictement identique entre les deux années, en utilisant la même formule pour construire l'indice. En revanche, les indices du SoVI se sont appuyés sur des résultats d'ACP différents (Annexe 12), entraînant un nombre variable de composantes principales composées de variables distinctes. Néanmoins, les variables retenues restent majoritairement similaires, ce qui permet tout de même de réaliser une comparaison a priori suffisante pour dégager des tendances.

Par ailleurs, les ZM, unités spatiales d'analyse, ont été légèrement revues dans leur délimitation. Compte tenu du nombre limité de cas sur des superficies restreintes, il a été choisi d'utiliser les versions revisitées de 2018 pour la comparaison, ce qui peut éventuellement provoquer un léger biais. Un autre biais potentiel réside dans l'augmentation du nombre d'échantillons, qui ne permet pas de comparer des résultats issus d'échantillons tout-à-fait identiques.

Concernant les résultats d'évolution, il a été possible de constater, que ce soit pour le SoVI ou l'OVI, que les zones les plus vulnérables comme celles du quartier de Kasha ou les zones les moins vulnérables dans le nord-est de la ville ont été accentuées en 2018. En outre, l'évolution a mis en évidence des zones qui évoluaient très fortement en termes de vulnérabilité dans les quartiers de Kasali et de Nkafu.

Selon Sylvain Kulimushi Matabaro, ces changements peuvent s'expliquer comme suit (comm. pers, 2025) :

*Les moins vulnérables sont devenus de moins en moins vulnérables, et ceux qui étaient au départ plus vulnérables le sont devenus davantage. La vulnérabilité est restée stable dans le quartier Ndendere majoritairement, au quartier Panzi et au quartier Kasha dans certaines zones. En fait Ibanda en général et le quartier Ndendere en particulier constituent le noyau ville. La population y est stable dans son « opulence » relative. Celle de certaines zones de Kasha est aussi stable en ce sens car, vivant dans sa pauvreté relative, n'a pas vu sa situation évoluer dans un sens ou dans un autre. Par contre, les phénomènes de glissements de terrain qui se sont manifestés au sud-est du Quartier Nkafu et entre les quartiers Kasali, Cimpunda et Mosala ont sérieusement affecté les habitants de ces zones au point d'influencer leur niveau de vulnérabilité.*

*[...]*

*L'évolution d'une zone vers plus ou moins de vulnérabilité entre 2014 et 2018 pourrait s'expliquer par l'amélioration globale des conditions de vie de la population de certaines zones d'une part et la dégradation des conditions de vie de la population de l'autre part. Les cartes élaborées montrent une démarcation entre un Bukavu pauvre et un Bukavu riche, un Bukavu urbanisé et un Bukavu « bidonville » voire rural. La recrudescence des catastrophes (glissements de terrain et inondations) a amplifié la vulnérabilité des populations de certaines zones.*

On peut aussi tenter de relier l'augmentation de la vulnérabilité observée dans certaines zones à l'évolution de la densité de la population (cf. Figure 18). Si cela se confirme pour certaines zones de plus forte évolution de densité, comme à Kasha, avec une vulnérabilité modérément accrue, on constate aussi que des zones de densité en régression, comme Kasali, voient leur vulnérabilité augmenter. Dans ce dernier cas, une explication possible serait qu'une partie de la population a fui le risque, peut-être parce qu'elle y a été confrontée entre 2014 et 2018. En effet, au moins une catastrophe majeure a été recensée entre 2015 et 2017, une inondation en 2015 ayant entraîné des victimes à Bukavu (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2025).

Par ailleurs, cette évolution concerne des données de 2014 et de 2018 ; les données les plus récentes présentent donc un écart de 7 ans avec la situation actuelle. Depuis 2018, la région a malheureusement fait face à de grandes catastrophes liées à des aléas naturels, telles que celles liées au glissement de terrain ainsi qu'aux inondations de 2023 discutés dans la

section 3.3. Par ailleurs, la situation sécuritaire à Bukavu, marquée notamment par la prise de possession de la ville par les rebelles du M23, continue d'évoluer très défavorablement, ce qui influence le contexte socio-économique, aggrave l'insécurité humanitaire et augmente la vulnérabilité de la population au-delà des aléas naturels (Rédaction RTBF & AFP, 2025).

### 6.1.3 Comparaison inter-méthodes SoVI et OVI

En comparant les résultats obtenus entre les méthodes SoVI et OVI, il semble que les résultats obtenus soient, de manière globale, cohérents.

Tout d'abord, même si les scores bruts entre les indices de vulnérabilité sociale pour 2018 sont différents, ils présentent tout de même une corrélation positive notable. Le coefficient de corrélation  $R$  de 0,77 indique une relation linéaire forte entre les deux indices. Le coefficient de détermination  $R^2$  de 0,5931 montre que près de 60 % de la variance d'un indice peut être expliquée par l'autre, comme le montre le nuage de points de la Figure 45. En outre, les résultats cartographiques démontrent une adéquation dans les zones de forte et faible vulnérabilité. Toutefois, les zones près de la rivière Rusizi obtiennent une vulnérabilité moins marquée avec l'OVI qu'avec le SoVI. Une explication possible serait que l'OVI, moins multidimensionnel que le SoVI, tende à lisser les contrastes, ce qui pourrait conduire à sous-estimer la vulnérabilité de certaines zones. Selon Sylvain Kulimushi Matabaro, les résultats obtenus avec le SoVI semblent refléter plus fidèlement les réalités vécues sur le terrain (comm. pers, 2025).

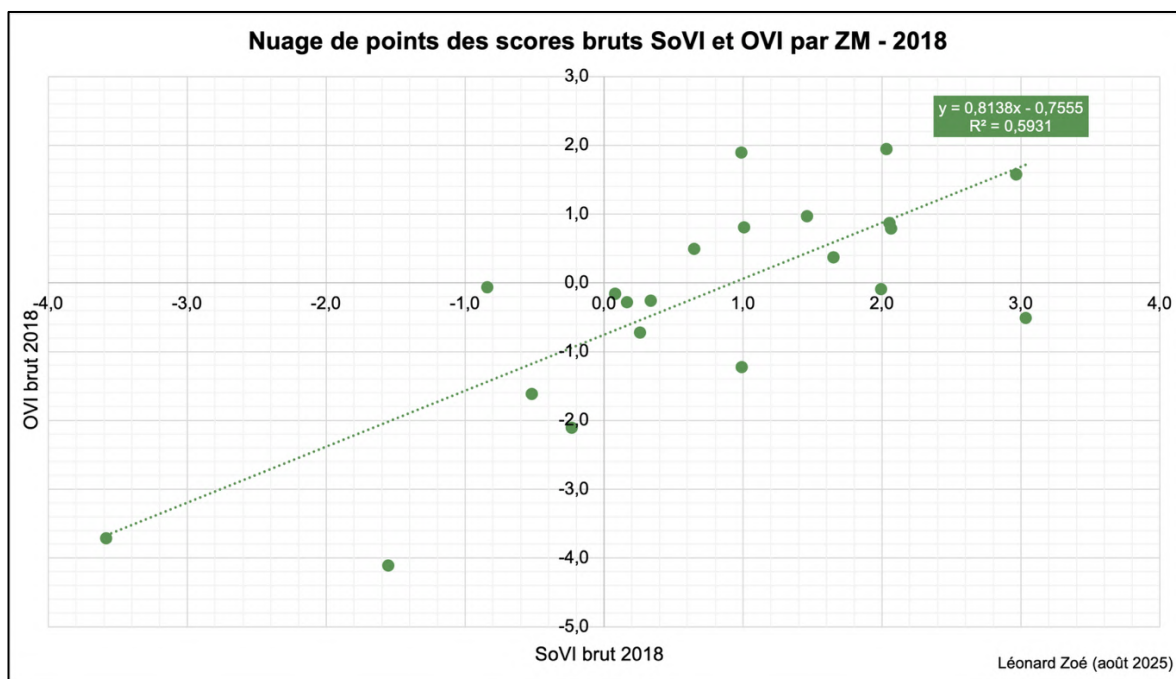


Figure 45 : Nuage de points des scores bruts SoVI et OVI par ZM (2018).

En termes d'évolution, les deux indices convergent globalement vers les mêmes zones présentant une augmentation ou une diminution de vulnérabilité entre 2014 et 2018. Toutefois, des différences apparaissent à un niveau plus détaillé ; par exemple, la zone longeant la rivière Rusizi n'est toujours pas mise en évidence par l'OVI, ce qui semble surprenant pour une zone en bordure de rivière. À nouveau, Sylvain Kulimushi Matabaro trouve que l'évolution mise en évidence au travers du SoVI est plus réaliste (comm. pers, 2025) :

*La « stabilité » de l'OVI occupant une grande zone de la ville parait être fausse à cause du dynamisme socio économique politique et sécuritaire que connaît la ville.*

Lors de cette étude, il a été choisi de considérer uniquement deux indices, ce qui est surtout justifié à des fins de comparaison avec les résultats obtenus pour les données de 2014. Il est cependant utile de rappeler que, par rapport aux références scientifiques discutées dans le chapitre 2, on remarque la prédominance du SoVI, avec des mises en évidence de zones vulnérables cohérentes avec le terrain ou validées, dans des contextes géographiques et de données variés. Cela justifie donc l'intérêt d'utiliser cet indice. Tandis que l'utilisation de l'OVI a été encouragée par sa simplicité et rapidité de mise en œuvre afin de discuter de ce genre d'approche.

Les deux approches, SoVI et OVI, possèdent donc chacune leurs intérêts, comme notamment mis en évidence dans l'étude de Michellier *et al.* (2020b). Le SoVI, en s'appuyant sur un grand nombre de variables (ici 22) et sur l'analyse statistique des corrélations entre elles, permet de mieux capter le caractère multidimensionnel de la vulnérabilité sociale et de mettre en avant des variables qui seraient de prime abord moins évidentes. L'OVI, quant à lui, repose sur un nombre nettement plus limité de variables (ici 5), sélectionnées sur la base de connaissances et d'avis d'experts locaux, avec le risque d'omettre des éléments moins intuitifs.

Si les deux indices dépendent de choix méthodologiques, le SoVI en implique davantage et nécessite plus d'interprétations tout au long du processus (cf. section 6.1.1), ce qui augmente le risque d'erreurs cumulées. À l'inverse, l'OVI, plus simple, pourrait être perçu comme plus robuste, car moins sensible à ces choix.

Dans le présent cas d'étude, comme le souligne Sylvain Kulimushi Matabaro, les résultats du SoVI semblent mieux refléter certaines réalités locales, tout en restant globalement cohérents avec ceux de l'OVI. Cela suggère que, malgré une mise en œuvre plus complexe et

statistiquement rigoureuse, le SoVI n'apporte pas nécessairement une valeur ajoutée significative par rapport à une méthode plus simple comme l'OVI, surtout dans un contexte de rareté de données nécessitant des enquêtes de terrain. Cependant, l'OVI, de par sa construction, exige une forte contextualisation et une connaissance préalable des réalités du terrain pour être pertinent dans la sélection des variables.

En bref, la comparaison inter-méthodes réalisée dans le cadre de Bukavu n'est bien entendu pas généralisable à d'autres contextes et données au vu qu'elle se repose sur des données d'enquête incertaines et non validées sur cette seule ville.

Cependant, dans le contexte de Bukavu, si une nouvelle enquête devait être réalisée, appliquer la méthodologie de l'OVI, qui est plus directe et simple, semble être suffisamment approprié pour déterminer une évaluation plus récente de la vulnérabilité sociale ainsi que son évolution. De plus, l'utilisation de la méthode OVI, exigeant moins de données, permettrait également de réduire la taille du questionnaire à quelques questions clés. Ce qui est cohérent avec l'objectif de sa création ; l'OVI avait pour objectif, en plus de permettre un approche adaptée au contexte du terrain, d'être reproductible simplement et d'être facile à comprendre par des personnes moins expertes dans le domaine (Michellier, 2017 ; Michellier *et al.*, 2020b). La facilité de reproduction a pu être démontrée dans cette étude. Après tous les traitements des données de l'enquête pour obtenir des variables, l'équation déjà utilisée en 2014 a pu être réappliquée directement. Pour une question de comparabilité, l'OVI semble donc plus pertinent au vu de la réutilisation directe d'une équation identique.

---

## 6.2 Limitations de l'étude

---

Cette étude présente certaines limites qui nécessitent d'être prises en considération dans l'interprétation des résultats.

Tout d'abord, concernant les données, il convient de souligner que les indicateurs socio-économiques et les indices de vulnérabilité sociale ont été construits à partir de données issues uniquement d'une enquête de terrain, se reposant sur un échantillon d'environ 13 000 personnes réparties à travers la ville. Ce type de données comporte inévitablement une part d'incertitude, liée notamment à la perception des enquêtés, à la manière dont les questions ont été comprises et remplies ou encore à la localisation des points d'échantillonnage, ce qui peut parfois conduire à surestimer ou sous-estimer certains résultats après agrégation. Ces incertitudes sont apparentes, par exemple, dans les résultats concernant l'évolution en quatre



ans de la proportion d'actifs qui semble incohérente et surprenante, ce qui pose d'autant plus question au vu du fait que les deux indices construits en 2018 utilisent cette variable. Comme ces incertitudes se répercutent directement sur les indices calculés, elles peuvent en affecter la précision et l'interprétation. Ainsi, lors de l'interprétation de la comparaison interannuelle, il faut rester prudent face aux différences entre valeurs proches et se fier surtout aux différences les plus marquées.

Malgré cela, la disponibilité d'un volume aussi important de données, à l'échelle d'individus et de ménages, globalement fiables compte tenu de la méthodologie d'enquête employée, constitue un atout majeur pour comprendre la vulnérabilité de Bukavu, en particulier dans ce contexte où les données disponibles restent limitées. Cet aspect est d'autant plus vrai que certains types d'informations, comme celles relatives à la perception des risques, ne peuvent être obtenues que par le biais d'enquêtes de terrain.

Ensuite, il existe des limites liées à la zone et à l'échelle d'analyse. L'analyse des indices de vulnérabilité sociale s'est reposée sur les ZM comme unités spatiales. Ce type de découpage en zones homogènes est particulièrement pertinent pour l'étude de la vulnérabilité de la population parce que les communes couvrent de vastes superficies et abritent une population très hétérogène, tandis que la taille des quartiers varie considérablement. Toutefois, l'analyse a exclu les zones a priori inhabitées (ZE). Pourtant, des lieux comme les écoles ou les établissements de santé, a priori inhabitées en permanence, regroupent ponctuellement de nombreuses personnes, qui, bien qu'elles ne résident pas sur place, sont très vulnérables en cas d'aléa.

L'étude s'est également limitée aux limites officielles de la ville de Bukavu. Or, la ville s'étend au-delà de ces limites, comme le montre clairement la vue satellite (cf. Figure 7), avec une occupation du sol particulièrement marquée dans le sud-ouest des quartiers de Cahi et Panzi. Des enquêtes avaient été réalisées dans cette zone en dehors des limites en 2014, ce qui n'a pas été le cas en 2018.

En outre, en termes de limite temporelle, les évaluations produites sont des cartographies statiques de la vulnérabilité sociale, sans prendre en compte l'aspect dynamique lié à celle-ci en fonction de la mobilité des personnes selon les heures, jours et saisons.

Enfin, les approches développées dans cette étude reposaient sur une bonne connaissance du terrain, rendue possible en partie grâce à l'étude menée en 2014. Par ailleurs, comme

discuté précédemment, ces approches comportent une part marquée de subjectivité et dépendent fortement de la disponibilité des données.

---

## 6.3 Validation des indices de vulnérabilité

---

Comme précisé dans l'état de l'art (chapitre 2, section 2.3.2.3), la validation des indices de vulnérabilité est complexe, voire quasi impossible, ce qui constitue un défi reconnu. Dans cette étude, certaines approches s'apparentant à une forme de validation peuvent toutefois être discutées.

Une tentative de validation aurait été possible en confrontant les indices de vulnérabilité sociale aux observations de dégâts (en vérifiant si ceux-ci prédisent effectivement les impacts en les comparant avec la densité des désastres). Bien que cette validation est remise en question par Fekete (2019) et Rufat *et al.* (2019), elle n'a cependant pas pu être menée en raison de l'absence de données à disposition.

Par contre, les résultats de ces indices pour 2018 ont pu être soutenus par les commentaires de M. Kulimushi Matabaro, de l'ISP Bukavu. Cet apport a en partie permis de pallier l'absence de travail de terrain, qui aurait été impossible vu le contexte actuel, et de combler le déficit de connaissances des sites étudiés, en bénéficiant d'une expertise locale. Cependant, l'apport reste limité pour affiner l'interprétation et la contextualisation des résultats.

En outre, une forme de validation temporelle a été réalisée en analysant la persistance du degré de vulnérabilité sociale des ZM de Bukavu entre 2014 et 2018. Cette comparaison temporelle, montrant des résultats globalement similaires d'une année à l'autre mais s'accroissant dans certaines zones, soutiennent les indices produits.

De plus, la comparaison inter-modèles entre le SoVI et l'ОВI permet également une forme de validation en comparant la stabilité des résultats entre les deux indices. Cette comparaison a démontré des résultats globalement cohérents, même si certaines zones comme celles longeant la rivière Rusizi présentaient des degrés de vulnérabilité différents selon l'indice.

Enfin, aucun test de sensibilité n'a été mené pour évaluer l'influence des variables ou choix méthodologiques, comme des pondérations, sur les résultats des indices. Ce choix s'explique tout d'abord par le fait que l'étude compare déjà deux approches méthodologiques distinctes (inductive et déductive), ce qui constitue en soi une forme d'analyse comparative de

robustesse. De plus, un test complet aurait nécessité de définir précisément sur quels facteurs intervenir (pondérations, composition des variables, seuils, etc.), ce qui dépassait le cadre de ce travail. Par ailleurs, les données issues d'enquêtes à l'échelle fine des îlots présentent déjà une sensibilité importante aux variations locales, rendant l'exercice de test de sensibilité plus complexe et potentiellement redondant. Néanmoins, et pour l'exemple, la simple modification du signe d'influence de la CP 6 pour le SoVI 2018 (portant sur la possession de moyens de communication et dont l'influence a été discutée), a engendré des variations locales, même si les grandes tendances globales restaient similaires et cohérentes (Annexe 16). Cela confirme que les indices sont sensibles aux choix méthodologiques, souvent subjectifs, tout en montrant que les tendances globales semblent robustes.

En conclusion, bien que les données, provenant d'enquêtes de terrain, ainsi que la méthodologie reposant sur des choix subjectifs même si a priori logiques, soient fort incertaines, la validation au sens stricte reste une interrogation. Toutefois, dans ce cadre, des formes de validation ont pu soutenir les résultats, malgré l'absence d'évaluation des incertitudes.

---

## 6.4 Développement d'indices et gestion des risques

---

Pour la gestion des risques liés à des aléas naturels, une étape essentielle consiste d'abord à évaluer ces risques, ce qui passe notamment par l'évaluation de la vulnérabilité (Cutter *et al.*, 2003 ; Birkmann, 2006 ; UNISDR, 2015).

Bien que rarement validés (Fatemi *et al.*, 2017), les indices de vulnérabilité sociale représentent un outil utile et adapté au contexte. Leur principal intérêt pour les décideurs locaux réside dans la capacité à simplifier et résumer la réalité (Vincent, 2004). En particulier, ils permettent d'identifier les personnes et zones vulnérables avant qu'un aléa ne se transforme en catastrophe, offrant ainsi un appui à la préparation et à la prévention (Cannon, 2022). La cartographie de ces degrés de vulnérabilité facilite également la communication de l'information à un public non expert, tel que les décideurs, et oriente les stratégies de réduction des risques (Schmidtlein *et al.*, 2008).

Cependant, Hinkel (2011) précise que leurs recours ne sont appropriés qu'à l'échelle locale, pas à plus large échelle. De plus, Vincent (2004) note qu'ils peuvent donner une impression de certitude alors que leurs résultats sont incertains. La vulnérabilité reste également dépendante de facteurs culturels et socio-économiques, ainsi que de la volonté des individus

à réduire les risques (Cannon, 2022). Par ailleurs, dans leur revue de littérature, Lesouëf *et al.* (2023) indiquent que l'utilisation effective des indices par les gestionnaires demeure incertaine, et que la plupart des études disponibles concernent surtout les centres urbains des pays développés. L'usage de ces indices nécessite aussi prudence dans la réduction des risques, en veillant à cibler les causes réelles de la vulnérabilité plutôt que de se limiter à l'amélioration de ses composantes facilement mesurables (Schmidtlein *et al.*, 2008).

Dans le contexte des villes africaines confrontées à une urbanisation informelle et à des populations vulnérables, comme à Bukavu, la cartographie d'indices de vulnérabilité offre une connaissance spécialisée qui, combinée à une planification rigoureuse et à des outils de gouvernance adaptés, constitue un atout pour la gestion des risques (Di Ruocco *et al.*, 2015). La proposition d'un indice de vulnérabilité sociale moins complexe, tel que l'OVI, semble particulièrement adaptée à un public qui dispose de ressources limitées. Selon Sylvain Kulimushi Matabaro, les cartographies réalisées dans le cadre de cette étude peuvent orienter les actions prioritaires vers les zones les plus vulnérables en matière d'aménagement du territoire (comm. pers., 2025).

---

## 6.5 Perspectives

---

### 6.5.1 *Première perspective : réévaluation des variables et indices pour de futures enquêtes*

La première perspective concerne les modifications à envisager pour une nouvelle enquête et une réévaluation de la vulnérabilité de la population de Bukavu. En termes de variables nécessaires pour l'évaluation de la vulnérabilité sociale, il serait pertinent de les réexaminer avec des experts locaux, étant donné que sept ans se sont écoulés depuis le dernier ajustement du questionnaire de 2018 et que le contexte de Bukavu a évolué.

Plus particulièrement, Sylvain Kulimushi Matabaro suggère d'intégrer une variable « incendie » car la distribution spatiale des incendies d'habitations présente des similitudes avec celle des zones vulnérables identifiées dans cette étude (comm. pers., 2025). Depuis cinq ans, la ville connaît en effet de sérieux problèmes avec les incendies d'habitations construites en planches ou en matériaux de récupération très inflammables. Sachant qu'il existe une corrélation entre le revenu de la population et les matériaux de construction, Sylvain Kulimushi Matabaro propose donc d'intégrer cette variable aux variables à étudier pour la vulnérabilité de la population de la ville de Bukavu.

*Rien que pour la semaine écoulée, autour de 350 maisons sont parties en fumée laissant plus d'un millier de ménages sans abris et dépourvues de tout.*

*(Sylvain Kulimushi Matabaro, comm. pers., 7/08/2025)*

Outre les variables, la question des indices à utiliser pour mesurer la vulnérabilité reste ouverte. Sur base de l'état de l'art, aucune étude n'a montré qu'un indice de vulnérabilité devrait être privilégié par rapport aux autres.

Enfin, pour tenter de valider ces indices, un travail combinant recherche de terrain et journalistique sur les pertes humaines et matérielles après des catastrophes liées à des aléas naturels pourrait constituer une base de données solide. L'analyse des événements passés permettrait également de mieux comprendre les facteurs déterminants de la vulnérabilité.

#### **6.5.2 Deuxième perspective : approfondissement et élargissement du cadre conceptuel**

La deuxième perspective concerne l'étendue du sujet et les concepts mobilisés pour de futures recherches. Cette étude s'est concentrée sur la vulnérabilité sociale ; il serait pertinent d'élargir l'analyse à la vulnérabilité dans son ensemble, ainsi qu'à la modélisation des risques associés, en combinant l'évaluation de tous ses facteurs : l'aléa, l'exposition, la vulnérabilité et les capacités existantes pour y faire face (UNDRR, 2017).

De plus, l'UNDRR (2025) souligne que « les indicateurs de risque doivent être complétés par des indicateurs de résilience ». Le concept multidimensionnel de résilience, qui décrit la capacité d'une communauté ou d'un écosystème à retrouver son fonctionnement après un choc avec un minimum de perturbations et de dommages, n'a pas été abordé dans cette étude, mais mérite d'être mentionné en raison de son lien étroit avec la vulnérabilité (Lanlan *et al.*, 2024). Ces deux concepts sont complémentaires : une augmentation de la résilience entraîne souvent une diminution de la vulnérabilité (Lanlan *et al.*, 2024). Étudier simultanément vulnérabilité et résilience permettrait donc de déterminer quelles personnes ou quelles régions sont à risque, tout en évaluant la capacité des communautés et des systèmes à s'adapter et à se rétablir après des catastrophes naturelles (Lanlan *et al.*, 2024).

Enfin, il convient de préciser à nouveau que l'analyse de l'évolution de la vulnérabilité dans ce mémoire s'est appuyée sur des visions statiques. Cependant, depuis quelques années, un concept innovant, mais encore marginal, émerge : la vulnérabilité dynamique (Limongi & Galderisi, 2021). Ce concept met en avant la nécessité de considérer la vulnérabilité comme

une fonction des dynamiques sociales et physiques, ainsi que de leurs interactions (Terti *et al.*, 2015). Dans cette perspective, la vulnérabilité ne peut être évaluée uniquement à travers des cartes statiques, car elle évolue dans le temps et dans l'espace (Terti *et al.*, 2015).

### **6.5.3      *Troisième perspective : autres zones d'étude***

Les conclusions obtenues, notamment pour les indices SoVI – OVI, ne sont valables que pour Bukavu et pour le type d'enquête réalisé. En fonction des données disponibles, il serait intéressant de réaliser un traitement et une analyse similaires dans d'autres villes d'aspects socio-économiques proches et soumises à des aléas naturels semblables, voire dans un contexte très différent. Il pourrait également être possible, si les données existent, de réaliser une étude de validation pour une zone urbaine ayant subi une catastrophe.

Enfin, il serait pertinent de prendre connaissance de cas d'utilisation réelle des cartes de vulnérabilité croisées avec les aléas et les autres facteurs du risque, pour réduire ce dernier par des mesures concrètes.

## CHAPITRE 7 • CONCLUSION

Les catastrophes liées à des aléas naturels, tels que les séismes, les glissements de terrain ou les inondations, peuvent impacter considérablement des communautés, avec des impacts matériels et humains directs ou indirects. Pour limiter les conséquences de catastrophes futures, une gestion et une réduction des risques doivent être mises en place. Des connaissances spécialisées sur ces risques doivent toutefois être développées, ce qui nécessite l'évaluation de leurs composantes, dont la vulnérabilité.

À Bukavu, une des villes les plus peuplées de la RDC, implantée sur un terrain accidenté, les résidents font face à de nombreuses catastrophes liées à des aléas sismiques, des glissements de terrain et des inondations, parfois corrélées, dans un contexte dysfonctionnel d'urbanisation, de fragilité socio-économique et de désordre politique.

Dans ce cadre, une évaluation cartographique de la vulnérabilité, plus particulièrement de la vulnérabilité sociale, face aux aléas naturels de la ville a été formulée. Dans un contexte marqué par une faible disponibilité en données fiables, cette évaluation a été permise grâce à une collecte de données, en quantité et qualité, par le biais d'une enquête de terrain organisée en 2018 auprès de plus de 2 000 ménages et 13 000 personnes résidentes à Bukavu suivant un échantillonnage par zones. Outre l'évaluation de la vulnérabilité sociale par traitement des données de 2018, une analyse comparative avec les résultats obtenus avec des données obtenues en 2014 via une enquête similaire a été effectuée afin de détecter d'éventuelles évolutions ou tendances. Cette analyse temporelle a été complétée par une comparaison de deux méthodes d'évaluation de vulnérabilité sociale à travers deux indices : SoVI (Social Vulnerability Index) et OVI (Operational Vulnerability Index). Le SoVI est une méthode complexe et inductive qui nécessite un grand nombre de données et un traitement plus conséquent, tandis que l'OVI est une méthode déductive qui se concentre sur la formulation d'une unique équation simple reposant sur moins de données.

Les données de l'enquête ont tout d'abord permis une analyse descriptive de la ville au travers d'une série d'indicateurs démographiques, socio-économiques et de perception des risques. Cette analyse a parfois été complétée par une comparaison avec certains de ces indicateurs issus des données de 2014. Globalement, et sans surprise, ces indicateurs confirment que la ville de Bukavu est caractérisée par des contrastes socio-économiques marqués.

Ensuite, les résultats issus de l'évaluation de la vulnérabilité sociale de la ville en 2018 ont permis d'identifier spatialement les zones les plus et les moins vulnérables. À l'analyse, la ville



présente un degré de vulnérabilité sociale croissant en partant des quartiers du nord-est de la ville, quartiers historiques et centraux, vers les quartiers plus ruraux et périphériques de la ville, avec localement des nuances (comme aux abords de la rivière Rusizi, située à l'est et identifiée comme de forte vulnérabilité par le seul indice SoVI). Temporellement, les évolutions de vulnérabilité sociale entre 2014 et 2018 semblent se caractériser par un accroissement de celle-ci dans les zones les plus vulnérables et une amélioration dans les zones les moins vulnérables. Les résultats obtenus avec les deux méthodes distinctes d'évaluation, une plus complexe et inductive (SoVI) et l'autre à valeur plus opérationnelle et plus simple (OVI), ont confirmé ces constats.

Ces résultats n'ont toutefois pas été strictement validés et reposent sur des données d'enquête intrinsèquement incertaines qui ont été agrégées et donc peuvent présenter des incohérences ou anomalies, en particulier pour les comparaisons entre 2014 et 2018. Cependant, de manière globale, des échanges sur les résultats avec un expert local ainsi que les comparaisons intertemporelle et inter-méthodes cohérentes permettent de les conforter dans leurs principales conclusions.

Au vu des résultats obtenus dans le cadre de ce mémoire et de ses limites géographiques et temporelles, on peut soutenir qu'aucun des deux indices de vulnérabilité sociale établis (SoVI et OVI) ne peut se prévaloir de l'autre au vu des résultats similaires obtenus. SoVI a cependant identifié localement des quartiers plus vulnérables sans pouvoir en valider la pertinence de manière formelle. Néanmoins, au vu de la cohérence relative dans les grandes tendances, la méthodologie plus simple proposée par l'OVI pourrait suffire dans le cas d'une nouvelle enquête de terrain à Bukavu.

De manière plus générale cette fois, les résultats pertinents soulignent l'intérêt de développer de recherches sur la vulnérabilité, la résilience et les risques et ouvrent donc de nouvelles perspectives pour des améliorations et de nouvelles recherches. Comme le montre ce présent travail, cette vulnérabilité sociale doit tenir compte de variables variées qui englobent des facteurs objectifs et subjectifs, obtenus en sondant des résidents et experts locaux.

Dans un monde où certains aléas naturels s'intensifient avec le changement climatique, où la pression démographique reste importante et où l'insécurité politique et humanitaire est croissante dans certaines régions, il est nécessaire de disposer de cartographies réalistes de la vulnérabilité et du risque de catastrophes liées à ces aléas. Ces cartographies doivent permettre aux responsables politiques de mener des actions cohérentes pour réduire les

risques et atténuer les impacts. Elles peuvent aussi contribuer à la sensibilisation des habitants eux-mêmes à leur propre vulnérabilité et donc, mieux appréhender leur culture du risque.

# BIBLIOGRAPHIE

## Références bibliographiques

- Aganze Marhegane, B., Akonkwa Ndagano, E., Aksanti Ntasima, H., Bubala Winlondja, I., & Byombuka, S. (2022). Défis de la planification urbaine dans la ville de Bukavu. *IOSR Journal of Humanities and Social Science (IOSR-JHSS)*, 27(9, Série 6), 53–63. <https://www.iosrjournals.org/iosr-jhss/papers/Vol.27-Issue9/Ser-6/H2709065363.pdf>. Consulté le 21 juillet 2025.
- Aitsi-Selmi, A., Murray, V., Wannous, C., Dickinson, C., Johnston, D., Kawasaki, A., Stevance, A.-S., & Yeung, T. (2016). Reflections on a Science and Technology Agenda for 21st Century Disaster Risk Reduction: Based on the Scientific Content of the 2016 UNISDR Science and Technology Conference on the Implementation of the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030. *International Journal of Disaster Risk Science*, 7(1), 1-29. <https://doi.org/10.1007/s13753-016-0081-x>
- Ansoms, A. & Marivoet, W. (2010). Profil socio-économique du Sud-Kivu et futures pistes de recherche. In Marysse S., Reyntjens F. et Vandeginste S. (eds), *L'Afrique des Grands Lacs : Annuaire 2009-2010*. Paris : L'Harmattan, 259-271. <https://medialibrary.uantwerpen.be/oldcontent/container2143/files/Publications/Annuaire/2009-2010/12-Ansoms-Marivoet.pdf>. Consulté le 8 juillet 2025.
- Apotsos, A. (2019). Mapping relative social vulnerability in six mostly urban municipalities in South Africa. *Applied Geography*, 105, 86-101. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.02.012>
- Armaş, I., & Gavriş, A. (2013). Social vulnerability assessment using spatial multi-criteria analysis (SEVI model) and the Social Vulnerability Index (SoVI model) – a case study for Bucharest, Romania. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(6), 1481-1499. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-1481-2013>
- Balegamire, C., Michellier, C., Muhigwa, J. B., Delvaux, D., Imani, G., & Dewitte, O. (2017). *Vulnérabilité du bâti face aux glissements de terrain : Analyse spatio-temporelle à Bukavu (RD Congo)*. *Geo-Eco-Trop*, 41(2), 263–278. [https://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub\\_412\\_08.pdf](https://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_412_08.pdf). Consulté le 17 juillet 2025.
- Banque mondiale. (2025). *Fiche d'information : actualisation des seuils mondiaux de pauvreté en juin 2025*. Groupe de la Banque mondiale. <https://www.banquemondiale.org/fr/news/factsheet/2025/06/05/june-2025-update-to-global-poverty-lines>. Consulté le 19 juillet 2025.
- Birkmann, J. (ed.). (2006). *Measuring vulnerability to natural hazards : Towards disaster resilient societies*. Tokyo & New York : United Nations University, 524 p. <https://digitallibrary.un.org/record/587074?v=pdf>. Consulté le 19 juillet 2025.
- Birkmann, J., Cardona, O. D., Carreño, M. L., Barbat, A. H., Pelling, M., Schneiderbauer, S., Kienberger, S., Keiler, M., Alexander, D., Zeil, P., & Welle, T. (2013). Framing vulnerability, risk and societal responses : The MOVE framework. *Natural Hazards*, 67(2), 193-211. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0558-5>
- Bisoka, A.N., Mudinga, M., & De Herdt, T. (2021). Bukavu : étude exploratoire sur la ville. *African Cities Research Consortium*. [https://www.african-cities.org/wp-content/uploads/2021/11/ACRC\\_Bukavu-City-Scoping-Study\\_FR.pdf](https://www.african-cities.org/wp-content/uploads/2021/11/ACRC_Bukavu-City-Scoping-Study_FR.pdf). Consulté le 22 juillet 2025.
- Blackwood, L., & Cutter, S. L. (2023). The application of the Social Vulnerability Index (SoVI) for geo-targeting of post-disaster recovery resources. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 92, 103722. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103722>
- Bouaakkaz, B., El Morjani, Z. E. A., & Bouchaou, L. (2023). Social vulnerability assessment to flood hazard in Souss basin, Morocco. *Journal of African Earth Sciences*, 198, 104774. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2022.104774>

- Bouayad Agha, S., & de Bellefon, M.-P. (2018). Indices d'autocorrélation spatiale. In Insee & Eurostat, *Manuel d'analyse spatiale*, 131. Institut national de la statistique et des études économiques, 53-70. <https://www.insee.fr/fr/information/3635442>. Consulté le 16 juillet 2025.
- Bronfman, N. C., Repetto, P. B., Guerrero, N., Castañeda, J. V., & Cisternas, P. C. (2021). Temporal evolution in social vulnerability to natural hazards in Chile. *Natural Hazards*, 107(2), 1757-1784. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04657-1>
- Brooks, N. (2003). *Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework*. Norwich : Tyndall Centre for Climate Change Research, Working Paper 38, 16 p. [https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.ipcc.ch/app/njlite/srex/njlite\\_download.php%3Ffid%3D5463&ved=2ahUKEwiEoOqHuluPAXUAMfsDHa\\_3M-EMQFnoECBgQAQ&usg=AOvVaw2sU562SueUGEgllXUhgYdm](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.ipcc.ch/app/njlite/srex/njlite_download.php%3Ffid%3D5463&ved=2ahUKEwiEoOqHuluPAXUAMfsDHa_3M-EMQFnoECBgQAQ&usg=AOvVaw2sU562SueUGEgllXUhgYdm). Consulté le 17 mai 2025.
- Bunduki, K., Mushayuma, N., Tambala, T., Materanya, C., & Matembera, B. (2015). Cartographie des sites sinistrés par les glissements de terrain du 17 au 26/01/2014 dans le bassin du Lac Kivu à Bukavu, Sud-Kivu, RD Congo. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 14(2). <https://ijisr.issr-journals.org/abstract.php?article=IJISR-14-360-02>. Consulté le 18 juillet 2025.
- Burton, C., Rufat, S., & Tate, E. (2018). Social vulnerability: Conceptual Foundations and Geospatial Modeling. In S. Fuchs & T. Thaler (eds), *Vulnerability and resilience to natural hazards*. Cambridge & new York : Cambridge University Press, 55-81. [https://hal.science/hal-02001407/file/Social\\_Vulnerability\\_2018\\_Conceptual\\_Foundations\\_Geospatial\\_Modeling.pdf](https://hal.science/hal-02001407/file/Social_Vulnerability_2018_Conceptual_Foundations_Geospatial_Modeling.pdf). Consulté le 20 juillet 2025.
- Cannon, T. (2008). *Reducing People's Vulnerability to Natural Hazards*. Research Paper 2008/034. Helsinki : UNU-WIDER. <https://www.wider.unu.edu/sites/default/files/rp2008-34.pdf>. Consulté le 3 juillet 2025.
- Cannon, T. (2022). What must be done to rescue the concept of vulnerability? In Bankoff G. & Hilhorst D. (eds), *Why Vulnerability Still Matters*, 1<sup>re</sup> éd. Routledge, 68-87. <https://doi.org/10.4324/9781003219453-6>
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. 2025. *International disaster database*. EM-DAT. <https://www.emdat.be/>. Consulté le 4 mai 2025.
- Chamaa, S., & Ndagiriyehe, A. (1981). Évolution et structure de la population de Bukavu. *Les cahiers d'outre-mer*, 34(133), 43-56. <https://doi.org/10.3406/caoum.1981.2969>
- Cutter, S. L. (1996). Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*, 20(4), 529-539. <https://doi.org/10.1177/030913259602000407>
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2), 242-261. <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>
- d'Oreye, N., González, P. J., Shuler, A., Oth, A., Bagalwa, L., Ekström, G., Kavotha, D., Kervyn, F., Lucas, C., Lukaya, F., Osodundu, E., Wauthier, C., & Fernández, J. (2011). Source parameters of the 2008 Bukavu-Cyangugu earthquake estimated from InSAR and teleseismic data. *Geophysical Journal International*, 184(2), 934-948. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04899.x>
- de Assis Dias, M. C. D., Saito, S. M., Alvalá, R. C. D. S., Seluchi, M. E., Bernardes, T., Camarinha, P. I. M., Stenner, C., & Nobre, C. A. (2020). Vulnerability index related to populations at-risk for landslides in the Brazilian Early Warning System (BEWS). *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 49, 101742. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101742>
- de Loyola Hummell, B. M., Cutter, S. L., & Emrich, C. T. (2016). Social Vulnerability to Natural Hazards in Brazil. *International Journal of Disaster Risk Science*, 7(2), 111-122. <https://doi.org/10.1007/s13753-016-0090-9>
- Di Ruocco, A., Gasparini, P., & Weets, G. (2015). Urbanisation and Climate Change in Africa : Setting the Scene. In S. Pauleit, A. Coly, S. Fohlmeister, P. Gasparini, G. Jørgensen, S. Kabisch, W. J. Kombe, S. Lindley, I. Simonis, & K. Yeshitela (eds), *Urban Vulnerability and Climate Change in Africa*, 4. Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, & London : Springer International Publishing 1-35. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-03982-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-03982-4_1)
- Dille, A., Dewitte, O., Handwerker, A. L., d'Oreye, N., Derauw, D., Ganza Bamulezi, G., Ilombe Mawe, G., Michellier, C., Moeyersons, J., Monsieurs, E., Mugaruka Bibentyo, T., Samsonov, S., Smets,

- B., Kervyn, M., & Kervyn, F. (2022). Acceleration of a large deep-seated tropical landslide due to urbanization feedbacks. *Nature Geoscience*, 15(12), 1048-1055. <https://doi.org/10.1038/s41561-022-01073-3>
- Fatemi, F., Ardalan, A., Aguirre, B., Mansouri, N., & Mohammadfam, I. (2017). Social vulnerability indicators in disasters: Findings from a systematic review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 22, 219-227. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2016.09.006>
- Fekete, A. (2009). Validation of a social vulnerability index in context to river-floods in Germany. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 393-403. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-393-2009>
- Fekete, A. (2019). Social Vulnerability (Re-)Assessment in Context to Natural Hazards : Review of the Usefulness of the Spatial Indicator Approach and Investigations of Validation Demands. *International Journal of Disaster Risk Science*, 10(2), 220-232. <https://doi.org/10.1007/s13753-019-0213-1>
- Flanagan, B. E., Gregory, E. W., Hallisey, E. J., Heitgerd, J. L., & Lewis, B. (2011). A Social Vulnerability Index for Disaster Management. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 8(1). <https://doi.org/10.2202/1547-7355.1792>
- Gall, M. (2007). *Indices of social vulnerability to natural hazards: a comparative evaluation*. Thèse de doctorat, South Carolina, University of South Carolina, inédit, 231 p. [https://www.researchgate.net/publication/324822909\\_Indices\\_of\\_social\\_vulnerability\\_to\\_natural\\_hazards\\_A\\_comparative\\_evaluation](https://www.researchgate.net/publication/324822909_Indices_of_social_vulnerability_to_natural_hazards_A_comparative_evaluation). Consulté le 19 juin 2025.
- Hinkel, J. (2011). "Indicators of vulnerability and adaptive capacity": Towards a clarification of the science-policy interface. *Global Environmental Change*, 21(1), 198-208. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.08.002>
- Holand, I. S., Lujala, P., & Rød, J. K. (2011). Social vulnerability assessment for Norway: A quantitative approach. *Norwegian Journal of Geography*, 65(1), 1-17. <https://doi.org/10.1080/00291951.2010.550167>
- Hutcheson, G. D. (1999). *The Multivariate Social Scientist*. SAGE Publications. <https://doi.org/10.4135/9780857028075>
- Idukunda, C., Michellier, C., De Longueville, F., Twarabamenye, E., & Henry, S. (2025). Assessing community vulnerability to landslide and flood in northwestern Rwanda. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 123, 105329. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2025.105329>
- Jacobs, C., Ruhanya Mugenzi, J., Lubala Kubiha, S., & Assumani, I. (2019). Towards becoming a property owner in the city : From being displaced to becoming a citizen in urban DR Congo. *Land Use Policy*, 85, 350-356. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.04.009>
- Jolliffe, I. T. (2002). Principal Component Analysis and Factor Analysis. *In Principal Component Analysis. Springer Series in Statistics*. 2<sup>e</sup> éd. New York : Springer, 150-166. [https://doi.org/10.1007/0-387-22440-8\\_7](https://doi.org/10.1007/0-387-22440-8_7)
- Kalikone, C. B., Teganyi, F., Dewitte, O., & Michellier, C. (2017). Impact des déformations du sol sur la vulnérabilité des réseaux de distribution d'eau et d'électricité à Bukavu (RD Congo). *Geo-Eco-Trop*, 41(2), 279-292. [https://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub\\_412\\_09.pdf](https://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_412_09.pdf). Consulté le 21 juillet 2025.
- Kienberger, S. (2012). Spatial modelling of social and economic vulnerability to floods at the district level in Búzi, Mozambique. *Natural Hazards*, 64(3), 2001-2019. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0174-9>
- Lanlan, J., Sarker, M. N. I., Ali, I., Firdaus, R. B. R., & Hossin, M. A. (2024). Vulnerability and resilience in the context of natural hazards: A critical conceptual analysis. *Environment, Development and Sustainability*, 26(8), 19069-19092. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03440-5>
- Lawal, O., & Arokoyu, S. B. (2015). Modelling social vulnerability in sub-Saharan West Africa using a geographical information system. *Jàmá: Journal of Disaster Risk Studies*, 7(1), 11 p. <https://doi.org/10.4102/jamba.v7i1.155>
- Léone, F., Meschinot de Richemond, N. & Vinet, F. (2021). *Aléas naturels et gestion des risques*. Paris : Presses Universitaires de France, 288 p. <https://hal.science/hal->

- [03279213/file/Aleas\\_Naturels\\_Et\\_Gestion\\_Des\\_Risques\\_2010\\_PUF\\_Leone\\_Vinet\\_MeschinetDeRichemond\\_Complet\\_leger.pdf](#). Consulté le 17 mai 2025.
- Lesouëf, B., Hénaff, A. & Marie, G. (2023). La pertinence des indices de vulnérabilité aux aléas naturels pour les gestionnaires : une approche mixte de la revue de littérature. *VertigO*, 23(3). <https://id.erudit.org/iderudit/1113483ar>. Consulté le 2 août 2025.
- Limongi, G., & Galderisi, A. (2021). Twenty years of European and international research on vulnerability : A multi-faceted concept for better dealing with evolving risk landscapes. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 63, 102451. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102451>
- Liverman, D., Moran E. F., Rindfuss R. R., & Stern P. C. (eds) (1998). *People and pixels : linking remote sensing and social science*. Washington D.C. : National Academy Press, 244 p. [Non lu]
- Maharani, Y. N., Lee, S., & Ki, S. J. (2016). Social vulnerability at a local level around the Merapi volcano. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 20, 63-77. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2016.10.012>
- Maki Mateso, J.-C., & Dewitte, O. (2014). Vers un inventaire des glissements de terrain et des éléments à risque sur les versants du Rift à l'ouest du lac Kivu (RDC). *Geo-Eco-Trop*, 38(1), 137–154. [https://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub\\_381\\_13.pdf](https://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_381_13.pdf). Consulté le 7 juillet 2025.
- Marivoet, W., De Herdt, T., & Ulimwengu, J. (2019). *Reviewing DRC's poverty estimates, 2005–2012: Unprecedented GDP growth without trickle down* (Report No. 73). Secure Livelihoods Research Consortium. [https://securelivelihoods.org/wp-content/uploads/SLRC\\_Poverty-estimates-trickle-down-final-online-1.pdf](https://securelivelihoods.org/wp-content/uploads/SLRC_Poverty-estimates-trickle-down-final-online-1.pdf). Consulté le 22 juillet 2025.
- Mavhura, E., Manyena, B., & Collins, A. E. (2017). An approach for measuring social vulnerability in context: The case of flood hazards in Muzarabani district, Zimbabwe. *Geoforum*, 86, 103-117. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.09.008>
- Mesta, C., Cremen, G., & Galasso, C. (2022). Urban growth modelling and social vulnerability assessment for a hazardous Kathmandu Valley. *Scientific Reports*, 12(1), 6152. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09347-x>
- Michellier, C. (2017). *Contribuer à la prévention des risques d'origine géologique : l'évaluation de la vulnérabilité des populations dans un contexte de rareté de données. Les cas de Goma et Bukavu (RDCongo)*. Thèse de doctorat, Bruxelles, Université Libre de Bruxelles et Vrije Universiteit Brussel, inédit, 331 p.
- Michellier, C., Kervyn, M., Barette, F., Muhindo Syavulisembo, A., Kimanuka, C., Kulimushi Mataboro, S., Hage, F., Wolff, E., & Kervyn, F. (2020b). Evaluating population vulnerability to volcanic risk in a data scarcity context : The case of Goma city, Virunga volcanic province (DR Congo). *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 45, 101460. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101460>
- Michellier, C., Kulimushi, S., & Kadekere, I. (s.d.). *Enquête démographique à Bukavu* [Présentation non publiée]. GeoRisCA, Musée Royal de l'Afrique Centrale.
- Michellier, C., Pigeon, P., Kervyn, F., & Wolff, E. (2016). Contextualizing vulnerability assessment: A support to geo-risk management in central Africa. *Natural Hazards*, 82(S1), 27-42. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2295-z>
- Michellier, C., Pigeon, P., Paillet, A., Trefon, T., Dewitte, O., & Kervyn, F. (2020a). The Challenging Place of Natural Hazards in Disakshater Risk Reduction Conceptual Models : Insights from Central Africa and the European Alps. *International Journal of Disaster Risk Science*, 11(3), 316-332. <https://doi.org/10.1007/s13753-020-00273-y>
- Moeyersons, J., Tréfois, Ph., Lavreau, J., Alimasi, D., Badriyo, I., Mitima, B., Mundala, M., Munganga, D. O., & Nahimana, L. (2004). A geomorphological assessment of landslide origin at Bukavu, Democratic Republic of the Congo. *Engineering Geology*, 72(1-2), 73-87. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2003.06.003>
- Mugaruka, B. T., Kulimushi, M. S., Muhindo, S. W., & Dewitte, O. (2017). Glissement de terrain de Nyakavogo (Bukavu, RD Congo) : Interaction entre facteurs naturels et anthropiques / Anatomy of Nyakavogo landslide (Bukavu, DR Congo): Interplay between natural and anthropogenic



- factors. *Geo-Eco-Trop*, 41(2), 249–262.  
[https://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub\\_412\\_07.pdf](https://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_412_07.pdf). Consulté le 3 juillet 2025.
- Muhaya, V. N., Chuma, G. B., Kavimba, J. K., Cirezi, N. C., Mugumaarhahama, Y., Fadiala, R. M., Kanene, C. M., Kabasele, A. Y.-Y., Mushagalusa, G. N., & Karume, K. (2022). Uncontrolled urbanization and expected unclogging of Congolese cities : Case of Bukavu city, Eastern DR Congo. *Environmental Challenges*, 8, 100555. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100555>
- Ndyanabo, S., Vandecasteele, I., Moeyersons, J., Ozer, A., Ozer, P., Dunia, K., & Cishugi, B. (2010). Développement de la ville de Bukavu et cartographie des vulnérabilités, R.D. Congo. *Annales Scientifiques, Sciences Appliquées, Université Officielle de Bukavu*, 2, 120-127.  
[https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/82774/1/Bukavu\\_Sadikietal2010.pdf](https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/82774/1/Bukavu_Sadikietal2010.pdf). Consulté le 13 juillet 2025.
- Ozturk, U., Bozzolan, E., Holcombe, E. A., Shukla, R., Pianosi, F., & Wagener, T. (2022). How climate change and unplanned urban sprawl bring more landslides. *Nature*, 608(7922), 262-265.  
<https://doi.org/10.1038/d41586-022-02141-9>
- Painter, M. A., Shah, S. H., Damestois, G. C., Khalid, F., Prudencio, W., Chisty, M. A., Tormos-Aponte, F., & Wilhelmi, O. (2024). A systematic scoping review of the Social Vulnerability Index as applied to natural hazards. *Natural Hazards*, 120(8), 7265-7356. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06378-z>
- Qi, S., Hu, S., & Cao, S. (2024). Spatial and temporal changes of social vulnerability of cities to natural hazards in Zhejiang province, China. *Heliyon*, 10(6), e27120.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27120>
- Rédaction RTBF & AFP (2025). *Est de la RDC : Bukavu plongée dans la confusion après l'entrée du M23*. RTBF. <https://www.rtbf.be/article/est-de-la-rdc-bukavu-plongee-dans-la-confusion-apres-l-entree-du-m23-11504674>. Consulté le 2 août 2025.
- Rentschler, J., Avner, P., Marconcini, M., Su, R., Strano, E., Voudoukas, M., & Hallegatte, S. (2023). Global evidence of rapid urban growth in flood zones since 1985. *Nature*, 622(7981), 87-92.  
<https://doi.org/10.1038/s41586-023-06468-9>
- RFI. (2023). *RDC : inondations meurtrières à Bukavu et dans la région du Sud-Kivu*. France Médias Monde. <https://www.rfi.fr/fr/afrique/20231228-rdc-inondations-meurtri%C3%A8res-%C3%A0-bukavu-et-dans-la-r%C3%A9gion-du-sud-kivu>. Consulté le 30 juillet 2025.
- Roncancio, D. J., & Nardocci, A. C. (2016). Social vulnerability to natural hazards in São Paulo, Brazil. *Natural Hazards*, 84(2), 1367-1383. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2491-x>
- Royal Museum for Central Africa. (2018). *Le projet GeoKivu*. GeoKivu.  
<https://geokivu.africamuseum.be/>. Consulté le 19 juillet 2025.
- Rufat, S., Tate, E., Burton, C. G., & Maroof, A. S. (2015). Social vulnerability to floods : Review of case studies and implications for measurement. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14(4), 470-486. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2015.09.013>
- Rufat, S., Tate, E., Emrich, C. T., & Antolini, F. (2019). How Valid Are Social Vulnerability Models? *Annals of the American Association of Geographers*, 109(4), 1131-1153.  
<https://doi.org/10.1080/24694452.2018.1535887>
- Schmidtlein, M. C., Deutsch, R. C., Piegorsch, W. W., & Cutter, S. L. (2008). A Sensitivity Analysis of the Social Vulnerability Index. *Risk Analysis*, 28(4), 1099-1114. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01072.x>
- Schneiderbauer, S., & Ehrlich, D. (2004). *Risk, Hazard and People's Vulnerability to Natural Hazards: a Review of Definitions, Concepts and Data*. Publications Office, 40 p.  
[https://www.researchgate.net/publication/268149143\\_Risk\\_Hazard\\_and\\_People%27s\\_Vulnerability\\_to\\_Natural\\_Hazards\\_a\\_Review\\_of\\_Definitions\\_Concepts\\_and\\_Data](https://www.researchgate.net/publication/268149143_Risk_Hazard_and_People%27s_Vulnerability_to_Natural_Hazards_a_Review_of_Definitions_Concepts_and_Data). Consulté le 20 juillet 2025.
- Siagian, T. H., Purhadi, P., Suhartono, S., & Ritonga, H. (2014). Social vulnerability to natural hazards in Indonesia : driving factors and policy implications. *Natural Hazards*, 70(2), 1603-1617.  
<https://doi.org/10.1007/s11069-013-0888-3>
- Solangaarachchi, D., Griffin, A. L., & Doherty, M. D. (2012). Social vulnerability in the context of bushfire risk at the urban-bush interface in Sydney : A case study of the Blue Mountains and Ku-



- ring-gai local council areas. *Natural Hazards*, 64(2), 1873-1898. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0334-y>
- Tate, E. (2012). Social vulnerability indices: a comparative assessment using uncertainty and sensitivity analysis. *Natural Hazards*, 63(1), 325-347. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0152-2>
- Terti, G., Ruin, I., Anquetin, S., & Gourley, J. J. (2015). Dynamic vulnerability factors for impact-based flash flood prediction. *Natural Hazards*, 79(3), 1481-1497. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1910-8>
- Tran, H., Nguyen, Q., & Kervyn, M. (2017). Household social vulnerability to natural hazards in the coastal Tran Van Thoi District, Ca Mau Province, Mekong Delta, Vietnam. *Journal of Coastal Conservation*, 21(4), 489-503. <https://doi.org/10.1007/s11852-017-0522-8>
- UNDRRO. (1980). *Natural disasters and vulnerability analysis: report of Expert Group Meeting, 9-12 July 1979*. Geneva : United Nations, 48 p. <https://digitallibrary.un.org/record/95986?v=pdf>. Consulté le 18 mai 2025.
- UNDRR. (2017). *The Sendai Framework Terminology on Disaster Risk Reduction : « Vulnerability », « Exposure », « Hazard » & « Disaster risk »*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. <https://www.undrr.org/drr-glossary/terminology>. Consulté le 19 juillet 2025.
- UNDRR. (2025). *Rapport d'évaluation mondiale sur la réduction des risques de catastrophes 2025 : La résilience, un investissement d'avenir. Synthèse à l'attention des décideurs politiques*. Genève : United Nations, 20 p. <https://www.undrr.org/media/107861>. Consulté le 26 juillet 2025.
- UNISDR. (2015). *Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030*. Genève : UNISDR, 40 p. [https://www.unisdr.org/files/43291\\_frenchsendaiframeworkfordisasterris.pdf](https://www.unisdr.org/files/43291_frenchsendaiframeworkfordisasterris.pdf). Consulté le 19 juillet 2025.
- Van Manen, S. M. (2014). Hazard and risk perception at Turrialba volcano (Costa Rica); implications for disaster risk management. *Applied Geography*, 50, 63-73. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.02.004>
- Van Overbeek, F. (2020). *Shaping claims to urban land: An ethnographic guide to governmentality in Bukavu's hybrid space*. Doctoral dissertation, Wageningen University 541 p.. <https://doi.org/10.18174/522553>
- Vincent, K. (2004). *Creating an index of social vulnerability to climate change for Africa* (Working Paper No. 56). Tyndall Centre for Climate Change Research, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, 51 p. [https://www.researchgate.net/publication/228809913\\_Creating\\_an\\_Index\\_of\\_Social\\_Vulnerability\\_to\\_Climate\\_Change\\_in\\_Africa](https://www.researchgate.net/publication/228809913_Creating_an_Index_of_Social_Vulnerability_to_Climate_Change_in_Africa). Consulté le 20 juin 2025.
- Wisner, B., & College, O. (2016). Vulnerability as Concept, Model, Metric, and Tool. *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science*, 51 p. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.25>
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T. & Davis, I. (2004). *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. 2<sup>e</sup> éd. London : Routledge, 496 p. <https://doi.org/10.4324/9780203714775>
- Yoon, D. K. (2012). Assessment of social vulnerability to natural disasters : A comparative study. *Natural Hazards*, 63(2), 823-843. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0189-2>
- Zwick, W. R., & Velicer, W. E. (1986). Comparison of five rules for determining the number of components to retain. *Psychological Bulletin*, 99(3), 432-442. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.99.3.432>

## Ressources cartographiques

- ESRI. (2025). *Terrain basemap* [Carte topographique numérique].
- European Union & European Space Agency. (2020). *Copernicus DEM GLO-30* [Modèle numérique d'élévation]. <https://doi.org/10.5270/ESA-c5d3d65>
- Google. (2025). *Google Satellite* [Image satellite].
- Institut Supérieur Pédagogique de Bukavu Bukavu. (2018). *Données géographiques et administratives* [Données SIG].
- Natural Earth. (2025). *Cultural and physical large scale data* [Données SIG]. <https://www.naturalearthdata.com/downloads/>. Consulté le 2 juin 2025.
- Référentiel Géographique Commun. (2015). *Données administratives : provinces* [Données SIG]. [https://www.rgc.cd/index.php?option=com\\_content&view=category&id=41&Itemid=183](https://www.rgc.cd/index.php?option=com_content&view=category&id=41&Itemid=183). Consulté le 2 juin 2025.
- Royal Museum for Central Africa. (2018). *Enquêtes GeoKivu démographique et socio-économique de terrain* [Données SIG].
- Royal Museum for Central Africa. (2014). *Enquêtes GeoRisCA démographique et socio-économique de terrain* [Données SIG].

## ANNEXES

Annexe 1 : Questionnaire d'enquête de terrain en 2018 • Mission GeoKivu .....	128
Annexe 2 : Questionnaire d'enquête de terrain en 2014 • Mission GeoRisCA.....	140
Annexe 3 : Méthodologie de délimitation de ZM et ZE .....	143
Annexe 4 : Cartographie des ZM de 2018 sur un fond satellite.....	144
Annexe 5 : Tableau de fréquences des entités de ZM de 2018, comparées à celles de 2014 .....	145
Annexe 6 : Traitements résumés pour l'obtention de données pour les informations démographiques et socio-économiques .....	146
Annexe 7 : Variables déterminées sur base de la collecte de données socio-économiques de 2018	147
Annexe 8 : Logiques de calcul des variables dérivées à partir des données d'enquête.....	148
Annexe 9 : Informations démographiques par quartiers et communes .....	149
Annexe 10 : Résultats supplémentaires sur les caractéristiques socio-économiques de la population de Bukavu .....	150
Annexe 11 : Cartographies des scores de CP par ZM .....	155
Annexe 12 : Cartographies thématiques des indices SoVI et OVI à Bukavu pour 2014 .....	156
Annexe 13 : Tableau récapitulatif des valeurs des indices SoVI et OVI par zone morphologique selon le type de standardisation/normalisation.....	161
Annexe 14 : Visualisation des méthodes de voisinage et scores bruts par îlot – Analyse autocorrélation spatiale des indices SoVI et OVI de 2018.....	162
Annexe 15 : Résultats complémentaires de l'autocorrélation spatiale (indices de Moran) sur les indices SoVI et OVI de 2018 .....	163
Annexe 16 : Résultats du SoVI 2018 selon un choix différent d'influence pour la CP 6.....	165

Annexe 1 : Questionnaire d'enquête de terrain en 2018 • Mission GeoKivu

BKV-Form-1_	BKV-Form-1_
<p><b>BKV-Form-1_</b></p> <p><b>DATE ET HEURE DE DEBUT D'ENQUÊTE</b></p> <p>yyyy-mm-dd      hh:mm</p> <p><b>NOM ET PRENOM DE LA PERSONNE ENQUETEE :</b></p> <p>_____</p> <p><b>PARENTÉ AU CHEF DE MÉNAGE</b></p> <p><input type="radio"/> Chef de ménage</p> <p><input type="radio"/> Conjoint(e)</p> <p><input type="radio"/> Enfant du chef de ménage et/ou de son conjoint(e)</p> <p><input type="radio"/> Parent du chef de ménage ou de son conjoint(e)</p> <p><input type="radio"/> Autre personne apparentée</p> <p><input type="radio"/> Domestique</p> <p><input type="radio"/> Autre personne sans lien de parenté</p> <p><b>A - DONNEES GEOGRAPHIQUES ET D'IDENTIFICATION DU MENAGE</b></p> <p><b>COMMUNE</b></p> <p><input type="radio"/> Kadutu</p> <p><input type="radio"/> Bagira</p> <p><input type="radio"/> Ibanda</p> <p><b>QUARTIER</b></p> <p><b>ILOT</b></p> <p><b>NUMERO DU MENAGE</b></p> <p><i>Selon le relevé parcellaire (numéro pré-imprimé)</i></p> <p>_____</p> <p><b>NUMERO DE LA PARCELLE:</b></p> <p><i>Selon le relevé parcellaire (colonne "Parc")</i></p> <p>_____</p> <p><b>NOMBRE DE MENAGE(S) DANS LA PARCELLE :</b></p> <p>_____</p>	<p><b>QUELLE EST LA TAILLE DE VOTRE MENAGE?</b></p> <p>_____</p> <p><b>FORMULAIRE "INDIVIDUS"</b></p> <p><b>» B - CARACTERISTIQUES DE L'INDIVIDU</b></p> <p><b>* B1 - NUMERO DE L'INDIVIDU</b></p> <p>_____</p> <p><b>* B2 - QUEL EST VOTRE LIEN DE PARENTE AVEC LE CHEF DE MENAGE?</b></p> <p><input type="radio"/> Chef de ménage</p> <p><input type="radio"/> Conjoint(e)</p> <p><input type="radio"/> Enfant du chef de ménage ou de son conjoint(e)</p> <p><input type="radio"/> Parent du chef de ménage ou de son conjoint(e)</p> <p><input type="radio"/> Autre personne apparentée</p> <p><input type="radio"/> Domestique</p> <p><input type="radio"/> Autre personnes sans lien de parenté</p> <p><b>* B3 - SEXE</b></p> <p><input type="radio"/> Homme</p> <p><input type="radio"/> Femme</p> <p><b>* B4 - QUELLE EST VOTRE SITUATION DE RESIDENCE?</b></p> <p><input type="radio"/> Résident présent</p> <p><input type="radio"/> Résident absent</p> <p><input type="radio"/> Visiteur</p> <p><b>* B5 - QUELLE EST VOTRE SITUATION MATRIMONIALE?</b></p> <p><input type="radio"/> Célibataire</p> <p><input type="radio"/> Mariage coutumier/religieux/état civil</p> <p><input type="radio"/> Mariage coutumier</p> <p><input type="radio"/> Mariage religieux</p> <p><input type="radio"/> Mariage civil</p> <p><input type="radio"/> Veuf/veuve</p> <p><input type="radio"/> Divorcé(e)</p> <p><input type="radio"/> Séparé(e)</p> <p><input type="radio"/> Union libre</p>

BKV-Form-1_ <a href="https://ee.kobotoolbox.org/preview?form=https://kf.kobotoolbox.org/as">https://ee.kobotoolbox.org/preview?form=https://kf.kobotoolbox.org/as</a>	BKV-Form-1_ <a href="https://ee.kobotoolbox.org/preview?form=https://kf.kobotoolbox.org/as">https://ee.kobotoolbox.org/preview?form=https://kf.kobotoolbox.org/as</a>
<p><b>* B6 - QUELLE EST VOTRE DATE DE NAISSANCE?</b></p> <p>yyyy-mm</p> <hr/>	<p><b>* B10a - QUEL EST VOTRE LIEU DE RESIDENCE ANTERIEURE?</b></p> <p><i>Indiquer le nom du lieu de résidence antérieure (quartier / ville / territoire / province / pays étranger)</i></p> <hr/>
<p><b>* B7 - ÂGE</b></p> <p><i>Indiquer l'âge révolu (indiquer 0, si moins d'1 an)</i></p> <hr/>	<p><b>B10b - QUELLE EST VOTRE DURÉE DE RÉSIDENCE ANTÉRIEURE?</b></p> <p><i>Indiquer le nombre d'années de résidence antérieure (indiquer 0 si moins d'une année)</i></p> <hr/>
<p>» ETHNIE</p> <p><b>* B18 - QUEL EST VOTRE GROUPE ETHNIQUE?</b></p> <p><input type="radio"/> Shi</p> <p><input type="radio"/> Rega</p> <p><input type="radio"/> Havu</p> <p><input type="radio"/> Tembo</p> <p><input type="radio"/> Fulliru</p> <p><input type="radio"/> Bembe</p> <p><input type="radio"/> Vira</p> <p><input type="radio"/> Banyamulenge</p> <p><input type="radio"/> Autre (Préciser)</p>	<p><b>* B10c - QUEL EST LE PRINCIPAL MOTIF DU DÉMÉNAGEMENT?</b></p> <p><input type="radio"/> Augmentation du loyer</p> <p><input type="radio"/> Eboulement/inondation</p> <p><input type="radio"/> Insécurité</p> <p><input type="radio"/> Mutation professionnelle</p> <p><input type="radio"/> Non permanence de l'électricité</p> <p><input type="radio"/> Non permanence de l'eau</p> <p><input type="radio"/> Prospérité économique</p> <p><input type="radio"/> Raison familiale</p> <p><input type="radio"/> Recherche de travail</p> <p><input type="radio"/> Réfugié</p> <p><input type="radio"/> Autre (Préciser)</p> <p><input type="radio"/> Ne sais pas</p>
<p><b>* B19 - SI AUTRE GROUPE ETHNIQUE, PRECISER</b></p> <hr/>	<p><b>* B10d - SI AUTRE MOTIF DE DEMENAGEMENT, PRECISER</b></p> <hr/>
<p>» RESIDENCE</p> <p><b>* B8 - QUEL EST VOTRE LIEU DE NAISSANCE?</b></p> <p><i>Indiquer le nom du lieu de naissance (quartier / ville / territoire / province / pays étranger)</i></p> <hr/>	<p>» SCOLARITE</p> <p><b>* B11 - Y A-T-IL EU / Y A-T-IL FRÉQUENTATION SCOLAIRE?</b></p> <p><input type="radio"/> Oui</p> <p><input type="radio"/> Non</p> <p><input type="radio"/> En cours</p>
<p><b>* B9 - QUELLE EST VOTRE DUREE DE RESIDENCE DANS CE QUARTIER?</b></p> <p><i>Indiquer le nombre d'années (indiquer 0 si moins d'une année)</i></p> <hr/>	
<p><b>* B9bis - AVEZ-VOUS TOUJOURS HABITE DANS CE QUARTIER?</b></p> <p><input type="radio"/> Oui</p> <p><input type="radio"/> Non</p>	
<p>» ==&gt; Si pas toujours habité ici, ...</p>	

BKV-Form-1\_

https://ec.kobotoolbox.org/preview/?form=https://kf.kobotoolbox.org/as...

\* B12 - INDIQUER LE NIVEAU ATTEINT OU EN COURS

Précolaire

Primaire

Secondaire

Supérieur

Universitaire

Postuniversitaire

Ne sais pas

» CROYANCE

\* B13a - ETES-VOUS CROYANT?

☐ Oui

☐ Non

☐ Ne sais pas

\* B13b - SI OUI, INDIQUER VOTRE RELIGION/VOS CROYANCES?

Adventiste

Anglican

Animiste

Brahmaniste

Catholique

Kibamguiste

Musulman

Nouvelle Eglise

Pentecotiste

Protestant

Témoin de Jehovah

Traditionnel

Autre (Préciser)

\* B13c - SI AUTRE RELIGION, PRECISER

» LANGUES

BKV-Form-1\_

https://ec.kobotoolbox.org/preview/?form=https://kf.kobotoolbox.org/as...

\* B14 - QUELLES SONT LES LANGUES PARLÉES À LA MAISON?

Plusieurs réponses possibles

☐ Français

☐ Anglais

☐ Swahili

☐ Shi

☐ Rega

☐ Havu

☐ Tembo

☐ Fuliiru

☐ Bemba

☐ Vira

☐ Lingala

☐ Kinyarwanda

☐ Autre (Préciser)

\* B14b - SI AUTRE LANGUE, PRECISER

» ACTIVITES

\* B15a - AVEZ-VOUS EU UN TRAVAIL REMUNERE AU COURS DU MOIS PASSE PENDANT AU MOINS UNE SEMAINE?

☐ Oui

☐ Non

☐ Ne sais pas

5 of 10

2/7/2019, 3:03 PM

6 of 10

2/7/2019, 3:03 PM

130

BKV-Form-1\_

https://ee.kobotoolbox.org/preview?form=https://kf.kobotoolbox.org/as...

\* B15b - QUELLE EST L'ACTIVITE PRINCIPALE QUI VOUS FAIT VIVRE?

☐ Activités de fabrication
☐ Activités extractives
☐ Administration publique
☐ Agriculture, chasse et sylviculture
☐ Autres activité de services collectifs, sociaux et personnels
☐ Commerce de détail
☐ Commerce de gros
☐ Construction
☐ Domestique
☐ Education
☐ Elève
☐ Hotels et restaurants
☐ Immobilier, location et activités de service aux entreprises
☐ Intremediation financière
☐ Organisation et Organismes extraterritoriaux.
☐ Peche
☐ Pensionné
☐ Perception d'un ou plusieurs loyer(s)
☐ Production et distribution d'électricité, de gaz, de vapeur et d'eau
☐ Réparation des véhicules automobile, de motocycles et de biens personnels et domestique
☐ Santé et action sociale
☐ Sécurité sociale
☐ Transport, entreposage et communication
☐ Autre (Préciser)
☐ Aucune

\* B15c - SI AUTRE ACTIVITE, PRECISER

» STATUT PROFESSIONNEL

\* B15d - ETES VOUS SALARIE?

☐ Oui
☐ Non

BKV-Form-1\_

https://ee.kobotoolbox.org/preview?form=https://kf.kobotoolbox.org/as...

\* B15d - SI VOUS ETES SALARIE, QUELLE EST VOTRE CATEGORIE SOCIO-PROFESSIONNELLE?

☐ Cadre de direction
☐ Cadre de collaboration
☐ Agent de Maîtrise
☐ Employé, ouvrier qualifié
☐ Employé, ouvrier semi-qualifié
☐ Manoeuvre
☐ Autre (Préciser)

\* B15dbis - SI AUTRE CATEGORIE SOCIO-PROFESSIONNELLE, PRECISER

\* B15e - SI VOUS N'ETES PAS SALARIE, QUELLE EST VOTRE CATEGORIE SOCIO-PROFESSIONNELLE?

☐ Patron
☐ Travailleur à son propre compte
☐ Autre (Préciser)

\* B15ebis - SI AUTRE CATEGORIE SOCIO-PROFESSIONNELLE, PRECISER

\* B15f - TENEZ-VOUS UNE COMPTABILITE SELON LE PLAN COMPTABLE CONGOLAIS?

☐ Oui
☐ Non
☐ Ne sais pas

\* B15e - L'ENTREPRISE DANS LAQUELLE VOUS EXERCEZ VOTRE EMPLOI PRINCIPAL OU QUE VOUS DIRIGEZ A-T-ELLE UN NUMERO D'IDENTIFICATION NATIONALE (RCCM)?

☐ Oui
☐ Non
☐ Ne sais pas

» REVENUS

\* B16 - QUELLE EST LA NATURE DE VOTRE REVENU MENSUEL?

☐ Argent
☐ Nature
☐ Argent + Nature
☐ Non rémunéré
☐ Ne sais pas

of 10

2/7/2019, 3:03 PM

of 10

2/7/2019, 3:03 PM

131



BKV-Form-1_	https://ee.kobotoolbox.org/preview?form=https://kf.kobotoolbox.org/as...	BKV-Form-1_	https://ee.kobotoolbox.org/preview?form=https://kf.kobotoolbox.org/as...
<p>* B17 - QUEL EST LE MONTANT APPROXIMATIF DE VOTRE REVENU MENSUEL?</p> <p><input type="radio"/> Moins de 50 US Dollars</p> <p><input type="radio"/> 50 à 100 US Dollars</p> <p><input type="radio"/> 101 à 200 US Dollars</p> <p><input type="radio"/> 201 à 300 US Dollars</p> <p><input type="radio"/> 301 à 500 US Dollars</p> <p><input type="radio"/> Plus de 500 US Dollars</p> <p><input type="radio"/> Ne sais pas</p>			
<p><b>B20 - AVEZ VOUS CONNU UN (OU DES) CAS DE DECES AU SEIN DE VOTRE MENAGE AU COURS DES 10 DERNIERES ANNEES?</b></p> <p><input type="radio"/> Oui</p> <p><input type="radio"/> Non</p>		<p><b>HEURE DE FIN DE FORMULAIRE</b></p> <p>Après cette dernière question du formulaires portant sur les individus (BKV-Form-1), passez au formulaire portant sur les ménages (BKV-Form-2)</p>	
<p>PERSONNE(S) DECEDEE(S)</p>		<p>hh:mm</p>	
<p>* B21 - SI OUI, QUELLE ETAIT SA DATE DE NAISSANCE?</p> <p>yyyy-mm</p>			
<p>* B22 - SI OUI, QUELLE ETAIT SA DATE DE DECES?</p> <p>yyyy-mm</p>			
<p>* B23 - SEXE</p> <p><input type="radio"/> Femme</p> <p><input type="radio"/> Homme</p>			
<p>* B24 - QUEL ETAIT SON LIEN DE PARENTE AVEC LE CHEF DE MENAGE?</p> <p><input type="radio"/> Chef de ménage</p> <p><input type="radio"/> Conjoint(e)</p> <p><input type="radio"/> Enfant du chef de ménage ou de son conjoint(e)</p> <p><input type="radio"/> Parent du chef de ménage ou de son conjoint(e)</p> <p><input type="radio"/> Autre personne apparentée</p> <p><input type="radio"/> Domestique</p> <p><input type="radio"/> Autre personnes sans lien de parenté</p>			
9 of 10	2/7/2019, 3:03 PM	10 of 10	2/7/2019, 3:03 PM

## BKV-Form-2\_

## DATE ET HEURE DE DEBUT DE QUESTIONNAIRE

hh:mm

**NOM ET PRENOM DE LA PERSONNE ENQUETEE :**

**PARENTÉ AU CHEF DE MÉNAGE**

- ☐ Chef de ménage
- ☐ Conjoint(e)
- ☐ Enfant du chef de ménage et/ou de son conjoint(e)
- ☐ Parent du chef de ménage ou de son conjoint(e)
- ☐ Autre personne apparentée
- ☐ Domestique
- ☐ Autre personne sans lien de parenté

#### A - DONNEES GEOGRAPHIQUES ET D'IDENTIFICATION DU MENAGE

**COMMUNE**

- ☐ Kadutu
- ☐ Bagira
- ☐ Ibanda

## QUARTIER

**ILOT**

## NUMERO DU MENAGE

Selon le relevé parcellaire (numéro pré-imprimé)

## NUMERO DE LA PARCELLE

Selon le relevé parcellaire (colonne "Parc")

## NOMBRE DE MÉNAGE(S) DANS LA PARCELLE

## C - MENACES

### C1a - SENTEZ-VOUS VOTRE MÉNAGE MENACÉ ?

- ☐ Oui
- ☐ Non

**C1b - SI OUI, PRÉCISER PRINCIPALEMENT PAR QUELS TYPES DE MENACE ?**

Plusieurs réponses possibles

- ☐ Sécurité physique
- ☐ Trouver de la nourriture
- ☐ Trouver de l'eau de boisson
- ☐ Conflit voisinage
- ☐ Manque argent
- ☐ Sorcellerie
- ☐ Bandits/voleurs
- ☐ Maladie
- ☐ Souci professionnel
- ☐ Eboulement/Glissement de terrain/Chute de pierres
- ☐ Séisme
- ☐ Inondation
- ☐ Autre (Préciser)

C1c - SI AUTRE MENACE, PRÉCISER

**C1d - COMMENT EXPLIQUER VOUS LES ALEAS NATURELS, TELS QUE LES SEISMES, LES EBOULEMENTS ET LES INONDATIONS?**

- ☐ Sorcellerie
- ☐ Manifestation divine
- ☐ Phénomène naturel
- ☐ Autre (Préciser)

BKV-Form-2\_

https://ce.kobotoolbox.org/preview?form=https://kf.kobotoolbox.org/as...

C1e - SI AUTRE EXPLICATION, PRÉCISER

C2a - VOTRE MÉNAGE A-T-IL DÉJÀ ÉTÉ MENACÉ PAR UN ALEA NATUREL, TEL QU'UN SEISME, UN EBOULEMENT OU UNE INONDATION?

☐ Oui
☐ Non

C2b - SI OUI, PRÉCISER L'ALEA NATUREL

☐ Seisme
☐ Eboulement/glissement de terrain
☐ Inondation

C2c - SI OUI, PRÉCISER QUAND

yyyy-mm

C3a - VOTRE MÉNAGE A-T-IL DÉJÀ VÉCU UN ALEA NATUREL, TEL QU'UN SEISME, UN EBOULEMENT OU UNE INONDATION?

☐ Oui
☐ Non

C3b - SI OUI, PRÉCISER L'ALEA NATUREL

☐ Seisme
☐ Eboulement/glissement de terrain
☐ Inondation

C3c - SI OUI, PRÉCISER QUAND

yyyy-mm

==> Si déjà vécu un aléa, alors répondez aux questions ci-dessous

C4a - VOTRE MÉNAGE A-T-IL ÉTÉ PRÉVENU QUE CE RISQUE EXISTAIT ?

☐ Oui
☐ Non

BKV-Form-2\_

https://ce.kobotoolbox.org/preview?form=https://kf.kobotoolbox.org/as...

C4b - SI OUI, PRÉCISER COMBIEN DE TEMPS AVANT LA CATASTROPHE

☐ 1 semaine
☐ 1 mois
☐ 6 mois
☐ 1 an
☐ Plusieurs années
☐ Ne sais pas

C5a - VOTRE MÉNAGE A-T-IL SUBI UN IMPACT DIRECT SUITE A CET EVENEMENT NATUREL?

☐ Oui
☐ Non

C5b - SI OUI, PRÉCISER

Plusieurs réponses possibles

☐ Agricole
☐ Autre activité
☐ Maison
☐ Autre bien endommagé ou détruit
☐ Blessés ou morts dans votre ménage
☐ Maladie due à la menace
☐ Autre (Préciser)

C5c - SI AUTRE DOMMAGE, PRÉCISER

C6a - VOTRE MÉNAGE A-T-IL SUBI UN IMPACT INDIRECT SUITE A CET EVENEMENT NATUREL?

☐ Oui
☐ Non

3 of 13

2/8/2019, 8:19 AM

4 of 13

2/8/2019, 8:19 AM

134

**C6b - SI OUI, PRÉCISER**

*Plusieurs réponses possibles*

- ☐ Route de desserte coupée
- ☐ Plus accès au marché
- ☐ Plus accès à l'école
- ☐ Plus accès aux soins de santé
- ☐ Plus d'approvisionnement
- ☐ Secours ne peuvent vous atteindre
- ☐ Autre (Préciser)

**C6c - SI AUTRE DOMMAGE, PRÉCISER**

---

**C7a - VOTRE MÉNAGE A-T-IL RECU DE L'AIDE SUITE A L'IMPACT DE CET ÉVÉNEMENT NATUREL?**

- ☐ Oui
- ☐ Non

**C7b - SI OUI, PRÉCISER DE QUI**

*Plusieurs réponses possibles*

- ☐ Gouvernement
- ☐ ONG locale
- ☐ ONG internationale
- ☐ Agence des Nations unies
- ☐ Eglises
- ☐ Autre (Préciser)

**C7c - SI AUTRE AIDE, PRÉCISER**

---

**D - CARACTÉRISTIQUES DE L'HABITATION**

**» L'habitation**

**D2a - QUELLE EST L'ANNÉE DE CONSTRUCTION DU BÂTIMENT PRINCIPAL?**

yyyy

**D2b - QUELLE EST LA LONGUEUR DU BÂTIMENT PRINCIPAL?**

---

**D2c - QUELLE EST LA LARGEUR DU BÂTIMENT PRINCIPAL?**

---

**D3 - QUEL EST VOTRE TYPE D'HABITATION?**

- ☐ Une maison
- ☐ Une partie de la maison (plusieurs ménages dans une seule maison)
- ☐ Plusieurs maisons
- ☐ Immeubles à appartements

**D4a - QUEL EST VOTRE STATUT D'OCCUPATION?**

- ☐ Propriétaire
- ☐ Locataire (Préciser le montant du loyer)
- ☐ Prêt famille
- ☐ Prêt amis/voisins
- ☐ Autre (préciser)

**D4b - SI AUTRE STATUT, PRÉCISER**

---

**D4c - PRÉCISER LE MONTANT DU LOYER**

---

**D5a - QUEL EST LE NOMBRE DE PIÈCES HABITABLES?**

---

**D5b - OU SE TROUVE LA CUISINE?**

- ☐ Intérieur avec pièce
- ☐ Intérieur sans pièce
- ☐ Extérieur avec pièce
- ☐ Extérieur sans pièce

**D5c - OU SE TROUVE LA DOUCHE?**

- ☐ Intérieur de l'habitation  
☐ Extérieur de l'habitation  
☐ Chez les voisins  
☐ Pas de douche

**D6a - QUEL EST LE MATERIAU DES MURS?**

- ☐ Pisé  
☐ Bois, planches  
☐ Semi durable crépi (bois/bambous/pierres/mortier)  
☐ Semi durable non crépi (bois/bambous/pierres/mortier)  
☐ Béton  
☐ Bloc ciment  
☐ Briques cuites  
☐ Briques adobe  
☐ Autre (préciser)

D6b - SI AUTRE, PRÉCISER

**D7a - QUEL EST LE MATERIAU DU TOIT?**

- ☐ Tuile  
☐ Eternit : fibrociment  
☐ Tôle galvanisée  
☐ Tôle de récupération  
☐ Béton  
☐ Autre (préciser)

D7b - SI AUTRE, PRÉCISER

**D8a - QUEL EST LE MATERIAU DU SOL?**

- ☐ Terre battue  
☐ Ciment  
☐ Carrelage  
☐ Autre (préciser)

**D8b - SI AUTRE, PRÉCISER**

D9a - QUELS SONT VOS PRINCIPAUX MODES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU DE BOISSON?

**1st choice**

- |   |   |                              |
|---|---|------------------------------|
| <input type="radio"/> EAU COURANTE ROBINET : Habitation | <input type="radio"/> EAU COURANTE ROBINET : Parcelle |                              |
| <input type="radio"/> EAU COURANTE ROBINET : Voisins    | <input type="radio"/> SOURCE aménagée                 |                              |
| <input type="radio"/> SOURCE non aménagée               | <input type="radio"/> BORNE FONTAINE                  |                              |
| <input type="radio"/> PUIITS protégé                    | <input type="radio"/> PUIITS non protégé              |                              |
| <input type="radio"/> RIVIERE                           | <input type="radio"/> LAC                             | <input type="radio"/> FORAGE |
| <input type="radio"/> Autre (Préciser)                  | <input type="radio"/> Aucun                           |                              |

**2nd choice**

- |   |   |                              |
|---|---|------------------------------|
| <input type="radio"/> EAU COURANTE ROBINET : Habitation | <input type="radio"/> EAU COURANTE ROBINET : Parcelle |                              |
| <input type="radio"/> EAU COURANTE ROBINET : Voisins    | <input type="radio"/> SOURCE aménagée                 |                              |
| <input type="radio"/> SOURCE non aménagée               | <input type="radio"/> BORNE FONTAINE                  |                              |
| <input type="radio"/> PUIITS protégé                    | <input type="radio"/> PUIITS non protégé              |                              |
| <input type="radio"/> RIVIERE                           | <input type="radio"/> LAC                             | <input type="radio"/> FORAGE |
| <input type="radio"/> Autre (Préciser)                  | <input type="radio"/> Aucun                           |                              |

**3rd choice**

- |   |   |                              |
|---|---|------------------------------|
| <input type="radio"/> EAU COURANTE ROBINET : Habitation | <input type="radio"/> EAU COURANTE ROBINET : Parcelle |                              |
| <input type="radio"/> EAU COURANTE ROBINET : Voisins    | <input type="radio"/> SOURCE aménagée                 |                              |
| <input type="radio"/> SOURCE non aménagée               | <input type="radio"/> BORNE FONTAINE                  |                              |
| <input type="radio"/> PUIITS protégé                    | <input type="radio"/> PUIITS non protégé              |                              |
| <input type="radio"/> RIVIERE                           | <input type="radio"/> LAC                             | <input type="radio"/> FORAGE |
| <input type="radio"/> Autre (Préciser)                  | <input type="radio"/> Aucun                           |                              |

**D9b - SI AUTRE MODE PRINCIPAL D'APPROVISIONNEMENT EN EAU DE BOISSON, PRÉCISER**

Passer cette question, si la réponse pour "Mode d'approvisionnement en eau d'usage" pour "Mode d'approvisionnement en eau de boisson" n'était pas "Autre"

D9a - QUELS SONT VOS PRINCIPAUX MODES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU D'USAGE?

**1st choice**

- |   |   |                              |
|---|---|------------------------------|
| <input type="radio"/> EAU COURANTE ROBINET : Habitation | <input type="radio"/> EAU COURANTE ROBINET : Parcelle |                              |
| <input type="radio"/> EAU COURANTE ROBINET : Voisins    | <input type="radio"/> SOURCE aménagée                 |                              |
| <input type="radio"/> SOURCE non aménagée               | <input type="radio"/> BORNE FONTAINE                  |                              |
| <input type="radio"/> PUIITS protégé                    | <input type="radio"/> PUIITS non protégé              |                              |
| <input type="radio"/> RIVIERE                           | <input type="radio"/> LAC                             | <input type="radio"/> FORAGE |
| <input type="radio"/> Autre (Préciser)                  | <input type="radio"/> Aucun                           |                              |

**2nd choice**

- |   |   |                              |
|---|---|------------------------------|
| <input type="radio"/> EAU COURANTE ROBINET : Habitation | <input type="radio"/> EAU COURANTE ROBINET : Parcelle |                              |
| <input type="radio"/> EAU COURANTE ROBINET : Voisins    | <input type="radio"/> SOURCE aménagée                 |                              |
| <input type="radio"/> SOURCE non aménagée               | <input type="radio"/> BORNE FONTAINE                  |                              |
| <input type="radio"/> PUIITS protégé                    | <input type="radio"/> PUIITS non protégé              |                              |
| <input type="radio"/> RIVIERE                           | <input type="radio"/> LAC                             | <input type="radio"/> FORAGE |
| <input type="radio"/> Autre (Préciser)                  | <input type="radio"/> Aucun                           |                              |

**3rd choice**

- |   |   |                              |
|---|---|------------------------------|
| <input type="radio"/> EAU COURANTE ROBINET : Habitation | <input type="radio"/> EAU COURANTE ROBINET : Parcelle |                              |
| <input type="radio"/> EAU COURANTE ROBINET : Voisins    | <input type="radio"/> SOURCE aménagée                 |                              |
| <input type="radio"/> SOURCE non aménagée               | <input type="radio"/> BORNE FONTAINE                  |                              |
| <input type="radio"/> PUIITS protégé                    | <input type="radio"/> PUIITS non protégé              |                              |
| <input type="radio"/> RIVIERE                           | <input type="radio"/> LAC                             | <input type="radio"/> FORAGE |
| <input type="radio"/> Autre (Préciser)                  | <input type="radio"/> Aucun                           |                              |

**D10b - SI AUTRE MODE PRINCIPAL D'APPROVISIONNEMENT EN EAU POUR USAGE DIVERS, PRÉCISER**

Passer cette question, si la réponse pour "Mode d'approvisionnement en eau d'usage" n'était pas "Autre"

---

**D11 - QUEL EST VOTRE TYPE D'AISSANCE?**

- ☐ WC moderne  
☐ WC semi moderne  
☐ LATRINES : Améliorée (fosse septique)  
☐ TRADITIONNEL  
☐ RIEN (dans la nature)

**D12 - COMMENT EVACUEZ-VOUS LES EAUX USÉES?**

- ☐ Dans la maison (tuyauterie)  
☐ Dans la parcelle  
☐ En-dehors de la parcelle  
☐ Dans le caniveau  
☐ Dans le lac  
☐ Dans la rivière  
☐ Autre (Préciser)

**D12b - SI AUTRE, PRÉCISER**

---

**D13a - COMMENT EVACUEZ-VOUS VOS LES ORDURES MÉNAGÈRES?**

- ☐ Incinération  
☐ Service organisé  
☐ Enfouissement  
☐ Terrain vague  
☐ Dans la rue  
☐ Compost/fumier  
☐ Dans le caniveau  
☐ Autre (Préciser)

**D13b - SI AUTRE, PRÉCISER**

---

**D14a - QUELS SONT VOS PRINCIPAUX MODES D'ÉCLAIRAGE?**

*Plusieurs réponses possibles*

- ☐ ÉLECTRICITÉ - SNEL officiel
- ☐ ÉLECTRICITÉ - SNEL détourné
- ☐ ÉLECTRICITÉ - Groupe électro
- ☐ ÉLECTRICITÉ - Panneau solaire
- ☐ LAMPE : à pétrole
- ☐ LAMPE : à piles
- ☐ LAMPE : à gaz
- ☐ BOUGIE
- ☐ RIEN

**D15a - QUELS SONT VOS PRINCIPAUX TYPES DE COMBUSTIBLE?**

*Plusieurs réponses possibles (cuisine/chauffage)*

- ☐ Bois
- ☐ Charbon de bois
- ☐ Briquettes
- ☐ Pétrole
- ☐ Gaz
- ☐ Electricité
- ☐ Autre (Préciser)

**D15b - SI COMBUSTIBLE BOIS OU CHARBON DE BOIS, PRÉCISER :**

- ☐ Utilise un foyer amélioré
- ☐ N'utilise pas de foyer amélioré

**D15c - SI AUTRE COMBUSTIBLE, PRÉCISER**

---

**D16a - QUELS SONT VOS PRINCIPAUX BIENS D'EQUIPEMENT?**

*Plusieurs réponses possibles*

- ☐ Radio
- ☐ Tél. Mobile
- ☐ Réfrigérateur
- ☐ Congélateur
- ☐ Téléviseur
- ☐ Lecteur DVD
- ☐ Ventilateur
- ☐ Climatiseur
- ☐ Ordinateur
- ☐ Vélo
- ☐ Moto
- ☐ Voiture
- ☐ Camion
- ☐ Autre (Préciser)

**D16b - Si autre bien(s), préciser**

---

**Coordonnées GPS**

*GPS coordinates can only be collected when outside.*

latitude (x.y °)

---

longitude (x.y °)

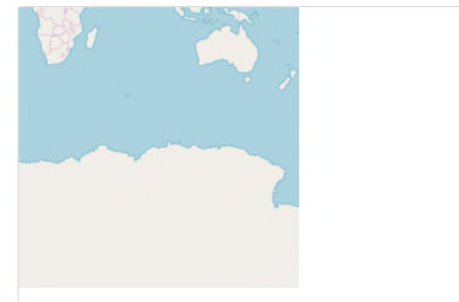
---

altitude (m)

---

accuracy (m)

---





BKV-Form-2\_  
<https://ec.kobotoolbox.org/preview?form=https://kf.kobotoolbox.org/as...>

HEURE DE FIN D'ENQUÊTE

hh:mm

13 of 13

2/8/2019, 8:19 AM

Annexe 2 : Questionnaire d'enquête de terrain en 2014 • Mission GeoRisCA



Enquête démographique  
Bukavu – Juillet/Août 2015

ENQUETE AUPRES DES MENAGES EN VUE D'ESTIMER DE MANIERE RAPIDE LA POPULATION DES COMMUNES DE LA VILLE DE BUKAVU, AINSI QUE LEURS PRINCIPALES CARACTERISTIQUES SOCIO-ECONOMIQUES, SELON LES INDICATIONS FOURNIES PAR LA TELEDETECTION SATELLITAIRE.

QUESTIONNAIRE DEMOGRAPHIQUE

TABLEAU RECAPITULATIF A remplir à la fin de l'interview			
SITUATION DE RESIDENCE (voir B4)	SEXE (voir B3)		Total
	Hommes	Femmes	
RP – Résidents présents	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
RA – Résidents absents	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
VIS – Visiteurs	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Population de droit (RP + RA)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Population de fait (RP + VIS)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
A remplir à la fin de l'interview :			
NOMBRE DE PERSONNES RECENSEES DANS LE MENAGE : <input type="text"/>	NOMBRE DE QUESTIONNAIRES UTILISES POUR LE MENAGE : <input type="text"/>	QUESTIONNAIRE NUMERO <input type="text"/>	

GRILLE DE SUIVI A remplir à la fin de l'interview				
Identification	Nom et prénoms	Date	Signature	Observations
Enquêteur		.../.../...		
Superviseur		.../.../...		

GPS et durée d'enquête		
Numéro d'identification du GPS <input type="text"/>	Coordonnées du ménage enquêté :	Heure de début de l'interview : .....
	Altitude : .....	Heure de fin de l'interview : .....
	Latitude : .....	
	Longitude : .....	

A – DONNEES GEOGRAPHIQUES ET D'IDENTIFICATION DU MENAGE	
A1 COMMUNE (NOM et ID)	<input type="text"/>
A2 ID_ILLOT (désigné en bureau)	<input type="text"/>
A3 NUMERO DE LA PARCELLE (selon le relevé parcellaire)	<input type="text"/>
A4 NOMBRE DE MENAGE(S) DANS LA PARCELLE :	<input type="text"/>
A5 N° DU MENAGE A L'INTERIEUR DE LA PARCELLE (selon le relevé parcellaire)	<input type="text"/>
A6 NOM / PRENOM DE LA PERSONNE ENQUETEE : ..... Parenté au chef de ménage (cf. code question B2) <input type="text"/>	



Enquête démographique  
Bukavu – Juillet/Août 2015

B – CARACTERISTIQUES INDIVIDUELLES											
TOUS AGES											
N° INDIV DU	LIEN DE PARENTE AVEC LE CHEF DE MENAGE	SEXE	SITUATION DE RESIDENCE	SITUATION MATRIMONIALE	DATE DE NAISSANCE	AGE	LIEU DE NAISSANCE	DUREE DE RESIDENCE	SI PAS HABITE ICI TOUTE SA VIE :		
									1. LIEU DE RESIDENCE ANTERIEUR 2. DUREE DE RESIDENCE ANTERIEURE 3. MOTIF DE DEMENAGEMENT		
									Seulement pour les RP et RA (voir B5)		
			Entourer le code approprié (S1-B4-3, aller à B11)	Entourer le code approprié Pour les mariages, les codes 1, 2, 3 peuvent être entourés en même temps	Inscrire la date de naissance	Inscrire l'âge révolu	Inscrire le nom du lieu de naissance (ville / province / pays)	Inscrire le nombre d'années d'ancienneté (00 si <1 an)	1. Inscrire le nom de la ville/province ou pays étranger 2. nombre d'années de résidence antérieure (00 si <1 an) 3. Entourer le code approprié		
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10a – B10b – B10c		
1	CM...1	EP...2	M...1	RP...1	CEL...0	MAR...1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	ENF...3	PAR...4	F...2	RA...2	MAR...2	MAR...3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	AP...5	BP...6		VIS...3	VEU...4	DIV...5	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	SANS...7				SEP...6	UL...7	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2	CM...1	EP...2	M...1	RP...1	CEL...0	MAR...1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	ENF...3	PAR...4	F...2	RA...2	MAR...2	MAR...3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	AP...5	BP...6		VIS...3	VEU...4	DIV...5	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	SANS...7				SEP...6	UL...7	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3	CM...1	EP...2	M...1	RP...1	CEL...0	MAR...1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	ENF...3	PAR...4	F...2	RA...2	MAR...2	MAR...3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	AP...5	BP...6		VIS...3	VEU...4	DIV...5	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	SANS...7				SEP...6	UL...7	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
4	CM...1	EP...2	M...1	RP...1	CEL...0	MAR...1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	ENF...3	PAR...4	F...2	RA...2	MAR...2	MAR...3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	AP...5	BP...6		VIS...3	VEU...4	DIV...5	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	SANS...7				SEP...6	UL...7	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
5	CM...1	EP...2	M...1	RP...1	CEL...0	MAR...1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	ENF...3	PAR...4	F...2	RA...2	MAR...2	MAR...3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	AP...5	BP...6		VIS...3	VEU...4	DIV...5	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	SANS...7				SEP...6	UL...7	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
6	CM...1	EP...2	M...1	RP...1	CEL...0	MAR...1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	ENF...3	PAR...4	F...2	RA...2	MAR...2	MAR...3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	AP...5	BP...6		VIS...3	VEU...4	DIV...5	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	SANS...7				SEP...6	UL...7	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
7	CM...1	EP...2	M...1	RP...1	CEL...0	MAR...1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	ENF...3	PAR...4	F...2	RA...2	MAR...2	MAR...3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	AP...5	BP...6		VIS...3	VEU...4	DIV...5	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	SANS...7				SEP...6	UL...7	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
8	CM...1	EP...2	M...1	RP...1	CEL...0	MAR...1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	ENF...3	PAR...4	F...2	RA...2	MAR...2	MAR...3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	AP...5	BP...6		VIS...3	VEU...4	DIV...5	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	SANS...7				SEP...6	UL...7	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
9	CM...1	EP...2	M...1	RP...1	CEL...0	MAR...1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	ENF...3	PAR...4	F...2	RA...2	MAR...2	MAR...3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	AP...5	BP...6		VIS...3	VEU...4	DIV...5	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	SANS...7				SEP...6	UL...7	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
10	CM...1	EP...2	M...1	RP...1	CEL...0	MAR...1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	ENF...3	PAR...4	F...2	RA...2	MAR...2	MAR...3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	AP...5	BP...6		VIS...3	VEU...4	DIV...5	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	SANS...7				SEP...6	UL...7	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

B – CARACTERISTIQUES INDIVIDUELLES (suite)							
3 ANS ET +			12 ANS ET +				
N°	Y'A-IL EU / Y'A-T-IL FREQUENTATION SCOLAIRE ?	INDIQUER LE NIVEAU ATTEINT OU EN COURS	CROYANCE	LANGUES PARLEES A LA MAISON	QUELLES SONT LES ACTIVITES QUI VOUS FONT VIVRE ?	NATURE DU REVENU	MONTANT DU REVENU MENSUEL (en dollars)
Entourer le code approprié			Entourer le code approprié	Inscrire les 3 principales langues, par ordre d'importance	Question ouverte : Noter toutes les réponses	Entourer le code approprié	
			SI OUI, INDIQUER LE TYPE DE RELIGION/CROYANCE?				
B1	B11	B12	B13a et B13b	B14	B15	B16	B17
1	OUI.....1	PRE...0 PRI...1	OUI.....1			ARG.....1	Moins de 100 \$ : .....1
	NON.....2	SEC...2 SUP...3	NON.....2			NAT.....2	100 à 150 \$ : .....2
	EN COURS.....3	UNI...4 P.UNI...5	NE SAIS PAS.....3			A+N.....3	150 à 200 \$ : .....3
		NSP...6				NREM.....4	200 à 250 \$ : .....4
2	OUI.....1	PRE...0 PRI...1	OUI.....1			ARG.....1	Moins de 100 \$ : .....1
	NON.....2	SEC...2 SUP...3	NON.....2			NAT.....2	100 à 150 \$ : .....2
	EN COURS.....3	UNI...4 P.UNI...5	NE SAIS PAS.....3			A+N.....3	150 à 200 \$ : .....3
		NSP...6				NREM.....4	200 à 250 \$ : .....4
3	OUI.....1	PRE...0 PRI...1	OUI.....1			ARG.....1	Moins de 100 \$ : .....1
	NON.....2	SEC...2 SUP...3	NON.....2			NAT.....2	100 à 150 \$ : .....2
	EN COURS.....3	UNI...4 P.UNI...5	NE SAIS PAS.....3			A+N.....3	150 à 200 \$ : .....3
		NSP...6				NREM.....4	200 à 250 \$ : .....4
4	OUI.....1	PRE...0 PRI...1	OUI.....1			ARG.....1	Moins de 100 \$ : .....1
	NON.....2	SEC...2 SUP...3	NON.....2			NAT.....2	100 à 150 \$ : .....2
	EN COURS.....3	UNI...4 P.UNI...5	NE SAIS PAS.....3			A+N.....3	150 à 200 \$ : .....3
		NSP...6				NREM.....4	200 à 250 \$ : .....4
5	OUI.....1	PRE...0 PRI...1	OUI.....1			ARG.....1	Moins de 100 \$ : .....1
	NON.....2	SEC...2 SUP...3	NON.....2			NAT.....2	100 à 150 \$ : .....2
	EN COURS.....3	UNI...4 P.UNI...5	NE SAIS PAS.....3			A+N.....3	150 à 200 \$ : .....3
		NSP...6				NREM.....4	200 à 250 \$ : .....4
6	OUI.....1	PRE...0 PRI...1	OUI.....1			ARG.....1	Moins de 100 \$ : .....1
	NON.....2	SEC...2 SUP...3	NON.....2			NAT.....2	100 à 150 \$ : .....2
	EN COURS.....3	UNI...4 P.UNI...5	NE SAIS PAS.....3			A+N.....3	150 à 200 \$ : .....3
		NSP...6				NREM.....4	200 à 250 \$ : .....4
7	OUI.....1	PRE...0 PRI...1	OUI.....1			ARG.....1	Moins de 100 \$ : .....1
	NON.....2	SEC...2 SUP...3	NON.....2			NAT.....2	100 à 150 \$ : .....2
	EN COURS.....3	UNI...4 P.UNI...5	NE SAIS PAS.....3			A+N.....3	150 à 200 \$ : .....3
		NSP...6				NREM.....4	200 à 250 \$ : .....4
8	OUI.....1	PRE...0 PRI...1	OUI.....1			ARG.....1	Moins de 100 \$ : .....1
	NON.....2	SEC...2 SUP...3	NON.....2			NAT.....2	100 à 150 \$ : .....2
	EN COURS.....3	UNI...4 P.UNI...5	NE SAIS PAS.....3			A+N.....3	150 à 200 \$ : .....3
		NSP...6				NREM.....4	200 à 250 \$ : .....4
9	OUI.....1	PRE...0 PRI...1	OUI.....1			ARG.....1	Moins de 100 \$ : .....1
	NON.....2	SEC...2 SUP...3	NON.....2			NAT.....2	100 à 150 \$ : .....2
	EN COURS.....3	UNI...4 P.UNI...5	NE SAIS PAS.....3			A+N.....3	150 à 200 \$ : .....3
		NSP...6				NREM.....4	200 à 250 \$ : .....4
10	OUI.....1	PRE...0 PRI...1	OUI.....1			ARG.....1	Moins de 100 \$ : .....1
	NON.....2	SEC...2 SUP...3	NON.....2			NAT.....2	100 à 150 \$ : .....2
	EN COURS.....3	UNI...4 P.UNI...5	NE SAIS PAS.....3			A+N.....3	150 à 200 \$ : .....3
		NSP...6				NREM.....4	200 à 250 \$ : .....4
<p>PRE = Préscolaire PRI = Primaire SEC = Secondaire SUP = Supérieur UNI = Universitaire P.UNI = Post-Universitaire NSP = Ne sais pas</p> <p>ARG = Argent NAT = Nature A+N = Argent + Nature NREM = Non rémunéré</p>							

C – MENACES						
SI OUI A C3						
SENTEZ-VOUS VOTRE MENAGE MENACE ?	VOTRE MENAGE A-T-IL DEJA ETE MENACE PAR UN GLISSEMENT DE TERRAIN OU UN SEISME ?	VOTRE MENAGE A-T-IL DEJA CONNU UN GLISSEMENT DE TERRAIN OU UN SEISME ?	VOTRE MENAGE A-T-IL ETE PREVENU QUE CE RISQUE EXISTAIT ?	VOTRE MENAGE A-T-IL SUBI UN IMPACT DIRECT SUITE A CET EVENEMENT GEOLOGIQUE ?	VOTRE MENAGE A-T-IL SUBI UN IMPACT INDIRECT SUITE A CET EVENEMENT GEOLOGIQUE ?	VOTRE MENAGE A-T-IL RECU DE L'AIDE SUITE A L'IMPACT DE CET EVENEMENT GEOLOGIQUE ?
Entourer le code approprié						
SI OUI, PRECISER PRINCIPALEMENT PAR QUEL TYPE DE MENACE ?	SI OUI, PRECISEZ QUAND	SI OUI, PRECISEZ QUAND	SI OUI, PRECISER COMBIEN DE TEMPS AVANT LA CATASTROPHE	SI OUI, PRECISEZ	SI OUI, PRECISEZ	SI OUI, PRECISEZ DE LA PART DE QUI
C1a et C1b	C2a et C2b	C3a et C3b	C4a et C4b	C5a et C5b	C6a et C6b	C7a et C7b
OUI.....1	OUI.....1	OUI.....1	OUI.....1	OUI.....1	OUI.....1	OUI.....1
NON.....2	NON.....2	NON.....2	NON.....2	NON.....2	NON.....2	NON.....2
SI OUI, PRECISER :						
Sécurité physique.....1 Trouver de la nourriture.....2 Trouver de l'eau de boisson.....3 Conflit voisinage.....4 Manque argent.....5 Sorcellerie.....6 Bandits/voleurs.....7 Maladie.....8 Soudi professionnel.....9 Aléas naturels.....10 Autre.....11 Si AUTRE, préciser	Moins de 100 \$ : .....1 100 à 150 \$ : .....2 150 à 200 \$ : .....3 200 à 250 \$ : .....4 250 à 300 \$ : .....5 Plus de 300 \$ : .....6	Moins de 100 \$ : .....1 100 à 150 \$ : .....2 150 à 200 \$ : .....3 200 à 250 \$ : .....4 250 à 300 \$ : .....5 Plus de 300 \$ : .....6	Moins de 100 \$ : .....1 100 à 150 \$ : .....2 150 à 200 \$ : .....3 200 à 250 \$ : .....4 250 à 300 \$ : .....5 Plus de 300 \$ : .....6	Moins de 100 \$ : .....1 100 à 150 \$ : .....2 150 à 200 \$ : .....3 200 à 250 \$ : .....4 250 à 300 \$ : .....5 Plus de 300 \$ : .....6	Moins de 100 \$ : .....1 100 à 150 \$ : .....2 150 à 200 \$ : .....3 200 à 250 \$ : .....4 250 à 300 \$ : .....5 Plus de 300 \$ : .....6	Moins de 100 \$ : .....1 100 à 150 \$ : .....2 150 à 200 \$ : .....3 200 à 250 \$ : .....4 250 à 300 \$ : .....5 Plus de 300 \$ : .....6

D – CARACTERISTIQUES DU MENAGE							
TYPE D'HABITATION	AGE ET SUPERFICIE ESTIMEE DU BATIMENT PRINCIPAL	ORGANISATION DU MENAGE	STATUT D'OCCUPATION	NOMBRE DE PIECES HABITABLES	MATERIAUX DES MURS	MATERIAUX DU TOIT	MATERIAUX DU SOL
INDIQUEZ COMBIEN DE BATIMENTS APPARTENNENT A L'HABITATION ENQUETEE		LE MENAGE OCCUPE :		Inscrire le nombre et entourer les codes appropriés	Entourer les codes caractérisant le <u>bâtiment principal</u>		
Entourer le code approprié							
D1a et D1b	D2a et D2b	D3	D4	D5a – D5b – D5c	D6	D7	D8
Une seule maison.....1 Plusieurs maisons.....2 Maison avec plusieurs pièces prévue pour plusieurs ménages.....3 Immeubles à appartements.....4	Année de construction _____ [ ] [ ] [ ] [ ] Dimensions estimées Longueur = ..... Largeur = ..... [ ] [ ]	Une partie de la maison (ou de l'appartement).....1 Toute la maison (ou l'appartement).....2 Plus que la maison (ou l'appartement).....3	Propriétaire.....1 Paye un loyer.....2 Prêt famille.....3 Prêt amis/voisins.....4 Autre.....5 Si AUTRE, préciser : .....	Cuisine : Intérieur de l'habitation.....1 Extérieur de l'habitation.....2 Salle de bain/douche : Intérieur de l'habitation.....1 Extérieur de l'habitation.....2 Autre : Si AUTRE, préciser : .....	Mur en pisé.....1 Bêto, planches.....2 Béton.....3 Bloc ciment.....4 Briques cuites.....5 Briques adobe.....6 Autre : Si AUTRE, préciser : .....	Tuile.....1 Ciment / fibrociment.....2 Tôle galvanisée.....3 Tôle de récupération.....4 Béton.....5 Autre.....6 Si AUTRE, préciser : .....	Terre battue.....1 Ciment.....2 Carreaux.....3 Autre.....4 Si AUTRE, préciser : .....
Nombre de bâtiments pour la même habitation : [ ] [ ]							

[illegible]

QUESTIONS DES PERSONNES INTERVIEWEES : .....

NOTES ET OBSERVATIONS : .....

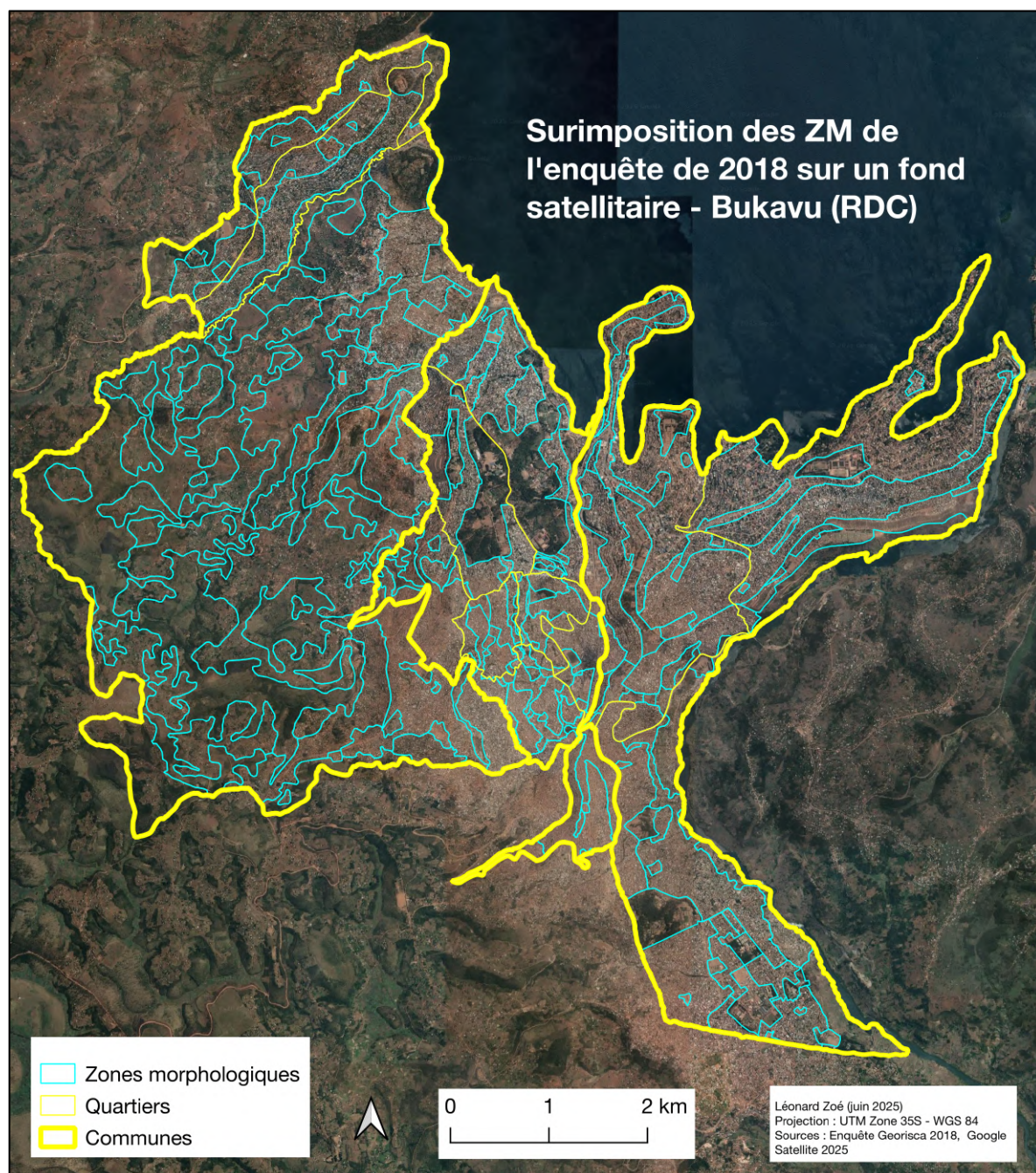
### Annexe 3 : Méthodologie de délimitation de ZM et ZE

Pour délimiter les ZM en 2014, des images satellites Pléiades multispectrales de 0,5 m de résolution couvrant toute la zone urbaine, datant de 2013, avaient été utilisées, permettant ainsi de visualiser l'occupation du sol. Une analyse visuelle dans un SIG a été réalisée sur ces images afin de cartographier des zones homogènes en fonction d'une densité et d'une structure de bâti semblables. Certaines zones, dénommées zones exclues (ZE), n'ont cependant pas été retenues dans l'analyse car elles ne sont pas occupées par des ménages, ce qui ne reflète donc pas la vulnérabilité de la population. Il s'agit de zones a priori inhabitées, telles que les commerces, les administrations, les écoles ou les établissements de santé (Michellier *et al.*, 2020b). Il convient de souligner que ces ZM ont été définies sur base d'une perception visuelle, variable et complexe, mais la méthode est relativement simple de reproduction. Par ailleurs, des ZM peuvent appartenir à la typologie sans nécessairement être spatialement contiguës (Michellier, 2017).

Commune	Code	Structure / Densité	Taille du Bâti	Remarques
<b>Bagira</b>	B0	Densité très faible	Très petit	
	B1	Densité très forte	Petit	
	B2	Densité forte	Petit	
	B3	Densité faible	Petit	
	B4	Densité faible	Petit	
	B5	Densité très faible	Petit	
	B6	Densité forte	Moyen	
	B7	Densité faible	Moyen	Transformé en ZE en 2018
<b>Ibanda</b>	I0	Densité très faible	Très petit	
	I1	Densité forte	Petit	
	I2	Densité forte	Petit	
	I3	Densité faible	Petit	
	I4	Densité faible	Petit	
	I5	Densité faible	Moyen	
	I6	Densité moyenne	?	Taille du bâti inconnue
	I10	Peu dense, sans structure	Très petit	Sans structure
<b>Kadutu</b>	K0	Densité très faible	Très petit	
	K1	Densité très forte	Très petit	
	K2	Densité forte	Petit	
	K3	Densité faible	Petit	
	K4	Isolé	Petit	
	K5	Densité très faible	Petit	
	K6	Densité forte	Moyen	
	K7	Densité faible	Moyen	

(Michellier, 2017)





Annexe 5 : Tableau de fréquences des entités de ZM de 2018, comparées à celles de 2014

ID ZM	Fréquence de zones 2014	Fréquence de zones 2018	Commentaire
A0	6	0	ZM « Annexes » exclues en 2018
A1	5	0	
A2	9	0	
A3	6	0	
A4	2	0	
B0	21	20	1 zone B0 transposée en ZE
B1	2	2	
B2	2	2	
B3	11	11	
B4	9	9	
B5	18	18	
B6	6	6	
B7	2	0	Totalité des zones B7 transposées en ZE
I0	3	3	
I1	8	8	
I10	2	2	
I2	6	6	
I3	7	7	
I4	3	3	
I5	3	4	Division d'une zone I5 en deux pour 2018
I6	3	3	
K0	1	5	
K1	5	5	
K2	16	16	
K3	6	6	
K4	14	14	
K5	2	2	
K6	10	10	
K7	5	5	



Informations démographiques
<p>Les fiches de relevé parcellaire fournissent le nombre exact de ménages recensés dans chaque îlot. Pour chaque zone morphologique (ZM), les superficies et populations des îlots qui la composent sont additionnées afin d'obtenir la superficie totale et la population totale de la ZM. La population de la ZM est ensuite estimée en multipliant la superficie totale des îlots par la densité moyenne de population des îlots correspondants. Pour déterminer la population totale de la commune, les populations estimées de toutes les ZM, ainsi que celles des zones exclues, sont sommées. La population totale de la ville est enfin calculée en additionnant les populations de toutes les communes.</p> <p>À l'échelle des quartiers, la population par ZM est ajustée en fonction du rapport entre la superficie de la ZM dans le quartier et celle de la ZM dans la commune. La population totale du quartier correspond à la somme des populations des différentes ZM qui le composent.</p>
Informations socio-économiques : effectifs estimés par variables socio-économiques
<p>À partir des bases de données individuelles et ménages, il a d'abord été calculé, pour chaque variable et chaque catégorie de réponse, la proportion d'individus ou de ménages enquêtés au sein de chaque îlot par rapport à la population totale de cet îlot.</p> <p>Cette proportion a ensuite été pondérée par le rapport entre la superficie de la zone morphologique (ZM) dans la commune et la superficie totale des îlots de cette ZM. En sommant ces valeurs pondérées sur l'ensemble des îlots d'une même ZM, l'effectif estimé d'individus ou de ménages pour chaque variable au niveau de la ZM dans la commune a été obtenu.</p> <p>Ce résultat a ensuite été ajusté à l'échelle des quartiers en multipliant l'effectif par le rapport entre la superficie de la ZM dans le quartier et celle de la ZM dans la commune. Enfin, la somme des effectifs des différentes ZM au sein d'un quartier a permis d'estimer les effectifs totaux par variable à l'échelle du quartier. Ces traitements ont permis la réalisation de cartes thématiques des principales caractéristiques socio-économiques de la population à l'échelle des ZM et des quartiers, ainsi que le suivi de leur évolution en comparaison avec des études démographiques plus anciennes.</p>

(Michellier, 2017)

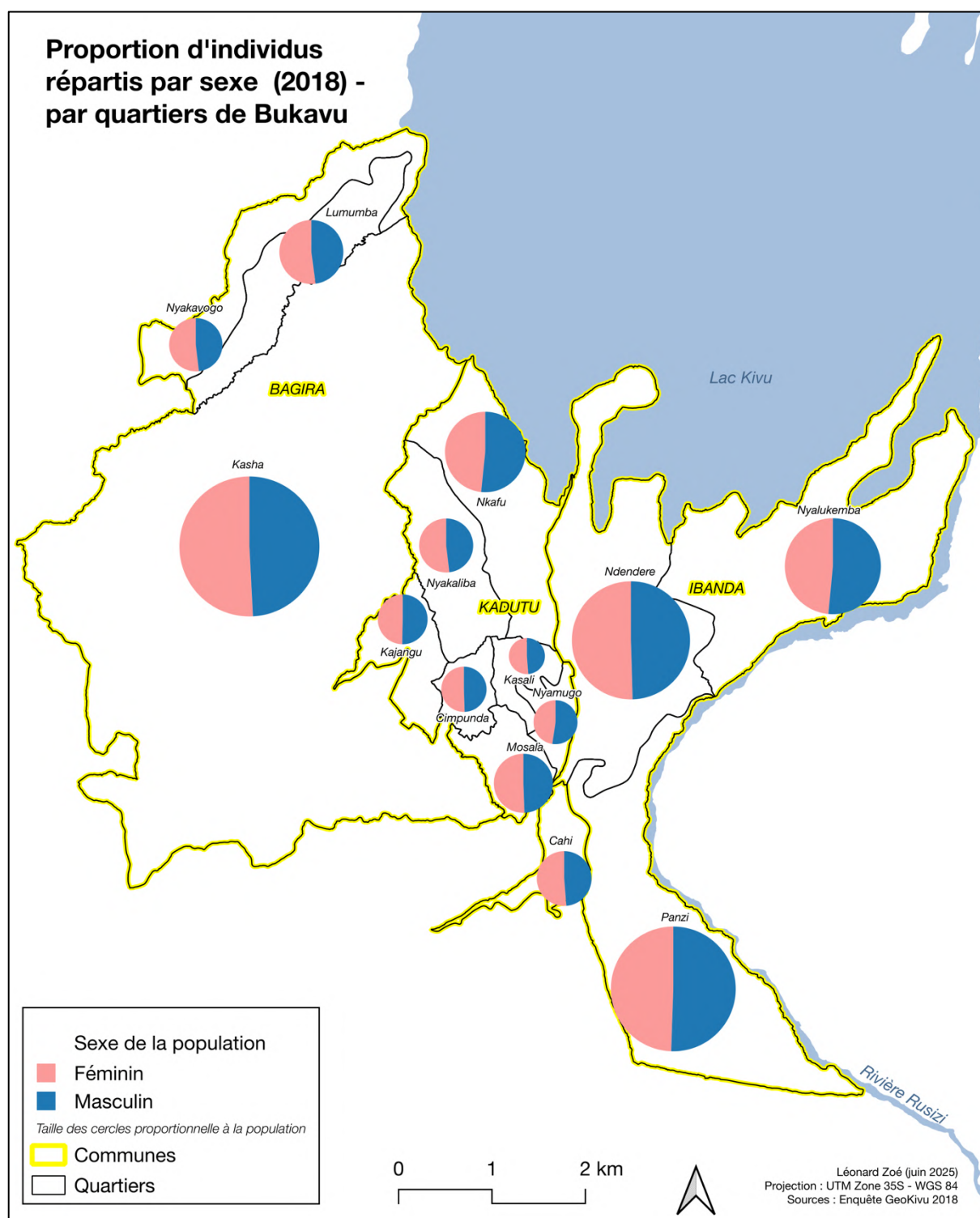
<b>Variables à l'échelle de l'individu</b>	<b>Variables à l'échelle du ménage</b>
B2 - Lien avec le chef de ménage	C1a - Menace
B3 - Sexe	C1b – Type de menace
B4 - Statut de résidence	C1d – Explication des aléas naturels
B5 – État civil	C2a - Menace liée à un aléa naturel
B7 - Âge	C3a - Aléa vécu par le ménage
B9 – Durée de résidence	C4a - Ménage informé de l'aléa naturel
B9bis et B10a – Lieu de résidence	C5a - Impact direct suite à l'aléa naturel
B11 - Scolarisation	C5b - Type d'impact direct
B12 – Niveau scolaire	C6a - Impact indirect suite à l'aléa naturel
B13 – Religion/croyance	C6b - Type d'impact indirect
B14 - Langues	C7a - Ménage aidé à la suite d'un aléa naturel
B15 – Activité rémunérée pendant une semaine au cours du mois	C7b – Type d'aide
B15b – Type d'activité	D2a - Année de construction de l'habitation
B15d – Statut de salarié	D2b_Superficie (superficie de l'habitation)
B16 – Nature des revenus	D3 – Type d'habitation
B17 – Classe de revenus	D4 - Statut d'occupation de l'habitation
B18 - Ethnie	D5a - Nombre de pièces dans l'habitation
B20 – Cas de décès connu(s)	D5b - Cuisine installée à l'intérieur ou à l'extérieur
	D5c - Douche installée à l'intérieur ou à l'extérieur
	D6 - Type de matériaux pour les murs de l'habitation
	D7 - Type de matériaux pour le toit de l'habitation
	D8 - Type de matériaux pour le sol de l'habitation
	X (D9) – Principaux modes d’approvisionnement en eau de boisson
	D11 – Type de toilettes
	D12 – Mode d’évacuation des eaux usées
	D13 – Mode d’évacuation des ordures ménagères
	D14 – Mode principal d’éclairage
	D15 – Type de combustible
	D16a – Principaux biens d’équipement

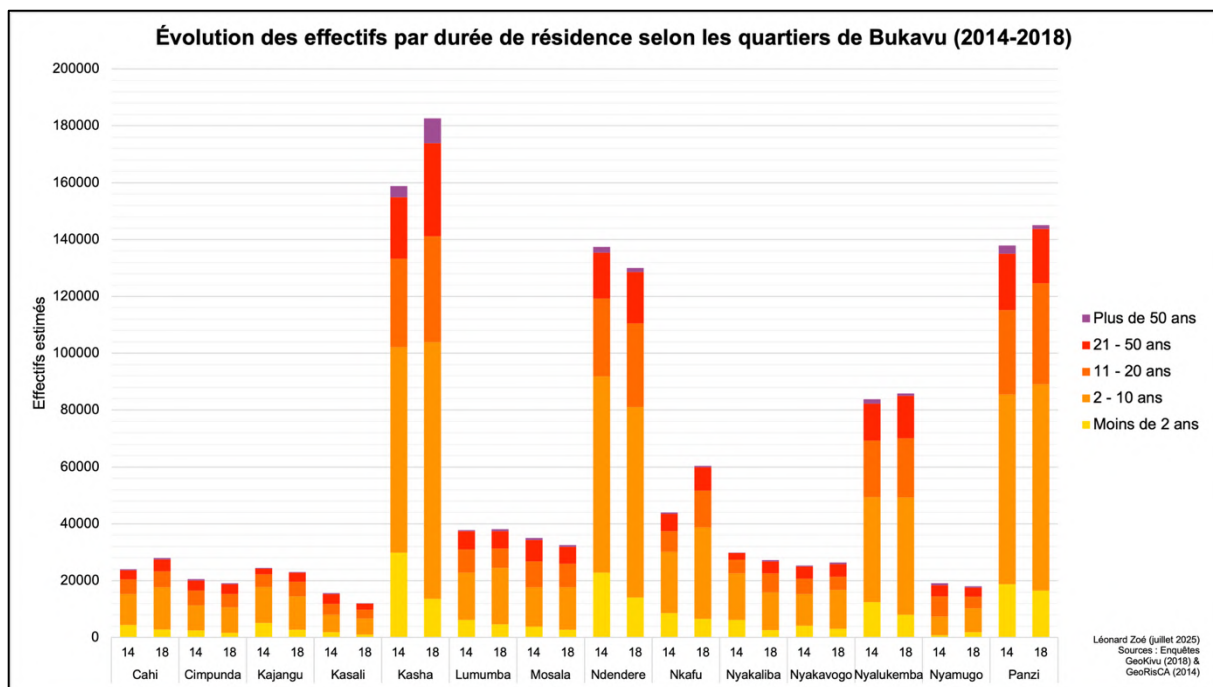
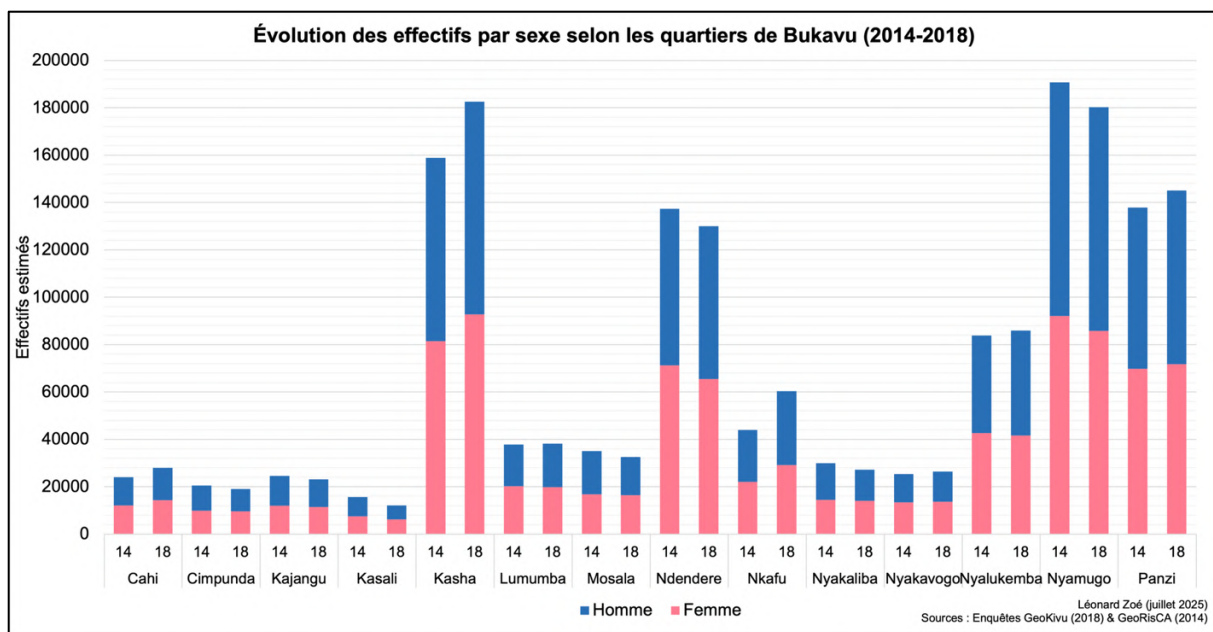
Annexe 8 : Logiques de calcul des variables dérivées à partir des données d'enquête

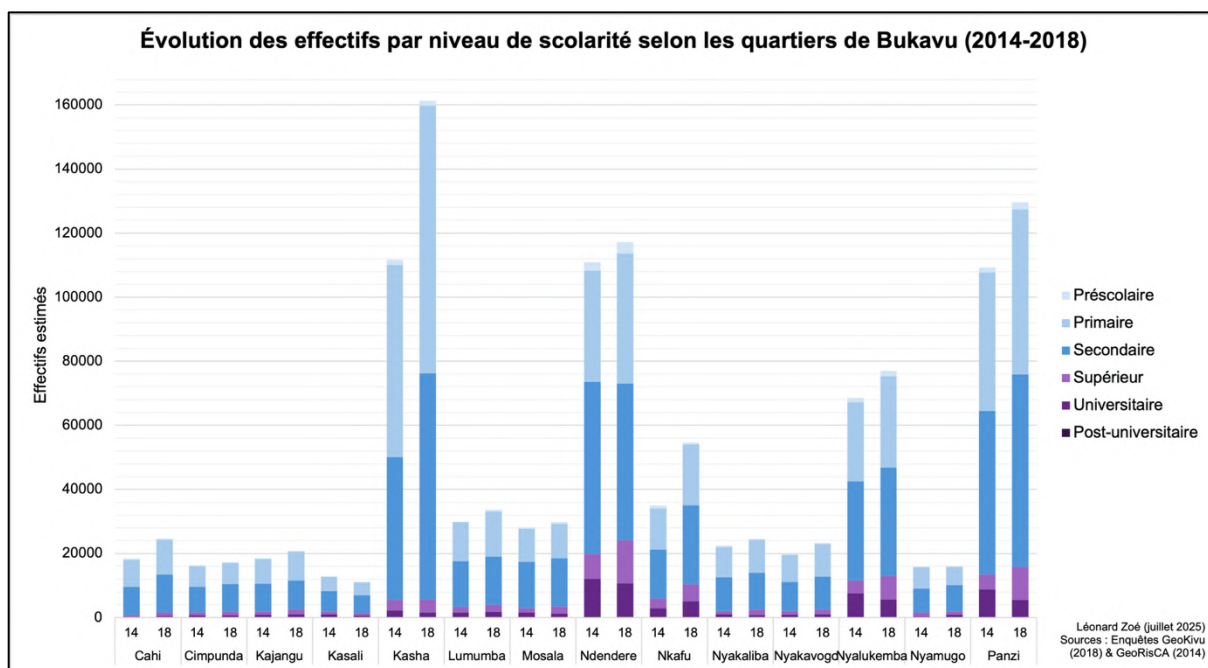
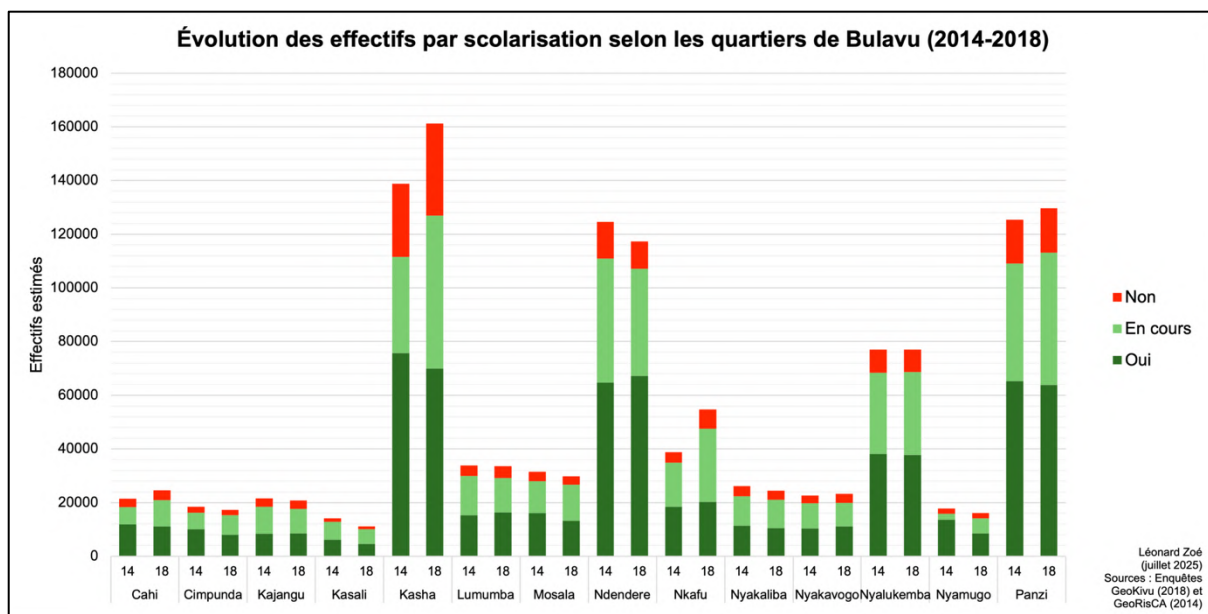
Variable	Définition	Colonnes utilisées	Logique de calcul
1. NUMIND	Nombre d'individus dans le ménage	ID_Menage_Unique	Nombre d'individus ayant le même ID ménage.
2. PROPDEP	Proportion d'individus dépendants (<16 ou >=65 ans)	B7_Age	Proportion d'individus du ménage dont l'âge <16 ou >=65.
3. MAXRESTIME	Durée maximale de résidence à Bukavu	B9_DureeResidence, B10a_LieuResidenceAnterieure, B10b_DureeResidenceAnterieure	Somme des deux durées, sauf si lieu antérieur ≠ quartiers ou communes de Bukavu. La somme maximale est prise par ménage.
4. PROPSCH	Proportion des individus (>=3 ans) scolarisés	B7_Age, B11_Ecole	Proportion des individus >=3 ans scolarisés dans le ménage (ayant répondu « oui » ou « en cours » à la colonne B11).
5. BASEEDUC	1 si au moins un individu a atteint le secondaire	B12_NiveauScolaire	Valeur 1 si au moins un individu du ménage a un niveau secondaire ou plus (ayant répondu « secondaire », « universitaire », « supérieur » ou « postuniversitaire » à la colonne B12).
6. MAXLAN	Max de langues parlées dans le ménage	B14_Langues*...	Comptage des langues déclarées par individu. Le nombre maximal est pris par ménage.
7. PROPACT	Proportion des individus actifs (>12 ans)	B7_Age, B15b_ActiviteRessources	Proportion des individus >12 ans déclarant une activité par ménage. Sont considérés comme non actifs les individus ayant répondu « aucune », « NA », « élève », « pensionné » à la colonne B15b.
8. INCOMEPI	Revenu mensuel par individu	B17_MontantRevenus	Conversion des tranches de revenus en valeurs médianes représentatives (choix de 750 US \$ pour la catégorie supérieure). Somme des revenus du ménage / nombre d'individus.
9. MOINS2INDEP	1 si moins de deux personnes entre 16-65 ans	B7_Age	Valeur 1 si nombre de personnes dans [16, 65] < 2
10. PROPWOMAN	Proportion de femmes dans le ménage	B3_Sexe	Proportion des individus de sexe « Femme » dans le ménage.
11. THRHAZARD	1 si le ménage déclare une menace d'aléa	C2a_MenaceGeohazard	Valeur 1 si "oui", 0 sinon
12. EXPHAZARD	1 si le ménage a déjà vécu un aléa	C3a_VecuGeohazard	Valeur 1 si "oui", 0 sinon
13. WALL	1 si les murs sont en matériau coûteux	D6_Murs	Valeur 1 si matériaux = béton, bloc_ciment, briques_cuites, briques_adobe, sd_crepi, sd_non_crepi.
14. ROOF	1 si le toit est en matériau coûteux	D7_Toit	Valeur 1 si tuile, tole_galv, béton, ciment.
15. FLOOR	1 si le sol est en matériau coûteux	D8_Sol	Valeur 1 si sol en ciment, carrelage, béton, pierre.
16. RADIO	1 si le ménage possède une radio	D16a_Equipem.radio	Valeur 1 si radio.
17. MOBPHONE	1 si le ménage possède un téléphone mobile	D16a_Equipem.mobile	Valeur 1 si téléphone mobile.
18. MULTIMEDIA	1 si le ménage possède TV, ordi ou lecteur DVD	D16a_Equipem.televiseur, D16a_Equipem.ordinateur, D16a_Equipem.lecteur_dvd	1 si au moins un équipement est présent.
19. BICYCLE	1 si le ménage possède un vélo	D16a_Equipem.velo	Valeur 1 si vélo.
20. MOTO	1 si le ménage possède une moto	D16a_Equipem.moto	Valeur 1 si moto.
21. CAR	1 si le ménage possède une voiture	D16a_Equipem.voiture	Valeur 1 si voiture.
22. HOUSEAREA	Surface de la maison normalisée	D2b_LongBat, D2c_LargBat	Longueur × largeur (en m²). Normalisation en min-max.

Annexe 9 : Informations démographiques par quartiers et communes

Commune	Quartier	Population 2018	Population 2014	Ménages 2018	Ménages 2014
Bagira	Cahi	27 946	24 095	4 032	3 644
	Kasha	183 459	158 868	28 046	33 664
	Lumumba	38 295	37 887	5 653	10 217
	Nyakavogo	26 861	25 517	4 022	7 033
<b>Total Bagira</b>		276 561	246 367	41 753	54 558
Ibanda	Ndendere	133 703	139 205	18 996	20 758
	Nyalukemba	86 777	84 470	11 330	11 759
	Panzi	145 947	138 406	19 032	19 499
<b>Total Ibanda</b>		366 427	362 081	49 358	52 016
Kadutu	Cimpunda	19 238	20 627	2 862	3 046
	Kajangu	23 129	24 527	3 491	3 588
	Kasali	12 288	15 685	1 796	2 375
	Mosala	32 583	35 037	4 808	5 220
	Nkafu	61 082	44 473	10 037	6 880
	Nyakaliba	27 484	30 554	4 054	4 457
	Nyamugo	18 331	19 193	2 857	2 866
<b>Total Kadutu</b>		194 135	190 096	29 905	28 432
<b>TOTAL GÉNÉRAL</b>		837 123	798 544	121 016	135 006

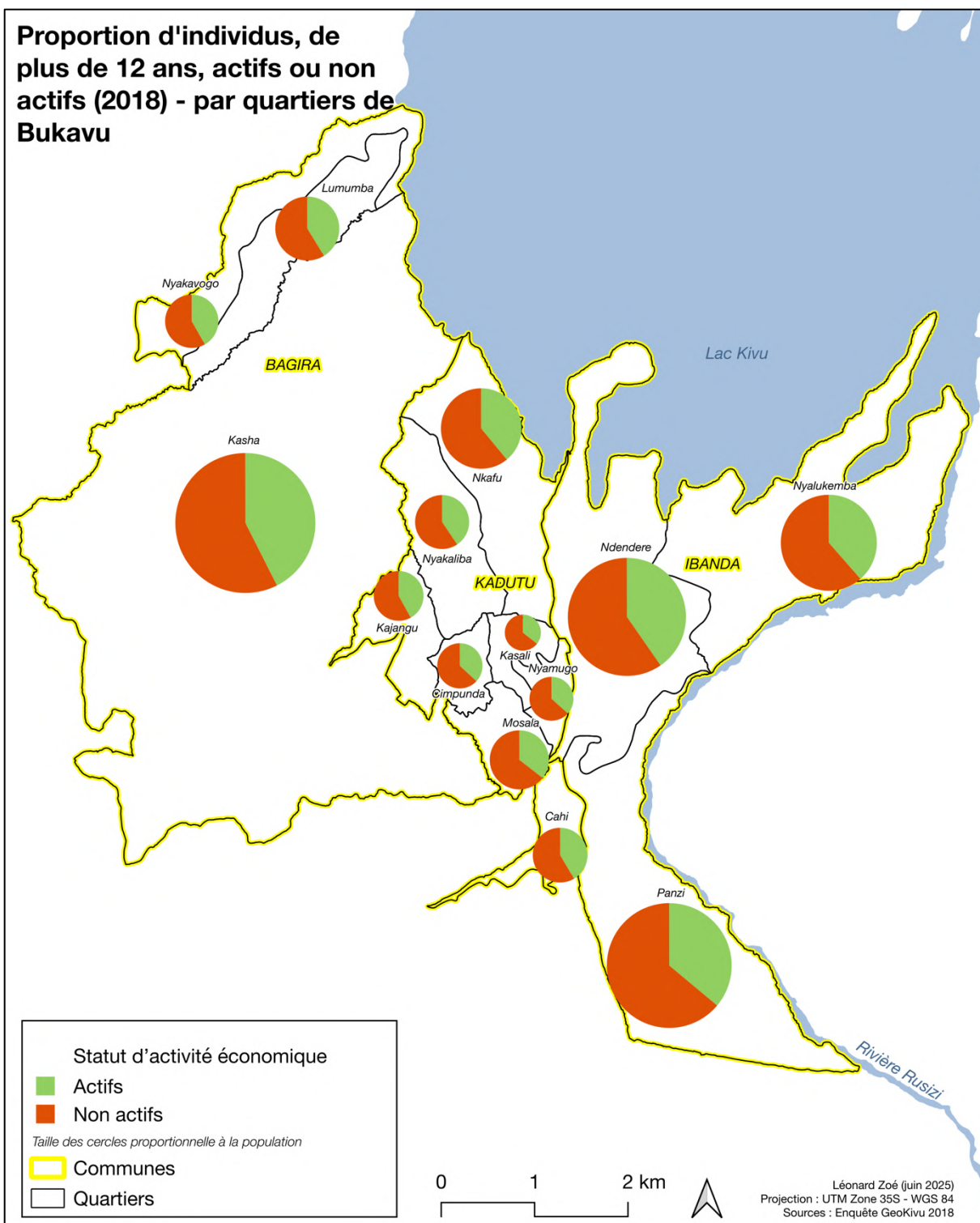




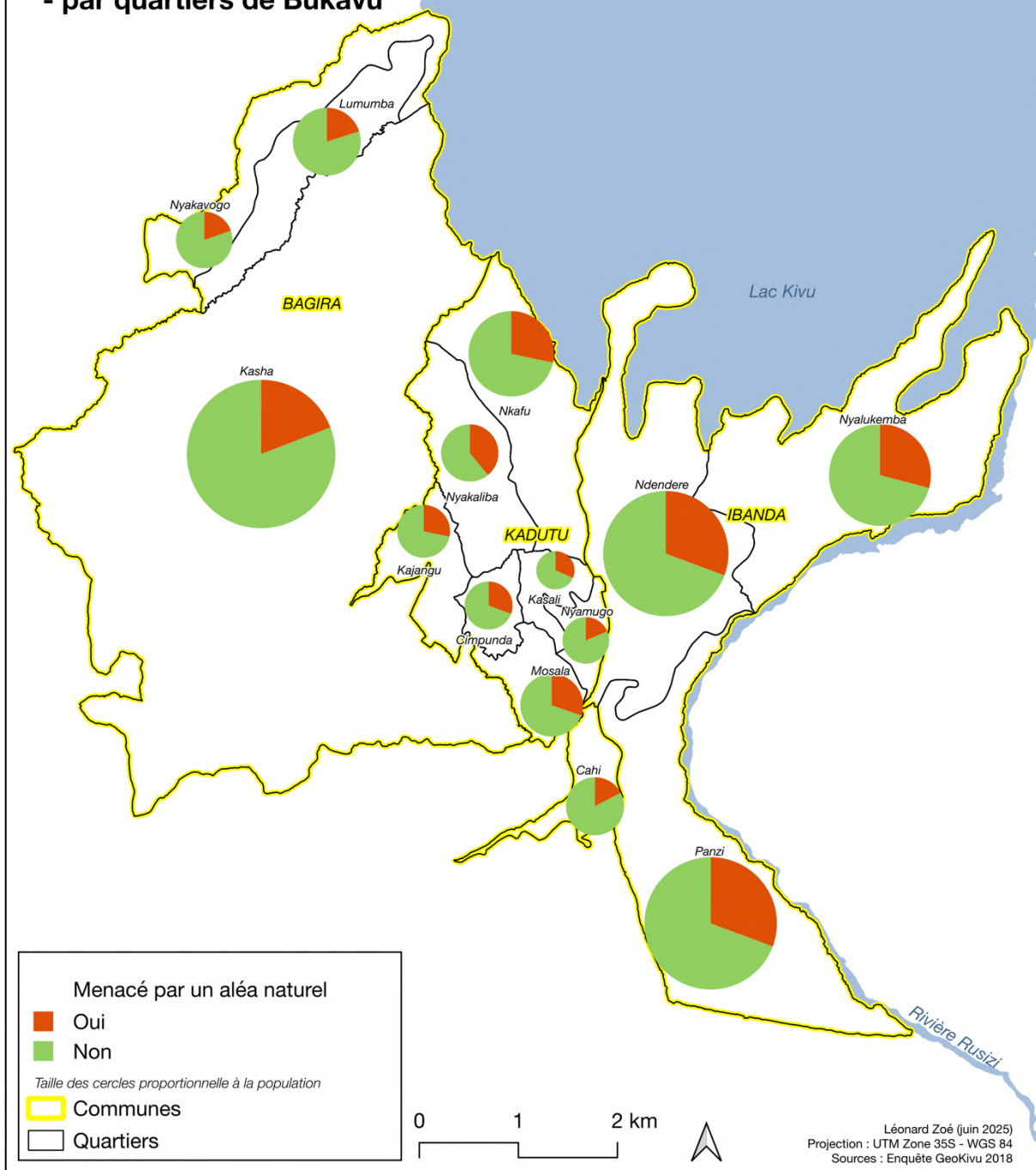




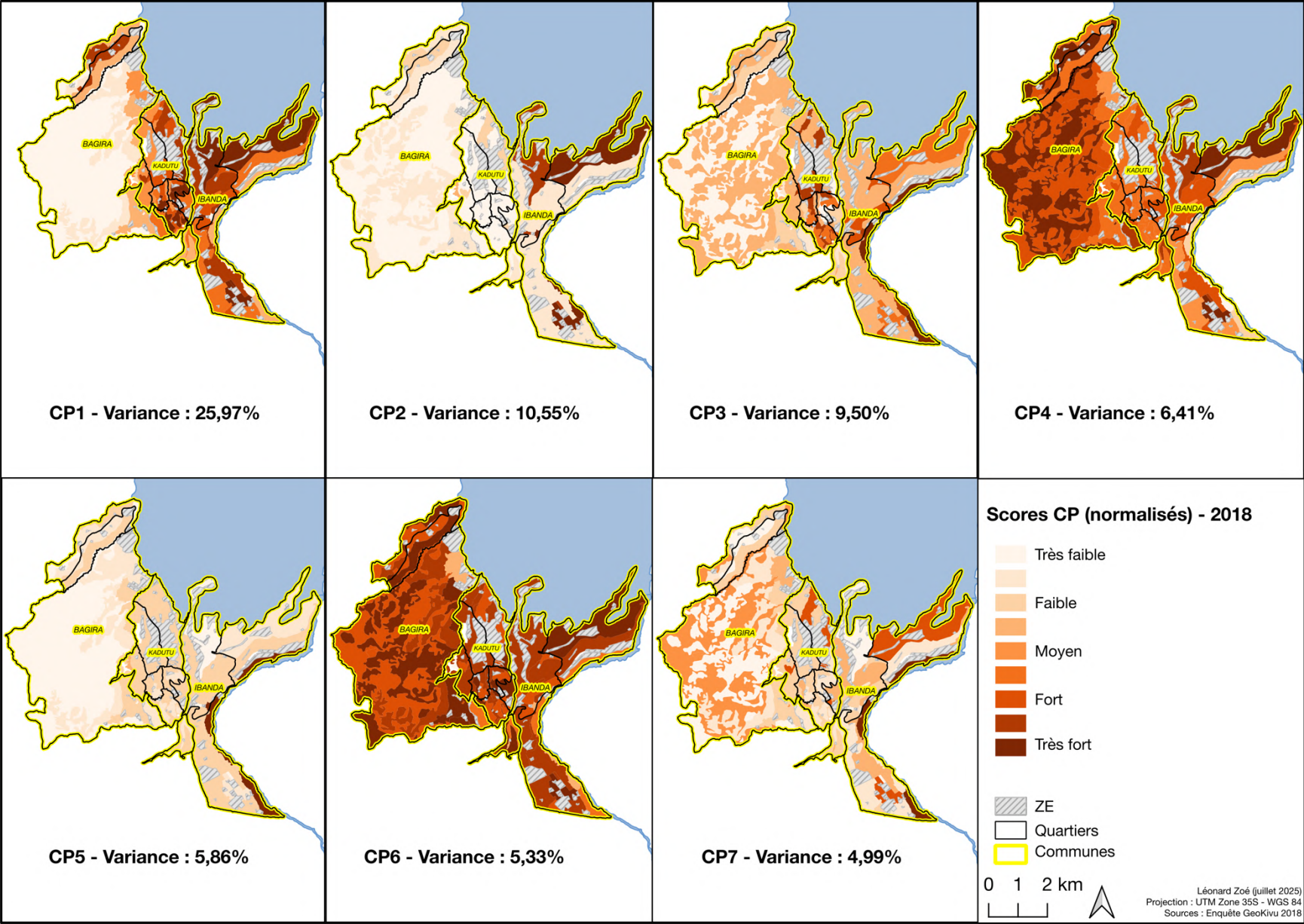
**Proportion d'individus, de plus de 12 ans, actifs ou non actifs (2018) - par quartiers de Bukavu**



**Proportion de ménages  
ayant déjà été menacés  
par un aléa naturel (2018)  
- par quartiers de Bukavu**



Annexe 11 : Cartographies des scores de CP par ZM



a) **Résultats de l'ACP nécessaire au SoVI**

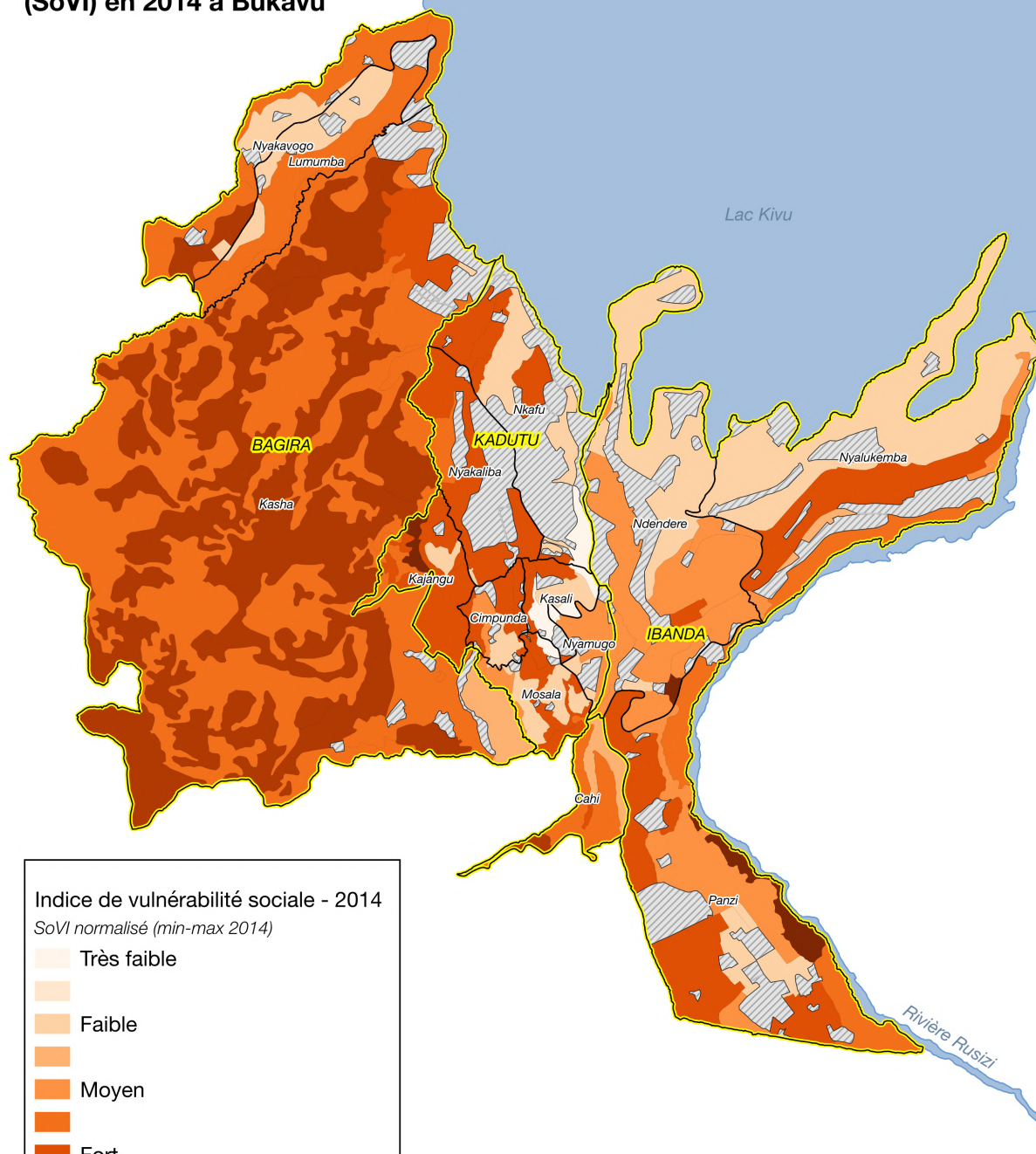
	Variance (%)	Var. Cumulée (%)	Eigenvalue	Interprétation	Variables et poids	Signe
<b>CP 1</b>	32,3	32,3	7,1	Facteurs économiques et ressources du ménage	INCOMEP (0,84) WALL (0,83) HOUSEAREA (0,79) CAR (0,74) MULTIMEDIA (0,72) BICYCLE (0,64) FLOOR (0,61)	-
<b>CP 2</b>	10,7	43,0	2,4	Education et communication	MOBILE (0,81) BASEDUC (0,80) PROPSCH (0,80) RADIO (0,62)	-
<b>CP 3</b>	10,5	53,6	2,3	Ressources et structure du ménage	NUMIND (0,75) PROPACT (-0,87)	+
<b>CP 4</b>	6,3	59,9	1,4	Perception d'une menace et vécu d'une catastrophe	EXPHAZARD (0,81) THRHAZARD (0,75)	-
<b>CP 5</b>	5,8	65,7	1,3	Structure du ménage	<2INDEP (0,69) PROPWOMAN (0,65)	+
<b>CP 6</b>	4,6	70,3	1,0	Facteurs économiques	MOTO (0,78)	-

(Michellier, 2017)

b) **Cartographies**



# Indice de vulnérabilité sociale (SoVI) en 2014 à Bukavu



## Indice de vulnérabilité sociale - 2014

SoVI normalisé (min-max 2014)

Très faible

Faible

Moyen

Fort

Très fort

ZE

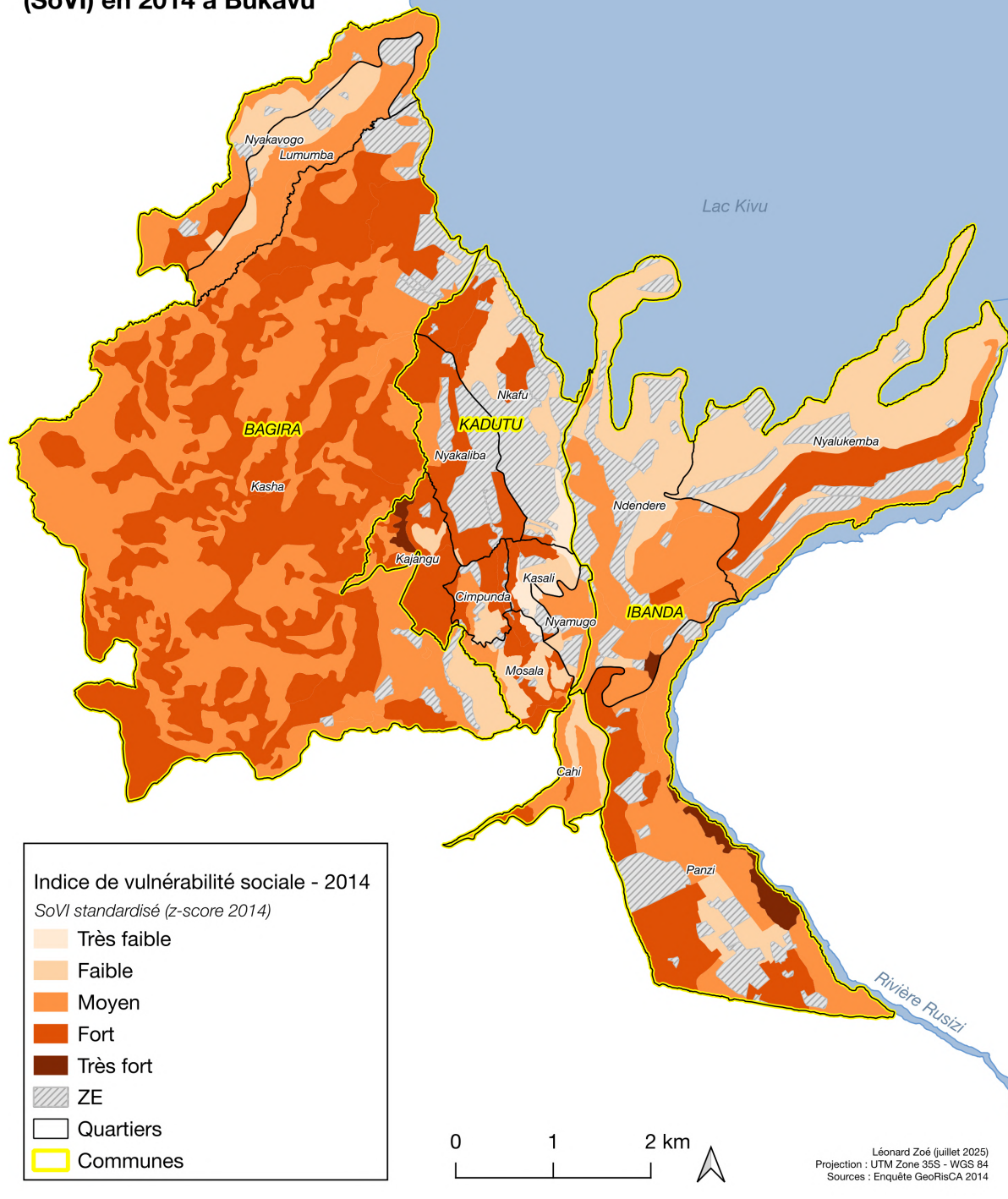
Quartiers

Communes

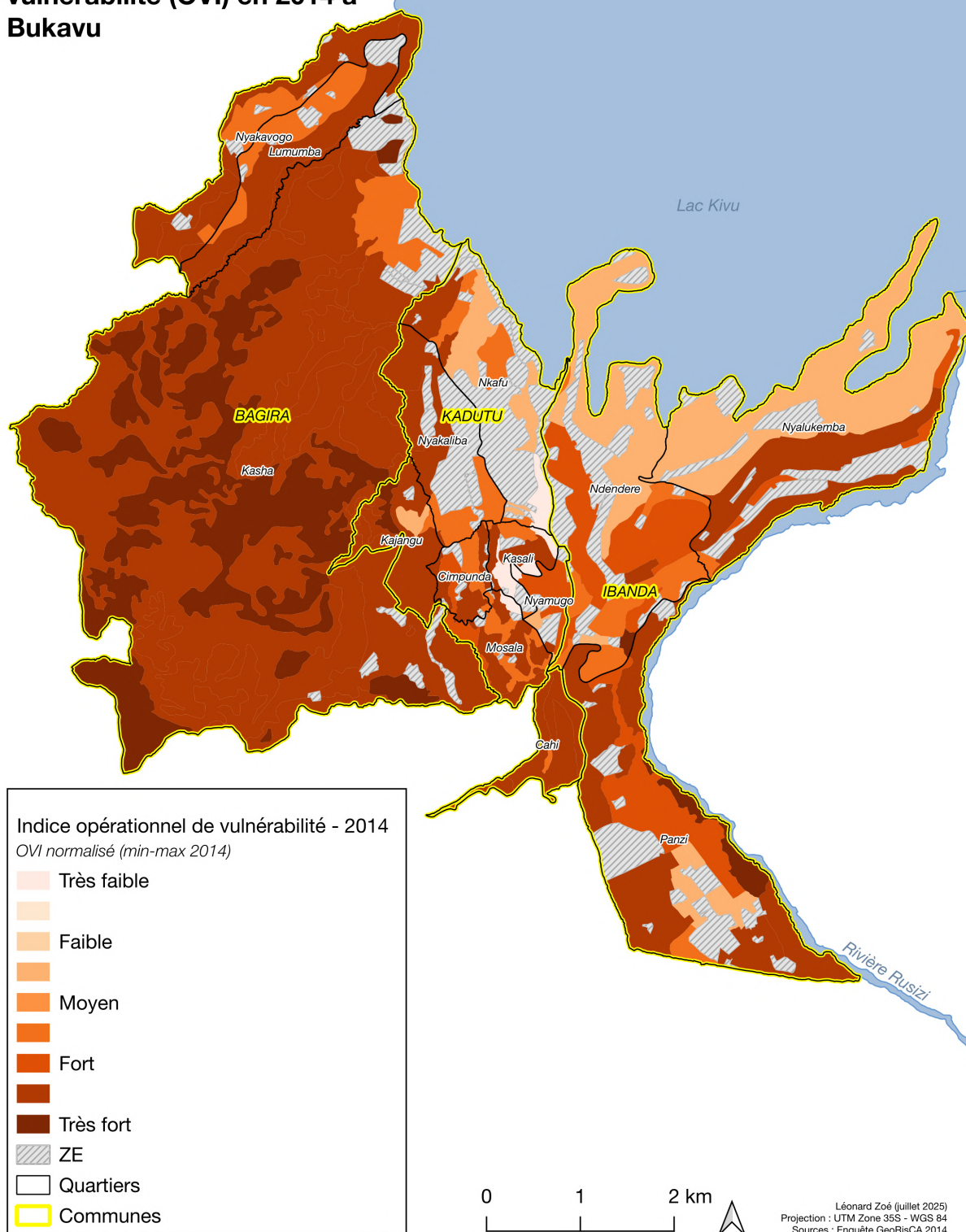
0 1 2 km

Léonard Zoé (juillet 2025)  
Projection : UTM Zone 35S - WGS 84  
Sources : Enquête GeoRisCA 2014

# Indice de vulnérabilité sociale (SoVI) en 2014 à Bukavu

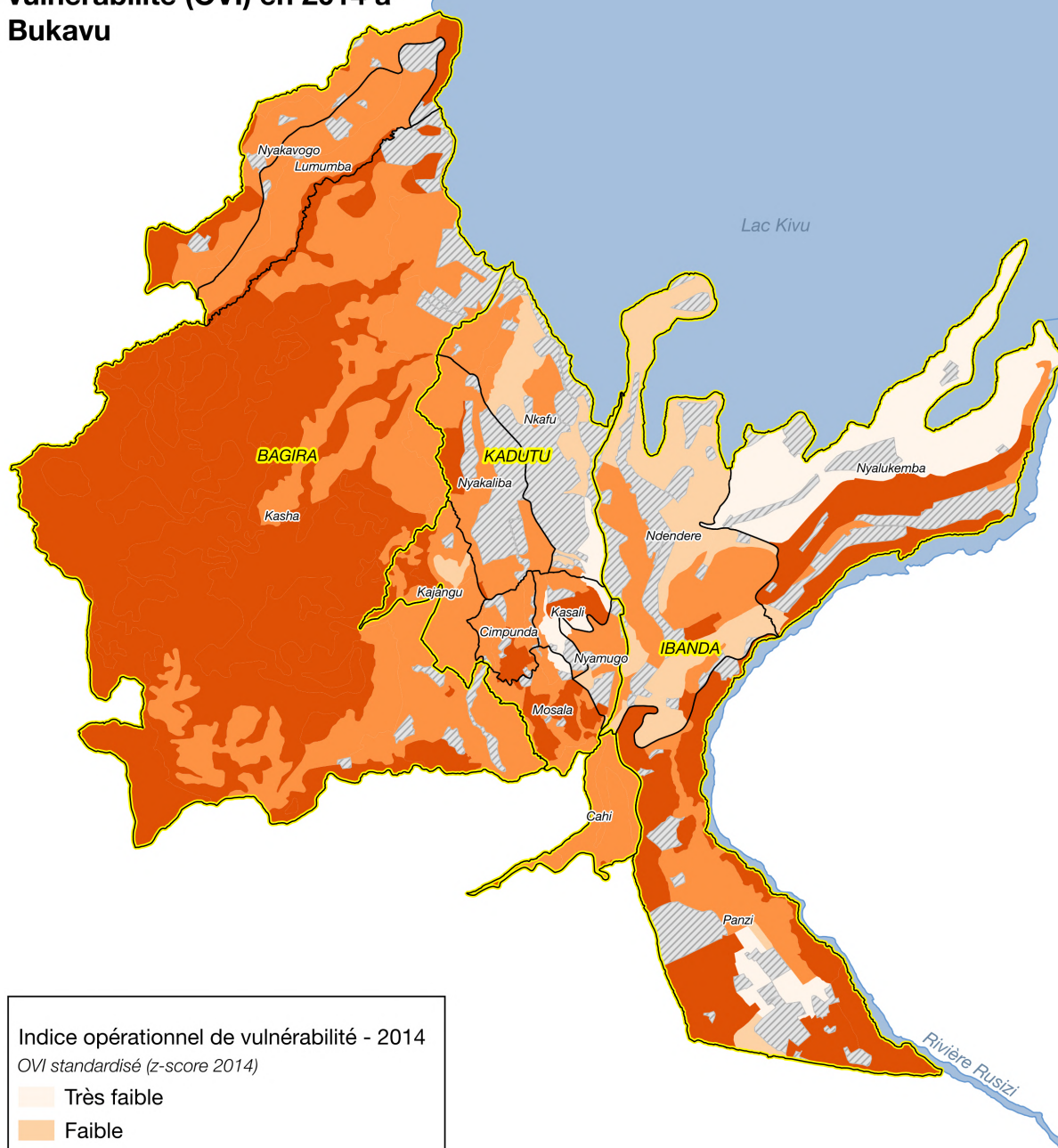


# Indice opérationnel de vulnérabilité (OVI) en 2014 à Bukavu





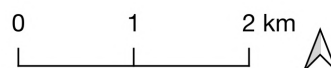
# Indice opérationnel de vulnérabilité (OVI) en 2014 à Bukavu



## Indice opérationnel de vulnérabilité - 2014

OVI standardisé (z-score 2014)

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort (non présent)
- ZE
- Quartiers
- Communes



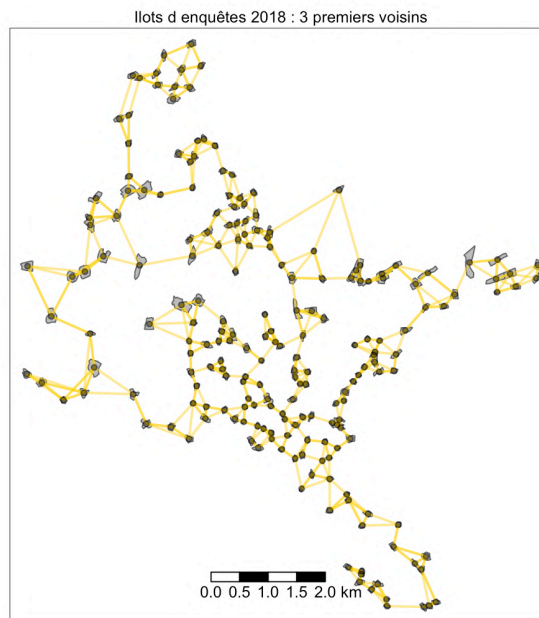
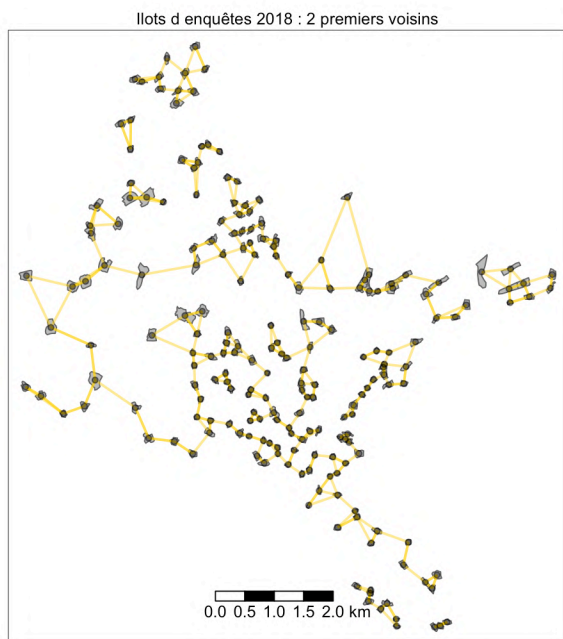
Léonard Zoé (juillet 2025)  
Projection : UTM Zone 35S - WGS 84  
Sources : Enquête GeoRisCA 2014

Annexe 13 : Tableau récapitulatif des valeurs des indices SoVI et OVI par zone morphologique selon le type de standardisation/normalisation

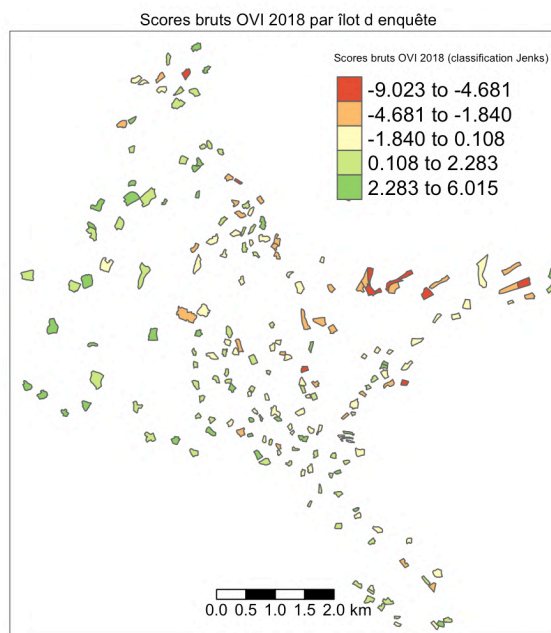
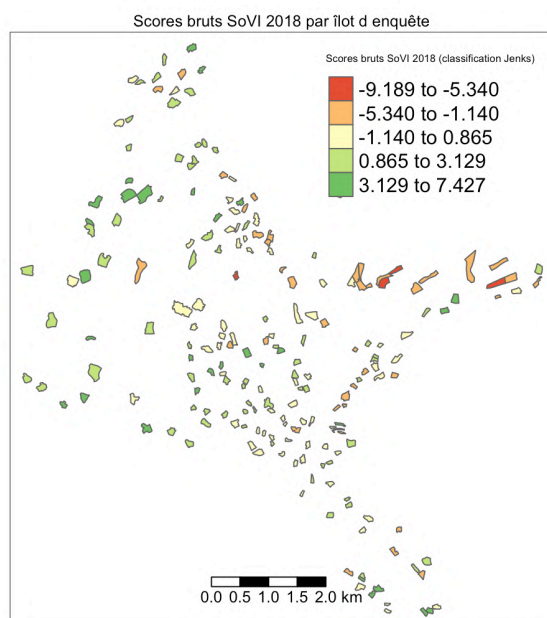
SoVI 2014							SoVI 2018							Evolution du SoVI entre 2014 et 2018		
zm	score brut	score norm	score stand annuelle	classe stand annuelle	score stand generale	classe stand general	zm	score brut	score norm	score stand annuelle	classe stand annuelle	score stand generale	classe stand general	zm	différence scores standardisation generale	evolution
B0	-0,1	0,6	0,1	Moyen	-0,2	Moyen	B0	2,0	0,8	0,8	Fort	1,1	Fort	B0	1,3	Augmentation modérée
B1	-1,5	0,4	-0,8	Faible	-1,1	Faible	B1	0,6	0,6	-0,1	Moyen	0,3	Moyen	B1	1,3	Augmentation modérée
B2	0,9	0,7	0,8	Fort	0,5	Moyen	B2	1,0	0,7	0,2	Moyen	0,5	Moyen	B2	0,0	Stable
B3	0,0	0,6	0,2	Moyen	-0,1	Moyen	B3	2,1	0,9	0,9	Fort	1,2	Fort	B3	1,3	Augmentation modérée
B4	1,3	0,8	1,0	Fort	0,7	Fort	B4	2,1	0,9	0,9	Fort	1,2	Fort	B4	0,5	Stable
B5	1,4	0,8	1,1	Fort	0,7	Fort	B5	3,0	1,0	1,5	Fort	1,7	Très fort	B5	1,0	Augmentation modérée
B6	-1,7	0,3	-1,0	Faible	-1,2	Faible	B6	-0,2	0,5	-0,6	Faible	-0,3	Moyen	B6	0,9	Augmentation modérée
I0	-0,1	0,6	0,1	Moyen	-0,2	Moyen	I0	2,0	0,8	0,8	Fort	1,1	Fort	I0	1,3	Augmentation modérée
I1	-0,3	0,5	0,0	Moyen	-0,3	Moyen	I1	-0,5	0,5	-0,8	Faible	-0,5	Moyen	I1	-0,1	Stable
I10	-1,4	0,4	-0,7	Faible	-1,0	Faible	I10	0,1	0,6	-0,4	Moyen	-0,1	Moyen	I10	0,9	Augmentation modérée
I2	0,6	0,7	0,6	Fort	0,3	Moyen	I2	1,5	0,8	0,5	Moyen	0,8	Fort	I2	0,5	Augmentation modérée
I3	-0,6	0,5	-0,2	Moyen	-0,5	Faible	I3	0,1	0,6	-0,4	Moyen	-0,1	Moyen	I3	0,4	Stable
I4	2,3	1,0	1,8	Très fort	1,3	Fort	I4	3,0	1,0	1,5	Très fort	1,8	Très fort	I4	0,4	Stable
I5	-1,8	0,3	-1,0	Faible	-1,3	Faible	I5	-1,6	0,3	-1,5	Très faible	-1,1	Faible	I5	0,1	Stable
I6	-1,7	0,3	-1,0	Faible	-1,2	Faible	I6	-3,6	0,0	-2,8	Très faible	-2,4	Très faible	I6	-1,2	Diminution modérée
K0	-0,1	0,6	0,1	Moyen	-0,2	Moyen	K0	2,0	0,8	0,8	Fort	1,1	Fort	K0	1,3	Augmentation modérée
K1	-0,8	0,5	-0,3	Moyen	-0,6	Faible	K1	1,0	0,7	0,2	Moyen	0,5	Moyen	K1	1,1	Augmentation modérée
K2	0,5	0,7	0,5	Fort	0,2	Moyen	K2	0,3	0,6	-0,3	Moyen	0,0	Moyen	K2	-0,1	Stable
K3	-2,1	0,3	-1,2	Faible	-1,4	Faible	K3	-0,8	0,4	-1,0	Faible	-0,7	Faible	K3	0,8	Augmentation modérée
K4	0,8	0,7	0,7	Fort	0,3	Moyen	K4	1,7	0,8	0,6	Fort	0,9	Fort	K4	0,6	Augmentation modérée
K5	2,5	1,0	1,9	Très fort	1,4	Fort	K5	0,3	0,6	-0,3	Moyen	0,1	Moyen	K5	-1,4	Diminution modérée
K6	-1,8	0,3	-1,0	Faible	-1,3	Faible	K6	0,2	0,6	-0,4	Moyen	0,0	Moyen	K6	1,2	Augmentation modérée
K7	-3,6	0,0	-2,3	Très faible	-2,4	Très faible	K7	1,0	0,7	0,2	Moyen	0,5	Moyen	K7	2,9	Forte augmentation
B7	0,4	0,7	0,4	Moyen	/	/										

OVI 2014							OVI 2018							Evolution du OVI entre 2014 et 2018		
zm	score brut	score norm	score stand annuelle	classe stand annuelle	score stand generale	classe stand general	zm	score brut	score norm	score stand annuelle	classe stand annuelle	score stand generale	classe stand general	zm	différence scores standardisation generale	evolution
B0	0,7	0,8	0,5	Fort	0,5	Fort	B0	1,9	1,0	1,3	Fort	1,3	Fort	B0	0,8	Augmentation modérée
B1	0,6	0,8	0,5	Moyen	0,5	Moyen	B1	0,5	0,8	0,4	Moyen	0,4	Moyen	B1	-0,1	Stable
B2	-0,5	0,7	-0,2	Moyen	-0,2	Moyen	B2	1,9	1,0	1,3	Fort	1,3	Fort	B2	1,5	Augmentation modérée
B3	0,5	0,8	0,4	Moyen	0,4	Moyen	B3	0,8	0,8	0,6	Fort	0,6	Fort	B3	0,2	Stable
B4	0,4	0,8	0,3	Moyen	0,4	Moyen	B4	0,9	0,8	0,6	Fort	0,7	Fort	B4	0,3	Stable
B5	1,8	1,0	1,2	Fort	1,2	Fort	B5	1,6	0,9	1,1	Fort	1,1	Fort	B5	-0,1	Stable
B6	-0,9	0,6	-0,4	Moyen	-0,4	Moyen	B6	-2,1	0,3	-1,2	Faible	-1,2	Faible	B6	-0,7	Diminution modérée
I0	0,7	0,8	0,5	Fort	0,5	Fort	I0	-0,1	0,7	0,0	Moyen	0,1	Moyen	I0	-0,5	Stable
I1	-1,2	0,6	-0,6	Faible	-0,6	Faible	I1	-1,6	0,4	-0,9	Faible	-0,9	Faible	I1	-0,2	Stable
I10	-0,2	0,7	0,0	Moyen	0,0	Moyen	I10	-0,2	0,7	0,0	Moyen	0,0	Moyen	I10	0,0	Stable
I2	0,9	0,9	0,7	Fort	0,7	Fort	I2	1,0	0,8	0,7	Fort	0,7	Fort	I2	0,0	Stable
I3	-0,4	0,7	-0,1	Moyen	-0,1	Moyen	I3	-0,2	0,7	0,0	Moyen	0,0	Moyen	I3	0,1	Stable
I4	1,3	0,9	0,9	Fort	0,9	Fort	I4	-0,5	0,6	-0,2	Moyen	-0,2	Moyen	I4	-1,1	Diminution modérée
I5	-2,4	0,4	-1,3	Faible	-1,4	Faible	I5	-4,1	0,0	-2,5	Très faible	-2,4	Très faible	I5	-1,1	Diminution modérée
I6	-2,8	0,3	-1,6	Très faible	-1,6	Très faible	I6	-3,7	0,1	-2,2	Très faible	-2,2	Très faible	I6	-0,6	Diminution modérée
K0	0,7	0,8	0,5	Fort	0,5	Fort	K0	1,9	1,0	1,3	Fort	1,3	Fort	K0	0,8	Augmentation modérée
K1	-0,1	0,7	0,1	Moyen	0,1	Moyen	K1	0,8	0,8	0,6	Fort	0,6	Fort	K1	0,5	Augmentation modérée
K2	-0,9	0,6	-0,4	Moyen	-0,4	Moyen	K2	-0,7	0,6	-0,4	Moyen	-0,3	Moyen	K2	0,1	Stable
K3	-2,3	0,4	-1,3	Faible	-1,3	Faible	K3	-0,1	0,7	0,1	Moyen	0,1	Moyen	K3	1,4	Augmentation modérée
K4	0,5	0,8	0,4	Moyen	0,4	Moyen	K4	0,4	0,7	0,3	Moyen	0,4	Moyen	K4	-0,1	Stable
K5	1,9	1,0	1,3	Fort	1,3	Fort	K5	-0,3	0,6	-0,1	Moyen	0,0	Moyen	K5	-1,4	Diminution modérée
K6	1,0	0,9	0,7	Fort	0,8	Fort	K6	-0,3	0,6	-0,1	Moyen	-0,1	Moyen	K6	-0,8	Diminution modérée
K7	-5,2	0,0	-3,0	Très faible	-3,1	Très faible	K7	-1,2	0,5	-0,7	Faible	-0,6	Faible	K7	2,5	Forte augmentation
B7	1,5	0,9	1,0	Fort	/	/										

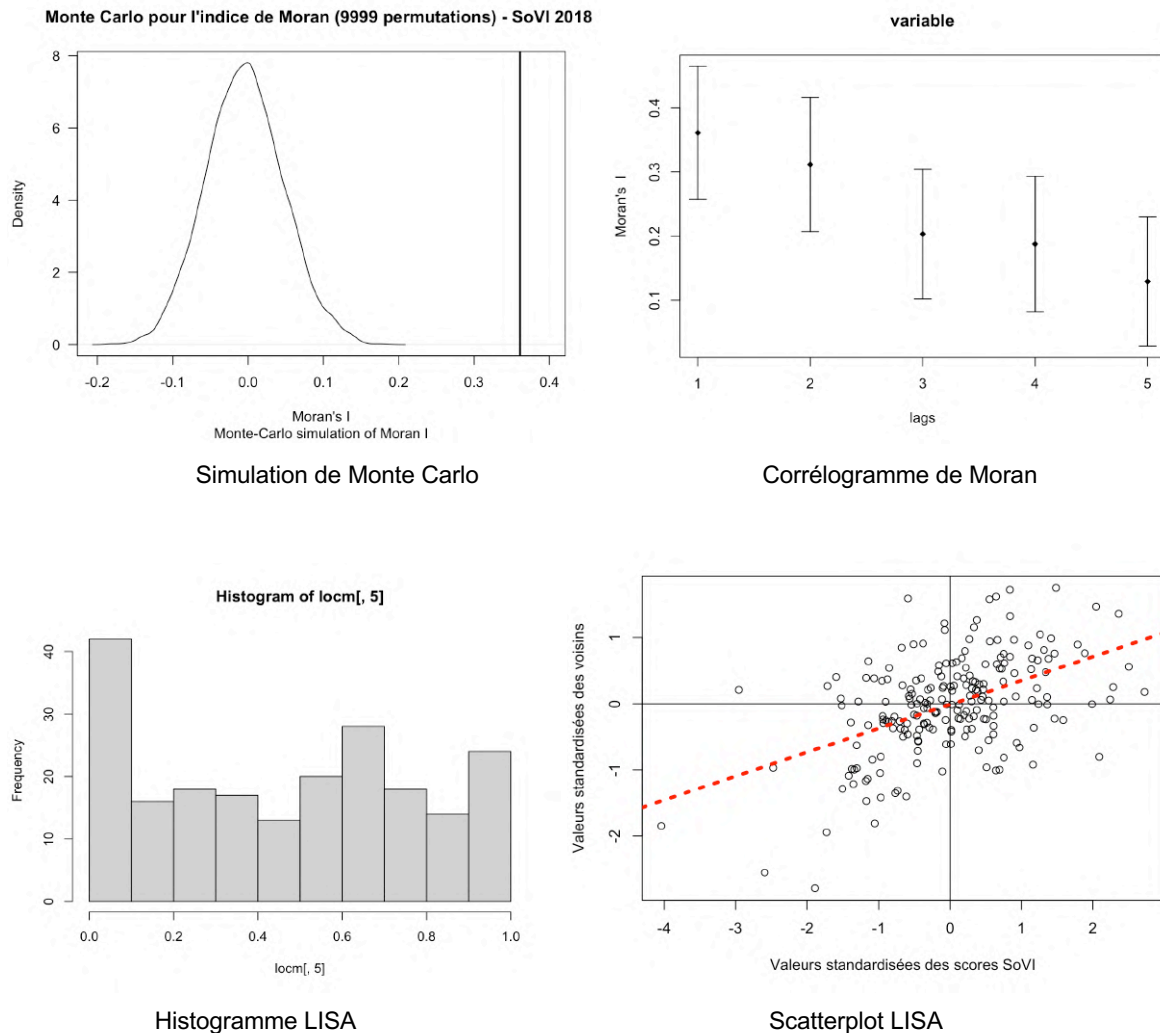
**a) Méthodes de voisinage**



**b) Scores bruts par îlot d'enquête 2018**



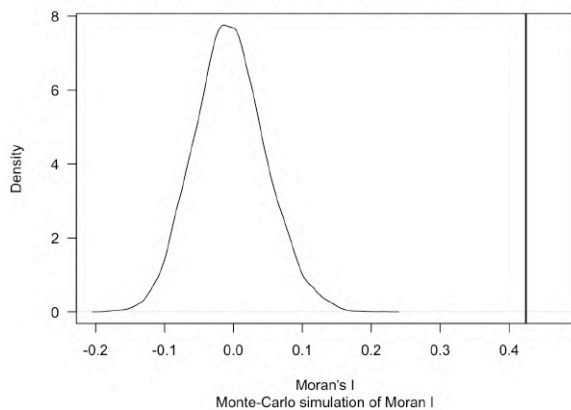
a) **SoVI**



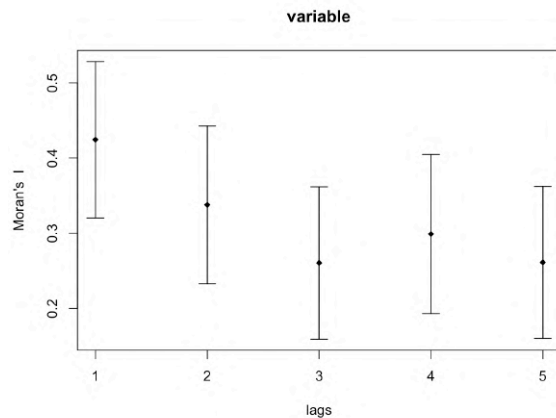
- Simulation de Monte Carlo : valeur observée nettement hors de la distribution aléatoire, ce qui signifie une autocorrélation significative.
- Corrélogramme de Moran : cinq premiers ordres significatifs, avec une intensité décroissante avec l'augmentation de l'ordre/distance.
- Histogramme indice local de Moran : distribution des p-values par îlot ; seulement une partie < 0,05, tous les îlots ne sont donc pas significatifs.
- Scatterplot indice local de Moran : score de l'îlot en fonction des scores des voisins ; quadrants High-High & Low-Low dominants, ce qui signifie une autocorrélation positive.

## b) OVI

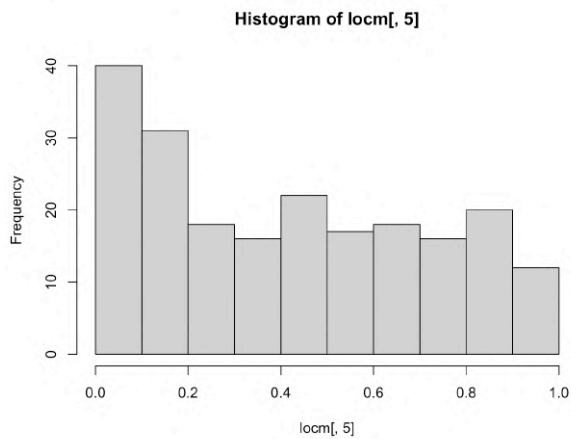
Monte Carlo pour l'indice de Moran (9999 permutations) - OVI 2018



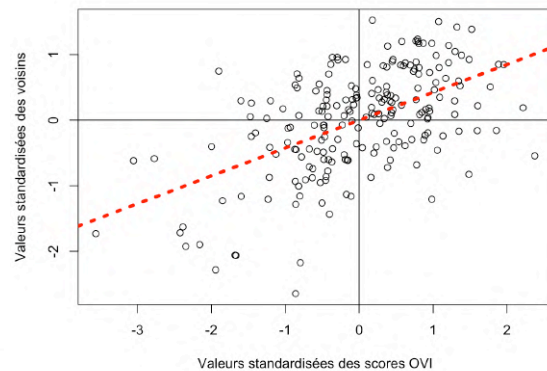
Simulation de Monte Carlo



Corrélogramme de Moran



Histogramme



Scatterplot

- Simulation de Monte Carlo : valeur observée nettement hors de la distribution aléatoire, ce qui signifie une autocorrélation significative.
- Corrélogramme de Moran : cinq premiers ordres significatifs, avec une intensité décroissante avec l'augmentation de l'ordre/distance.
- Histogramme indice local de Moran : distribution des p-values par îlot ; seulement une partie  $< 0,05$ , tous les îlots ne sont donc pas significatifs.
- Scatterplot indice local de Moran : score de l'îlot en fonction des scores des voisins ; quadrants High-High & Low-Low dominants, ce qui signifie une autocorrélation positive.



Annexe 16 : Résultats du SoVI 2018 selon un choix différent d'influence pour la CP 6

Composante principale (CP)	Variance (%)	Variance cumulée (%)	Valeur propre (Eigenvalue)	Interprétation principale	Variables représentatives et charges	Impact sur la vulnérabilité
CP 1	25,97	25,97	5,71	Facteurs économiques et ressources du ménage	PROPSCH (+0,857), FLOOR (+0,833), BASEEDUC (+0,783), WALL (+0,784), MULTIMEDIA (+0,779)	-
CP 2	10,55	36,51	2,32	Facteurs économiques et ressources du ménage	CAR (+0,737), INCOMEIP (+0,692), HOUSEAREA (+0,656)	-
CP 3	9,50	46,01	2,09	Perception de risque et expérience de catastrophe passée	EXPHAZARD (+0,971), THRHAZARD (+0,963)	-
CP 4	6,41	52,42	1,41	Structure du ménage	PROPACT (0,624), PROPDEP (-0,703), NUMIND (-0,625)	-
CP 5	5,86	58,28	1,29	Ressource du ménage et connaissance de Bukavu	MOTO (+0,693), MAXRESTIME (-0,693)	abs
CP 6	5,33	63,61	1,17	Accès à la communication	RADIO (0,719), MOBPPHONE (-0,620)	abs
CP 7	4,99	68,60	1,10	Structure du ménage	PROPWOMAN (-0,868)	-

