



Technical Report No. VI

FLOODS VULNERABILITY INDEX “GRAND OUAGA AREA” (BURKINA FASO)



Start date of project: 01 June 2015

Duration: 48 months

Lead partner for the report: **2iE**

Authors: H. KARAMBIRI, FOWE TAZEN, K. TRAORE, M. BOLOGO/TRAORE, L. A. MOUNIROU G. COULIBALY



AMMA-2050 is funded under the Future Climate for Africa Programme which is supported by funding from the NERC and DFID

The AMMA-2050 project started 01/06/2015 and will continue for 4 years.

Title:	Future Pilot Floods
Authors:	H. KARAMBIRI, FOWE TAZEN, K. TRAORE, M. BOLOGO/TRAORE, L. A. MOUNIROU, G. COULIBALY,
Organisations:	2iE
Submission date:	March 2019
Function:	This report is an output from Work Package 6; task 6.3.3
Available from	<insert web link>

'The research leading to these results has received (partial) funding from the NERC/DFID Future Climate For Africa programme under the AMMA-2050 project, grant number NEC05274.

Publishable Summary

Nowadays, no territory escapes the disaster events dominated by the floods which prove very disastrous especially in urban areas. Thus, it becomes essential to improve our understanding of the vulnerability of people to floods in order to provide useful information to decision-makers and people to enable them to take measures for adaptation by enhancing their ability to anticipate. One of the most important objectives of flood vulnerability assessment is to create an easily understandable link between the theoretical concepts of flood vulnerability and the day-to-day decision-making process. This research focuses on assessing the vulnerability index in "Grand Ouaga" area in Burkina Faso based on exposure, susceptibility and resilience to urban floods. From this vulnerability index, it is possible to determine which areas are more vulnerable to flooding with regard to the different components of the system, namely social, economic, environmental and physical.

The results show that on social component, district 3 of the city of Ouagadougou stands out as the most vulnerable to urban flooding, mainly because of the high number of people living in flood-prone areas, the density of population and the small number of health centers. The rural commune of Loumbila is the one less socially vulnerable to flooding. Economically, districts 2, 4 and 10 of the city of Ouagadougou are the most vulnerable to flooding. The economy of these districts will recover very slowly after the floods mainly due to the presence of a large number of industries in these zones. The Gounghin industrial area is located at district 2 while the Kossodo industrial area is located between district 4 and 10. District 12 is the least economically vulnerable in Ouagadougou due to the fact that this district is more residential than commercial zone. It also appears that all the districts of the urban commune of Ouagadougou are classified economically more vulnerable to flooding than the surrounding rural communes. Among the rural communes, Saaba commune is the most vulnerable due to an intense urbanization and its proximity to Ouagadougou, which allows the development of economic activities in this commune. In terms of the environmental component, the most vulnerable area to flooding is district 10 of the city of Ouagadougou due to the presence of Massili River and its tributaries. It also appears that districts 8 and 9 in the city of Ouagadougou and two rural communes (Saaba and Komsilga) are almost at the same level of environmental vulnerability. The lowest vulnerabilities are observed in other rural communes (Loumbila, Koubri, Tanghin-Dassouri, Pabré and Komki-Ipala). On a physical level, the district 8 of the city of Ouagadougou is the most vulnerable to urban flooding due to the low water storage capacity of the dams, the low presence of drainage network channels and the topographic with weak slopes. The rural communes except Komki-Ipala are more vulnerable than the districts of the city of Ouagadougou. Overall, districts 2, 3 and 10 of the city of Ouagadougou were identified as areas with very high vulnerability to floods. The rural commune of Loumbila is the least vulnerable territory to the floods in 2018 in the "Grand Ouaga" area.

In general, this research has provided an overview of the vulnerability of the population to floods and the potential effects of adaptation options. This will allow public authorities and populations to direct resources towards more in-depth investigations of the efficient strategies. However, it is necessary to set up a continuous monitoring system of the flood vulnerability index in "Grand Ouaga" area in order to show a trend in the development of the area over the time and also provide information on the concrete measures for flood preparedness.

Keywords: Vulnerability index, floods, "Grand Ouaga" area, Burkina Faso

TABLE DE MATIERE

RESUME.....	Erreur ! Signet non défini.
ABSTRACT	Erreur ! Signet non défini.
TABLE DE MATIERE	5
SIGLES ET ABREVIATIONS	6
LISTE DES TABLEAUX.....	7
LISTES DES FIGURES.....	7
INTRODUCTION.....	8
1. CLARIFICATION CONCEPTUELLE.....	10
1.1 Concept de vulnérabilité.....	10
1.2 Facteurs de vulnérabilité aux inondations.....	12
1.2.1 Exposition	12
1.2.2 Susceptibilité.....	13
1.2.3 Résilience	13
1.3 Composantes de vulnérabilité	13
1.3.1 La composante sociale	13
1.3.2 La composante économique.....	14
1.3.3 La composante environnementale.....	14
1.3.4 La composante physique.....	14
2. METHODOLOGIE D’ESTIMATION DE L’INDICE DE VULNERABILITE AUX INONDATIONS	15
2.1 Indicateurs de vulnérabilité	16
2.2. Equation générale pour le calcul de l’IVI	20
3. APPLICATION DE LA METHODOLOGIE DE L’IVI DANS L’ESPACE GRAND OUAGA	26
3.1 Présentation du territoire Grand Ouaga.....	26
4.2 Sources des données.....	28
3.3 Résultats de l’IVI pour chaque composante de la vulnérabilité.....	33
3.3.1 IVI pour la composante sociale.....	33
3.3.2 IVI pour la composante économique	34
3.3.3. IVI pour la composante environnementale	35
3.3.4 IVI pour la composante physique	37
3.4 IVI global pour le « Grand Ouaga ».....	38
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	40
RÉFÉRENCES	41
ANNEXE	44

SIGLES ET ABREVIATIONS

AMMA-2050:	Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine à l'horizon 2050
IVI:	Indice de Vulnérabilité aux Inondations
GIEC:	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
SP/CONASUR:	Secrétariat Permanent du Conseil National de Secours d'Urgence et de Réhabilitation
PNUD:	Programme des Nations Unies pour le Développement
FICR:	Fédération Internationale de la Croix Rouge

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Relation entre composantes et facteurs de vulnérabilité	17
Tableau 2 : Indicateurs de la composante sociale	22
Tableau 3 : Indicateurs de la composante économique.....	23
Tableau 4 : Indicateurs de la composante environnementale.....	24
Tableau 5 : Indicateurs de la composante physique.....	24
Tableau 6 : Zones de vulnérabilité à l'aléa	25
Tableau 7 : Liste des douze arrondissements de Ouagadougou, leurs secteurs et leurs quartiers	28
Tableau 8 : Exemple de valeurs des indicateurs pour chaque composante de vulnérabilité.....	30

LISTES DES FIGURES

Figure 1 : Facteurs de vulnérabilité aux inondations	12
Figure 2 : Carte administrative de l'espace « Grand Ouaga ».....	26
Figure 3 : IVI pour la composante sociale.	34
Figure 4 : IVI pour la composante économique	35
Figure 5 : IVI pour la composante environnementale	36
Figure 6 : IVI pour la composante physique	37
Figure 7 : IVI global pour le territoire « Grand Ouaga »	38
Figure 8 : Etat de la vulnérabilité aux inondations dans l'espace « Grand Ouaga ».....	39

INTRODUCTION Dans l’histoire de l’humanité, les catastrophes naturelles ont toujours existé et constituent un phénomène récurrent (**Gbeassor et al., 2006**). Cependant, depuis quelques décennies, elles semblent advenir à un rythme plus accéléré et semblent être potentiellement plus dévastatrices (**Sokemawu, 2017**). De nos jours, aucun territoire n’échappe à ces événements catastrophiques dominés par les inondations qui s’avèrent très désastreuses surtout pour les communautés urbaines dépourvues de solutions durables de lutte (Gaye, 2009) cité par **Wallez (2010)**. Dans les zones urbaines, elles sont généralement la conséquence de précipitations extrêmes qui créent un excès de ruissellement supérieur à la capacité des systèmes de drainage (**Adetunji et al., 2013**). Avec plus de la moitié de la population mondiale vivant dans les zones urbaines, ces phénomènes deviennent une préoccupation croissante du public (**Nasiri et al., 2013**). Leurs occurrences et amplitudes pourraient croître en raison du changement climatique et de l’augmentation de la population urbaine (**GIEC, 2014**). Dans les pays développés, ce sont les aléas tels que le changement climatique, les ondes de tempête, les crues éclairées et les fortes précipitations consécutives qui sont à l’origine des inondations urbaines. Cependant, dans les pays en voie de développement, en plus des causes soulignées qui prévalent dans le monde développé, les inondations sont aussi dues à la précarité du système de drainage, au manque d’entretien des infrastructures et à la mauvaise gestion des déchets ménagers (**UN-Habitat, 2008 ; Lamond et al., 2012**). En effet, les facteurs influençant les risques d’inondation diffèrent d’une région à l’autre en fonction du contexte environnemental local et des stratégies de gestion mises en œuvre.

Ouagadougou, qui est en réalité la capitale politique, économique et culturelle du Burkina Faso, offre un excellent exemple de ce phénomène d’inondation urbaine. Cette ville compte actuellement 2,65 millions d’habitants (**Commune de Ouagadougou, 2012**). Cette population devrait doubler pour atteindre 5 millions d’ici 2030 et doubler encore pour atteindre 10 millions d’ici 2050. La ville se situe dans le bassin versant du Massili, un affluent du Nakanbé et est traversée du nord au sud par quatre marigots. Les risques d’inondation dans la ville sont considérables. Sur l’ensemble du territoire burkinabè, environ 77 inondations ont été enregistrées durant la période 1986 à 2016. On peut également noter que la dynamique des inondations a augmenté dans le pays à partir d’une fréquence de 11 événements majeurs sur 10 ans (1.1 inondation / année) entre 1986 et 2005 à une fréquence de 55 sur 11 ans (5 inondations / année)

de 2006 à 2016 (**Fowé et al., 2018**). L'inondation du 1^{er} septembre 2009, concentrée à Ouagadougou, a provoqué de dégâts importants dans la capitale. Plus de 50% du territoire de la ville, y compris le principal centre hospitalier, a été inondé (**SP/CONASUR, 2009**). Alors que les inondations sont devenues de plus en plus fréquentes, plusieurs chercheurs (**Bani, 2011 ; Soma, 2014 ; Hangnon et al, 2015**) se sont penchés sur la question afin d'apporter leurs contributions à la gestion des phénomènes d'inondations. Leurs études limitées uniquement à la ville de Ouagadougou ont fourni des informations sur les facteurs physiques qui influencent les inondations et la localisation des zones inondables. De toutes ces études, la question de l'évaluation de la vulnérabilité des populations face aux inondations n'a pas été abordée. Alors que ces informations précisant les zones d'interventions prioritaires, et les facteurs de vulnérabilité prioritaires, sont utiles pour la gestion d'une situation d'inondation en cours ou future. Ainsi, à travers l'étude de cas de l'espace Grand Ouaga, territoire issu du schéma directeur d'aménagement de la ville de Ouagadougou à l'horizon 2025, cette recherche qui a été initiée par le projet AMMA-2050 vise à établir un diagnostic de la vulnérabilité aux inondations de la ville de Ouagadougou et de ses communes environnantes tout en prenant en compte toutes les dimensions de la vulnérabilité en vue de constituer un outil d'aide à la décision en matière de choix et de priorité d'intervention pour une gestion plus efficace de ces phénomènes d'inondations.

Après une introduction qui présente le contexte et problématique ainsi que l'objectif de l'étude, la première partie est consacrée à la clarification des concepts clés, la seconde partie présente l'approche méthodologique de l'étude. Quant à la troisième partie, elle présente les principaux résultats obtenus. Le document s'achève par une conclusion et des recommandations.

1. CLARIFICATION CONCEPTUELLE

Afin de mieux cerner les contours de la présente recherche, la définition de certains concepts s'est avérée nécessaire.

1.1 Concept de vulnérabilité

Définir la vulnérabilité peut nous aider à comprendre les meilleurs moyens de la réduire. L'objectif principal de l'évaluation de la vulnérabilité est d'informer les décideurs ou des parties prenantes spécifiques sur les options d'adaptation à l'impact des risques d'inondation (**Douben, 2006**).

Au cours des deux dernières décennies, la notion de la vulnérabilité dans la littérature scientifique a beaucoup évolué et, par conséquent, plusieurs tentatives ont été faites pour définir et saisir le sens de ce terme.

La vulnérabilité au sens originel du terme (du bas latin «vulnerabilis» tiré de «vulnerare» qui signifie blesser et de «vulnus» qui signifie blessure), exprime le caractère de ce qui peut être blessé, frappé par un mal (**Rasse , 2009**). Par extension, il est synonyme de fragilité face à une menace.

En 1992, le Groupe d'experts international sur l'évolution du climat (GIEC) a défini la vulnérabilité comme le degré d'incapacité de faire face aux conséquences du changement climatique et de l'élévation du niveau de la mer. Quatre années plus tard, le GIEC par le biais de **Watson et al. (1996)** a revu cette définition et suggéré qu'elle soit définie comme « la mesure dans laquelle le changement climatique peut endommager ou nuire à un système; cela dépend non seulement de la sensibilité du système mais aussi sur sa capacité d'adaptation aux nouvelles conditions climatiques ».

Selon le Programme des Nations-Unies pour le Développement (**PNUD, 2004**), un élément de la société est dit « menacé », « en état de risque » ou « vulnérable », quand il est exposé à des aléas connus ou non et va vraisemblablement souffrir de l'impact de ces aléas si, ou quand ils se réalisent. Les communautés, les structures, les services ou les activités concernées, sont désignés par l'expression « éléments ou enjeux menacés ».

Green (2004) exprime la vulnérabilité comme le risque potentiel de nuire à un récepteur. Ces définitions ci-dessus (assez similaires) sont contemporaines et expriment la vulnérabilité en tant que dommage ou préjudice potentiel.

Kelly et Adger (2000) discutent de la prise en compte de certaines évaluations de la vulnérabilité en tant que point final de toute évaluation, d'autres en tant que point focal, et d'autres encore en tant que point de départ.

Van der Veen et Logtmeijer (2005) ont élargi le concept de vulnérabilité pour expliquer la vulnérabilité des inondations d'un point de vue économique. **Gheorghe (2005)** explique la vulnérabilité en fonction de la susceptibilité, de la résilience et de l'état des connaissances.

Klein et Nicholls (1999) ont exprimé leur vulnérabilité vis-à-vis de l'environnement naturel en fonction de trois principaux facteurs: la résistance, la résilience et la susceptibilité. **Adger (2006)** a souligné la vulnérabilité en tant qu'état de vulnérabilité aux dommages résultant de l'exposition à des stress associés aux changements environnementaux et sociaux et de l'absence de capacité d'adaptation.

La Fédération internationale de la Croix-Rouge (FICR) définit la vulnérabilité comme la capacité réduite d'un individu ou d'un groupe à anticiper, à gérer, à résister et à récupérer des conséquences d'un danger naturel ou provoqué par l'homme (**FICR, 2014**).

Les travaux de **Balica et al. (2012)** sur l'indice de vulnérabilité aux inondations pour les villes côtières et son utilisation dans l'évaluation des impacts du changement climatique ont considéré la vulnérabilité comme l'étendue des dommages pouvant être attendus dans certaines conditions d'exposition, de susceptibilité et de résilience.

Certaines populations exposées sont protégées des inondations par diverses mesures structurelles et non structurelles faisant partie de la stratégie de résilience. Par contre, certaines d'entre elles n'ont aucune ou très peu de défense contre les inondations et les populations exposées sont plus souvent sujettes aux inondations, ce qui entraîne des perturbations, des pertes économiques et des pertes en vies humaines (**Balica et al., 2012**).

De la littérature scientifique et malgré les subtilités de transformation qui subsistent dans certaines définitions ou concepts, la vulnérabilité apparaît comme fonction des facteurs d'exposition, de la susceptibilité et de la résilience.

Dans ce travail, la vulnérabilité est considérée comme l'ampleur des dommages, auxquels on peut s'attendre dans certaines conditions d'exposition, de susceptibilité et de résilience.

En combinant toutes les définitions susmentionnées, le concept général de vulnérabilité peut être exprimé comme suit:

$$\text{Vulnérabilité} = \text{Exposition} + \text{Susceptibilité} - \text{Résilience}$$

1.2 Facteurs de vulnérabilité aux inondations

En général, un élément victime d'inondations est d'autant plus vulnérable qu'il est exposé à un danger et qu'il est susceptible à ses forces et à ses impacts et moins il résiste à ces causes (Messner et Meyer, 2006). Il existe trois facteurs de vulnérabilité qui sont : l'exposition, la susceptibilité et la résilience.

La figure 1 présente ces trois facteurs de vulnérabilité décrit par Balica et al. (2009)

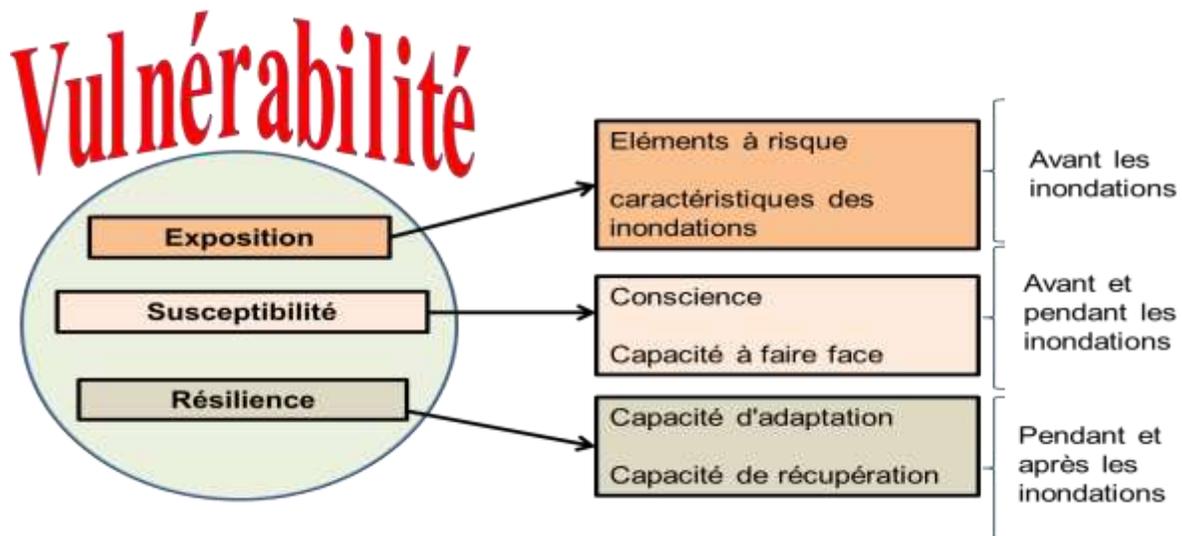


Figure 1 : Facteurs de vulnérabilité aux inondations

Source : Adaptée de Balica et al. (2009)

1.2.1 Exposition

L'exposition peut être comprise comme les valeurs présentes dans les zones potentiellement menacées par les inondations. Dans le cas de l'indice de vulnérabilité aux inondations, l'exposition est définie comme «la prédisposition d'un système à être perturbé par une inondation en raison de son emplacement dans la même zone d'influence (Balica, 2007).

1.2.2 Susceptibilité

La susceptibilité est liée aux caractéristiques du système, y compris le contexte social de la formation des dommages causés par les inondations. Dans cette recherche, la susceptibilité est définie comme les éléments exposés au sein du système, qui influencent les probabilités de subir des dommages lors d'inondations dangereuses (**Turner II et al. 2003**). Le terme «éléments exposés» comprend tous les éléments du système humain, de l'environnement bâti et de l'environnement naturel exposés aux inondations dans une zone donnée.

1.2.3 Résilience

La résilience aux dommages causés par les inondations ne peut être envisagée que dans des endroits où se sont produits des événements passés, car l'accent est mis sur les expériences acquises pendant et après les inondations historiques. Dans cet article, la résilience est définie comme la capacité d'un système à subir toutes les perturbations, telles que les inondations, en maintenant des niveaux importants d'efficacité dans ses composantes sociales, économiques, environnementales et physiques.

1.3 Composantes de vulnérabilité

L'évaluation de la vulnérabilité a été une question préoccupante pour de nombreux scientifiques dans l'analyse des risques et leurs impacts sur les populations à risque d'inondation mais sa quantification n'est malheureusement pas un simple exercice (**Canon, 2000**). En considérant la population à risque comme faisant partie du processus de réduction du risque et de la préparation face au risque, l'analyse de la vulnérabilité serait donc de considérer que la population est l'élément central à risque à mettre en relation avec son milieu physique et environnemental, son attitude, ses biens économiques et l'influence institutionnelle et politique à laquelle elle est soumise. De ce fait, analyser la vulnérabilité revient à prendre en compte les composantes physique, environnementale, sociale et économique (**Fuchs et al., 2011**). Dans les lignes qui suivent, nous donnerons le contenu que revêt le terme social, économique, environnemental et physique.

1.3.1 La composante sociale

La composante sociale, les inondations affectent la vie quotidienne de la population qui appartient à un système. Cette composante concerne la présence des êtres humains et englobe des questions liées, par exemple, à la déficience de la mobilité des êtres humains associée au sexe, à

l'âge ou à des handicaps (**Van Beek 2006**). Les inondations peuvent détruire des maisons, perturber les moyens de communication et même occasionner les pertes en vie humaine. Sont inclus dans cette composante les structurations administratives de la société, composée d'institutions, d'organisations et d'autorités à leur niveau respectif.

1.3.2 La composante économique

Les indicateurs de la composante économique sont liés à des revenus ou à des problèmes inhérents à l'économie qui sont prédisposés à être affectés (**Van Beek et Loucks 2005; Gallopin, 2006**). De nombreuses activités économiques peuvent être touchées par les inondations, notamment l'agriculture, la pêche, la navigation, la production d'électricité, les industries, etc. La perturbation de ces activités peut influencer sur la prospérité économique d'une communauté, d'une région ou d'un pays.

1.3.3 La composante environnementale

Au cours des dernières années, les inondations se sont intensifiées en raison, par exemple, d'un manque de sensibilisation à l'environnement et de dommages encore plus importants pour les écosystèmes. Si les eaux de crues sont chargées ou si d'importants processus de sédimentation se produisent, les systèmes écologiques peuvent être perturbés de manière significative (**Haase, 2003**). Des activités telles que la déforestation, l'urbanisation et l'industrialisation ont accentué la dégradation de l'environnement augmentant ainsi la possibilité d'inondations.

La composante environnementale comprend des indicateurs qui se réfèrent à des dommages à l'environnement causés par des inondations ou des interférences anthropiques susceptibles d'accroître la vulnérabilité de certaines zones (**Villagran de Leon, 2006**).

1.3.4 La composante physique

La composante physique comprend les caractéristiques géomorphologiques et climatiques du système, ainsi que différentes infrastructures, telles que des canaux, des réservoirs, des barrages, des digues qui ont façonné ses conditions physiques. La composante physique concerne la prédisposition des infrastructures à être endommagées par une inondation. Plus que d'être affectée par des inondations, cette composante peut réduire ses conséquences néfastes.

2. METHODOLOGIE D'ESTIMATION DE L'INDICE DE VULNERABILITE AUX INONDATIONS

L'indice de vulnérabilité aux inondations (IVI) a pour objectif d'identifier les points chauds liés aux risques d'inondation dans différents territoires, de manière à ce qu'il puisse être utilisé comme un outil permettant d'aider les planificateurs et les décideurs à hiérarchiser leurs domaines d'intervention, ainsi que des informations utiles pour la sensibilisation. Le concept principal consiste à identifier différentes caractéristiques d'un système, ce qui le rend applicable aux inondations à différents niveaux spatiaux.

Connor et Hiroki (2005) ont présenté une méthodologie permettant de calculer un IVI pour les bassins hydrographiques, en utilisant onze indicateurs divisés en quatre composantes. L'indice utilise deux sous-indices pour son calcul; l'indice humain, qui correspond aux effets sociaux des inondations, et l'indice matériel, qui couvre les effets économiques des inondations. La méthodologie a été testée sur des bassins hydrographiques au Japon, où de nombreuses informations sont accessibles. En utilisant les données du Japon, les chercheurs ont utilisé une analyse de régression multilinéaire pour calculer le poids de chaque indicateur en fonction du nombre de victimes et des pertes matérielles résultant d'inondations passées. Les indicateurs reflétaient la vulnérabilité réelle de chaque rivière aux inondations. La méthodologie a également été testée dans 18 bassins hydrographiques des Philippines où certains indicateurs ont été ajoutés ou modifiés en raison d'un manque d'informations.

Par la suite, d'autres travaux ont essayé d'évaluer la vulnérabilité des populations surtout liée aux inondations. Il s'agit des travaux de **Balica (2007)**, **Balica et Wright (2009, 2010)** qui ont porté sur l'estimation des indices de vulnérabilité aux inondations à différentes échelles spatiales. La méthodologie reconnaît différentes caractéristiques pour chaque échelle spatiale identifiée, permettant une analyse et une interprétation plus approfondie des indicateurs locaux. Il permet également de sélectionner des actions pour réduire la vulnérabilité aux inondations locales.

La mesure de la vulnérabilité n'est généralement pas consensuelle. Les caractéristiques de la mesurabilité et de la simplicité des indicateurs montrent qu'ils ne seront jamais en mesure de représenter pleinement la complexité du processus de la vulnérabilité. L'analyse de la vulnérabilité requiert donc une très grande considération au contexte et à la situation du milieu.

2.1 Indicateurs de vulnérabilité

La vulnérabilité est considérée ici en fonction de l'utilisation d'indicateurs. Un indicateur ou un ensemble d'indicateurs, peut être défini comme une caractéristique inhérente qui estime quantitativement l'état d'un système. Il se concentre généralement sur un élément mineur, réalisable, palpable et révélateur d'un système pouvant donner aux gens le sentiment d'une plus grande représentation. Par conséquent, il est très important de connaître les impacts sur les habitants, les villes et les ressources naturelles grâce à l'utilisation de ces indicateurs.

La première étape d'une évaluation de la vulnérabilité basée sur des indicateurs est la sélection ou le choix des indicateurs. Les indicateurs devraient permettre aux gestionnaires et aux décideurs politiques de reconnaître et de définir des objectifs, de guider les stratégies de réduction de la vulnérabilité et de suivre les progrès.

Comme le développement de l'IVI implique la compréhension de différentes situations relationnelles et caractéristiques d'un réseau hydrographique exposé aux risques d'inondation, les chercheurs utilisent une approche déductive pour identifier les meilleurs indicateurs possibles, sur la base des principes existants et du cadre conceptuel de la vulnérabilité.

Près de 80 indicateurs potentiels ont été examinés pour améliorer la méthodologie existante de **Connor et Hiroki (2005)**, en tenant compte de différentes échelles géographiques à savoir le bassin versant (R), le sous-bassin (S) et les zones urbaines (U).

McLaughlin et Cooper (2010) affirment qu'il est tentant d'utiliser toutes les données disponibles pour créer un indice. Un peu plus tôt, **Dal Cin et Simeoni (1989)** ont affirmé que l'utilisation de variables plus nombreuses donnait des résultats plus corrects. Ceci n'est toutefois pas nécessairement vrai, car les variables / indicateurs peuvent être fortement corrélés (**Balica et Wright, 2009**).

La relation entre les composantes de la vulnérabilité, les indicateurs et les facteurs issus des travaux de **Balica et al. (2012)** est illustrée dans le tableau 1.

Tableau 1: Relation entre composantes et facteurs de vulnérabilité

Vulnérabilité aux inondations	Exposition	Abb.	Echelle géographique	Susceptibilité	Abb.	Echelle géographique	Résilience	Abb.	Echelle géographique
	Densité de population	Pd	R.S.U	Expérience passée	PE	R.S.U	Système d'alerte précoce	WS	R.S.U
	Population habitant dans les zones inondables	Pfa	R.S.U	Education (taux d'alphabétisation))	Ed	R.S.U	Voies d'évacuation	ER	R.S.U
	Proximité de la zone d'inondation	Cia	R.S.U	Préparation / sensibilisation	A/P	R.S.U	Capacité institutionnelle	IC	R.S.U
	Population proche de la ligne de côte	Pccl	R.S.U	Mortalité infantile	Cm	R.S.U	Service d'urgence	ES	R.S.U
	Population en dessous de la pauvreté	Pp	R.S.U	Taux de pénétration de la communication	CPR	R.S.U	Abri de protection	S	R.S.U
Composante sociale	% des zones urbaines	% UA	R.S.U	Population ayant accès à l'assainissement	PwaS	R.S.U			
	Enquête sur le cadaster	CS	R.S.U	Population rurale	PwoWS	R.S.U			
	Héritage culturel	CH	S.U	Qualité de l'approvisionnement en eau	QWS	R.S.U			
	% des jeunes et des personnes âgées	% disable	S.U	Qualité de l'approvisionnement en énergie	QES	S.U			
	Zone hors lotissement	Rpop	R.S	Croissance de la population	PG	S.U			
				Indice de développement humain	HDI	S.U			
				Santé humaine	HH	S.U			
				Centre de santé	CS	S.U			

Tableau 1: suite

Vulnérabilité aux inondations	Exposition	Abb.	Echelle géographique	Susceptibilité	Abb	Echelle géographique	Résilience	Abb	Echelle géographique
Composante économique	Utilisation des terres	LU	R.S.U	Urban planning	UP	R,U	Investissement dans les mesures de mitigation	Amln	R.S.U
	proximité d'un cours d'eau	PR	R.S.U	Chômage	UM	S,U	Gestion des infrastructures	IM	R.S.U
	Proximité de la zone d'inondation	Cia	R.S.U	Revenu	I	R,S,U	Capacité de stockage de la	D SC	R.S.U
	Enquête sur le cadastre	CS	S.U	Inégalité	Ineq	R,S,U	Assurance inondation	FI	R.S.U
	% des zones urbaines	% UA	U	Volume annuel	Vyear	R,S,U	Temps de relèvement	ECR	R.S.U
				Indice d'espérance de vie	LEI	R,S,U	Expérience passée	PE	S.U
				Croissance urbaine	UG	S,U	Digue de protection	DL	S.U
				Mortalité infantile	CM	S,U			
	Niveau des eaux souterraines	GWL	R.S.U	Réserves naturelles	NR	R,S,U	Temps de relèvement des inondations	RTF	R.S.U
	Utilisation du sol	LU	R.S.U	Années de soutien	YS	R,S,U	Impact environnemental	EC	R.S.U
Composante environnementale	Zone surexploitée (densifiée)	OUA	R.S.U	Vie saine	HL	R,S,U			
	Zone dégradée	DA	R.S.U	Qualité de l'infrastructure	QI	R,S,U			
	Utilisation des terres non peuplées	Unpop	R,S	Santé humaine	HH	S,U			
	Types de végétation	TV	R,S	Croissance urbaine	UG	S,U			
	% de la zone urbanisée	%UA	R,S	Croissance urbaine	CM	S,U			
	Taux de changement de forêt	FCR	R	Les précipitations	Rainfall	S,U			
				Évaporation	Ev	S,U			

Tableau 1: suite

Vulnérabilité aux inondations	Exposition	Abb.	Echelle géographique	Susceptibilité	Abb.	Echelle géographique	Résilience	Abb	Echelle géographique
Composante physique	Topographie (pente))	T	R,S,U	Codes du bâtiment	Bc	U	Capacité de stockage de la retenue d'eau	D_SC	R.S.U
	Fortes précipitations	HR	R,S,U	Fréquence d'occurrence	FO	R,S,U	Voirie	R	R.S.U
	Durée de l'inondation	FD	R,S,U				Digue de protection	DL	S.U
	Périodes de retour	RP	R,S,U						
	Proximité d'une rivière	PR	R,S,U						
	Humidité du sol	SM	R,S,U						
	Taux d'évaporation	Ev	R,S,U						
	Débit de la rivière	RD	R,S,U						
	La vitesse d'écoulement	FV	S,U						
	Onde de tempête	SS	S,U						
	Les précipitations	Rainfall	S,U						
	Profondeur de la crue	FWD	S,U						
	Charge de sédimentation	SL	S,U						
	Volume annuel	Vyear	S,U						

2.2. Equation générale pour le calcul de l'IVI

Une équation générale de l'IVI (équation 1) pour toutes les échelles est décrite par **Balica et al. (2012)**. L'équation relie les valeurs de tous les indicateurs aux composantes et facteurs de vulnérabilité aux inondations. L'utilisation de cette équation permet des comparaisons entre différentes échelles géographiques, car ce sont des grandeurs adimensionnelles (sans dimensions). Ces grandeurs adimensionnelles sont nécessaires pour comparer les IVI pour des composantes similaires et des échelles pour différentes études de cas.

McLaughlin et Cooper (2010) utilisent l'approche de **Gornitz (2001)**, une échelle de 1 à 5 est choisie, 5 contribuant le plus fortement à la vulnérabilité et 1 contribuant le moins. L'échelle 1-5 utilisée pour chaque variable standardise le système de notation et permet de combiner mathématiquement les variables mesurées dans différentes unités.

McLaughlin et Cooper (2010) utilisent l'approche de **Gornitz et White (1992)**, qui repose sur le fait que la 'somme des variables était moins sensible que celle basée sur les produits des variables. Cette recherche a utilisé l'approche de l'IVI de **Balica et al. (2012) (Equation 2)**, l'approche est basée sur le fait que chaque système a sa propre vulnérabilité aux inondations, donc une variable ne peut pas être considérée comme nulle.

La procédure de calcul de l'indice IVI commence par convertir chaque indicateur identifié en un nombre normalisé (sur une échelle de 0 à 1) sans dimension, utilisant des valeurs prédéfinies minimale et maximale à partir des éléments spatiaux considérés. L'équation (1) montre l'expression utilisée pour la normalisation.

$$NV_i = \frac{RV_i}{Max_{i=1,n}(RV_i)} \quad (1)$$

Où :

NV_i représente la valeur normalisée de l'indicateur i ,

RV_i représente la valeur réelle de l'indicateur i

$Max_{i=1,n}(RV_i)$ représente la valeur maximale d'un ensemble de n valeurs réelles calculées de l'indicateur i (où n est le nombre des éléments spatiaux considérés).

Les indicateurs normalisés sont ensuite utilisés pour les calculs de l'IVI.

L'IVI de chaque composante (sociale, économique, environnementale et physique) est calculé sur la base de la formule de l'indice général de vulnérabilité des inondations (IVI) (Equation. 2).

$$IVI = \frac{E * S}{R} \quad (2)$$

Où

IVI désigne indice de vulnérabilité aux inondations

E désigne les valeurs des indicateurs du facteur exposition

S désigne les valeurs des indicateurs du facteur susceptibilité

R désigne les valeurs des indicateurs du facteur résilience

La formule générale de l'IVI est calculée en classant les indicateurs en fonction des facteurs auxquels ils appartiennent (exposition (E), susceptibilité (S) et résilience (R)) (**Cendrero et Fischer, 1997**). Les indicateurs d'exposition et de susceptibilité sont multipliés puis divisés par les indicateurs de résilience, car les indicateurs représentant l'exposition et la susceptibilité augmentent la vulnérabilité aux inondations et sont donc placés au numérateur. Les indicateurs de résilience diminuent la vulnérabilité aux inondations et font donc partie du dénominateur.

Outre les valeurs IVI pour chaque composante, ces valeurs sont standardisées pour une comparaison ultérieure entre composantes (**Sullivan et Meigh, 2005**), servant également à d'interprétation plus facile. La plage de valeurs standardisées de l'IVI est comprise entre 0 et 1; 1 étant le plus vulnérable aux inondations. La formule standardisée est présentée comme un IVI d'un système divisé par l'IVI maximum dans le même système.

$$IVI_{standardisé} = \frac{IVI_{échelle}}{IVI_{max}} \quad (3)$$

Où

IVI_{standardisé} désigne la valeur standardisée de la vulnérabilité selon l'échelle spatiale ou la composante considérée.

IVI_{échelle} désigne la valeur brute de la vulnérabilité selon l'échelle spatiale ou la composante considérée.

IVI_{max} désigne la forte valeur de la vulnérabilité selon l'échelle spatiale ou la composante considérée.

La disponibilité des données, l'importance de certains indicateurs et la condition que toutes les IVI calculés doivent être sans dimensions aux fins de comparaison, ont conduit à la formulation des équations pour chaque échelle et pour chaque composante de vulnérabilité.

Dans les lignes qui suivent les indicateurs et les équations de calcul de l'IVI des quatre (04) composantes de vulnérabilité en zones urbaines sont décrits.

Tableau 2: Indicateurs de la composante sociale

Indicateurs	Abb	Facteur	Unité	Définitions	Relation fonctionnelle avec la vulnérabilité
Densité de population	Pd	Exposition	Personne/km2	il existe une exposition importante à un risque donné si la population est concentrée	Densité élevée , Vulnérabilité élevée
Population habitant dans les zones inondables	Pfa	Exposition	Personne	Nombre de personnes vivant dans une zone exposée aux inondations	Nombre de personnes élevé, vulnérabilité élevée
Heritage culturel	Ch	Exposition		Nombre de bâtiments historiques, musées, etc. en danger lors de l'inondation si aucun prendre 1	nombre important d'héritage culturel vulnérabilité élevée
Croissance démographique	Pg	Exposition	%	% de la croissance démographique dans les zones urbaines au cours des 10 dernières années	Croissance démographique rapide, Vulnérabilité élevée dans l'hypothèse que cette croissance met la pression sur la capacité de logemen
Personnes vivant avec un handicap	%diable	Exposition	%	% de la population ayant un handicap quelconque, aussi les personnes de moins de 15 ans et plus de 65 ans	% élevé, vulnérabilité élevée
Indice du développement humain	HDI	Susceptibilité		HDI= 1/3(LEI) + 1/3(EI) + 1/3(GI)	Valeur élevée, faible vulnérabilité
Mortalité infantile	Cm	Susceptibilité	‰	Nombre d'enfant de moins de 5 ans décédé sur 1000 naissance	Nombre d'enfants écedés élevé, vulnérabilité élevé
Expérience du passé	Pe	Résilience	Personne	Nombre de personnes touchées au cours des 10 dernières années à cause des inondations	Valeur élevée, forte vulnérabilité
Sensibilisation et préparation	A/P	Résilience	-	Classer de 1 à 10	10 signifie faible vulnérabilité
Taux de pénétration de la communication	Cpr	Résilience	%	% de ménages ayant des sources d'information	% élevé, faible vulnérabilité
Abris et centres de santé	S	Résilience	#/km ²	Nombre abris par km2 y compris les hopitaux	Nombre d'abris élevé, faible vulnérabilité
Système d'alerte précoce	Ws	Résilience	-	Si aucun système d'alerte précoces alors la valeur est 1, si existence de système d'alerte précoce alors la valeur est 10	Avoir un système d'alerte précoce réduit la vulnérabilité
Service d'urgence	Es	Résilience	#	Nombre de personnes travaillants dans ce service	Nombre de personnes élevé, vulnérabilité faible
Voies d'évacuation	Er	Résilience	%	% de routes bitumées	Grande quatité et qualité de voie, faible vulnérabilité

Du tableau 2, l'indice de vulnérabilité des villes aux inondations pour la composante sociale s'exprime par l'équation (4).

$$IVI_{\text{Sociale}} = \frac{Pd * Pfa * Ch * Pg * \%Dsable * HDI * Cm}{Pe * \left(\frac{A}{P}\right) * Cpr * S * Ws * Fr * Es} \quad (4)$$

Tableau 3 : Indicateurs de la composante économique

Indicateurs	Abb	Facteur	Unité	Définition	Relation fonctionnelle avec la vulnérabilité
Industries	Ind	Exposition	-	Nombre d'industries ou de types d'activités économiques en zone urbaine	% élevé, vulnérabilité élevée
Contact de la ville avec le cours d'eau	Cr	Exposition	Km	distance de la ville le long du cours d'eau	très proche du cours d'eau vulnérabilité élevée
Chômage (Sans emploi)	Um	Susceptibilité	%	Um= (Nombre de personne sans emploi/nombre total de personne apte à travailler)*100	% élevé, vulnérabilité élevée
Indice du développement humain	HDI	Susceptibilité		HDI= 1/3(LEI) + 1/3(EI) + 1/3(GI)	Valeur élevée, faible vulnérabilité
Inégalité	Ineq	Susceptibilité	-	Coefficient de Gini pour l'inégalité de la richesse entre 0 et 1	1 signifie faible vulnérabilité
Assurance contre inondation	Fi	Résilience	-	Nombre d'assurance contre les inondations pour 100 habitants, si 0 prendre 1	Nombre d'assurance contre les inondations élevé, faible vulnérabilité
Montant sur investissement	AmInv	Résilience	-	Ratio de l'investissement sur le PIB total	investissement élevé, faible vulnérabilité
Digue de protection	D_L	Résilience	Km	Nombre de km de digue de protection	Grande longueur de digue, faible vulnérabilité
Capacité de stockage des eaux	D_Sc	Résilience	m3	Volume stocké dans les barrages en amont e la ville	Grand volume stocké, vulnérabilité élevé
Temps de relèvement	Rt	Résilience	jours	Temps nécessaire à la ville pour se remettre à une opération fonctionnelle après les inondations	temps très long, vulnérabilité élevé
Système de drainage	D	Résilience	Km	Longueur de canalisation dans la ville	Réseau faible, vulnérabilité élevée

Du tableau 3, on note que l'indice de vulnérabilité des villes aux inondations pour la composante économique est exprimé par l'équation (5).

$$IVI_{\text{économique}} = \frac{Ind * Cr * Um * Ineq * Ug * HDI * Rd}{Pi * AmInv * Dsc * D * Rt} \quad (5)$$

Tableau 4 : Indicateurs de la composante environnementale

Indicateurs	Abb	Facteur	Unité	Définitions	Relation fonctionnelle avec la vulnérabilité
Pluviométrie	Rainfall	Exposition	m/an	Pluviométrie moyenne annuelle	Pluviométrie élevée, vulnérabilité élevée
Espace vert	Lu	Exposition	%	Superficie réservée pour espace vert à l'intérieur de la ville	% élevé, faible vulnérabilité
Croissance urbaine	Ug	Susceptibilité	%	% d'augmentation de la superficie au cours des 10 dernières années	la croissance urbaine rapide peut entraîner un logement de mauvaise qualité et rendre la population plus vulnérable
Evaporation	Ev	Susceptibilité	m/an	Diminution annuelle du niveau d'eau souterraine	niveau d'eau souterraine élevé, vulnérabilité élevée

Du tableau 4, l'indice de vulnérabilité des villes aux inondations pour la composante environnementale s'exprime à partir de l'équation (6) :

$$IVI_{\text{environnementale}} = \frac{Ug * Rainfall}{Ev * Lu} \quad (6)$$

Tableau 5 : Indicateurs de la composante physique

Indicateurs	Abb	Facteur	Unité	Définitions	Relation fonctionnelle avec la vulnérabilité
Topographie	T	Exposition	-	Pente moyenne de la ville	Pente raide, vulnérabilité élevée
Débit du cours d'eau	Rd	Exposition	m ³ /s	Débit maximal enregistré au cours des 10 dernières années	Débit maximum, vulnérabilité élevée
Débit moyen du cours d'eau	AvRd	Exposition	m ³ /s	Débit moyen du cours d'eau à l'exutoire	Débit maximum, vulnérabilité élevée
Evaporation/précipitation	Ev/Rainfall	Exposition	-	Rapport moyen de l'évaporation annuelle sur la précipitation annuelle	évaporation élevée, vulnérabilité faible
Capacité de stockage des eaux	D_Sc	Résilience	m ³	Le volume total d'eau qui peut être stocké dans les barrages, des polders, etc	Quantité de stockage élevée, vulnérabilité élevée
Rapport du volume stocké sur le volume d'eau annuel ruisselé	Sc/Vyear	Résilience	-	Rapport de la capacité de stockage sur le volume de ruissellement annuel moyen	Ruissellement élevé, vulnérabilité élevée

Du tableau 5, l'indice de vulnérabilité des villes aux inondations pour la composante physique s'évalue à partir de l'équation (7).

$$IVI_{physique} = \frac{T * Cr}{\left(\frac{Ev}{Rainfall}\right) * \left(\frac{Sc}{Vyear}\right) * D_L} \quad (7)$$

On obtient la vulnérabilité totale en sommant la vulnérabilité des quatre (04) composantes : sociale, économique, environnementale et physique comme mentionné dans l'équation 8.

$$IVI_{Totale} = IVI_{Sociale} + IVI_{Economique} + IVI_{Environnementale} + IVI_{Physique} \quad (8)$$

Les valeurs d'IVI sont regroupées en cinq catégories, comme indiqué dans le tableau 6, pour représenter cinq zones de vulnérabilité selon la classification présentée par Balica et al. (2012).

Tableau 6: Zones de vulnérabilité à l'aléa

Valeurs de de IVI	Zones de vulnérabilité
0,01 <	Très faible vulnérabilité aux inondations
0,01-0,25	Faible vulnérabilité aux inondations
0,25-0,50	Vulnérable aux inondations
0,50-0,75	Forte vulnérabilité aux inondations
0,75-1	Très forte vulnérabilité aux inondations

Source : Balica et al. (2012)

3. APPLICATION DE LA METHODOLOGIE DE L'IVI DANS L'ESPACE GRAND OUAGA

Cette section du document présente la zone d'étude ainsi que les résultats obtenus par l'application de la méthodologie d'estimation de l'IVI.

3.1 Présentation du territoire Grand Ouaga

Situé au cœur du Burkina Faso, le « Grand Ouaga », issu du schéma directeur d'aménagement de la ville de Ouagadougou à l'horizon 2025, est compris entre les parallèles 12° et 13° de latitude Nord et entre les méridiens 1° et 2° de longitude Ouest. C'est le territoire couvrant la commune urbaine de Ouagadougou (capitale du Burkina Faso) et les sept (07) communes rurales environnantes que sont : Koubri, Komsilga, Komki-Ipala, Saaba, Pabre, Tanghin-Dassouri et Loumbila (Figure 2).

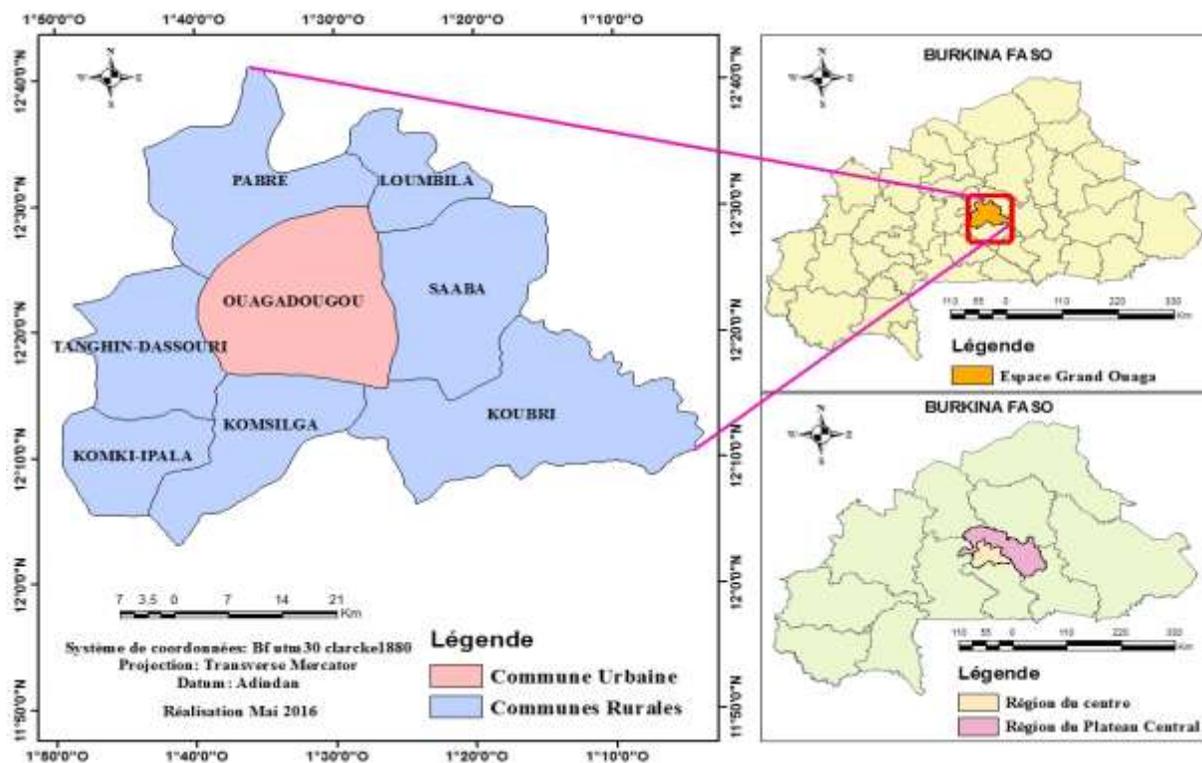


Figure 2 : Carte administrative de l'espace « Grand Ouaga »

Le Grand Ouaga dans son ensemble présente un profil plat avec des pentes relativement faibles (moins de 2 %) et une présence des butés à quelques endroits tels que Loumbila et Koubri. Le sol du « Grand Ouaga » est dominé majoritairement par des sols de type hydromorphe couvrant le

long des cours d'eau, des sols peu évolués, et des sols imperméabilisés notamment dans la ville de Ouagadougou.

Situé entre les isohyètes 700 et 1000 mm, l'espace « Grand Ouaga » appartient à la zone climatique soudano-sahélienne du Burkina Faso, caractérisée par l'alternance de deux saisons:

- une saison sèche de 7 mois (de novembre à mai) marquée par le harmattan (vent frais et sec jusqu'à la fin janvier, chaud et sec de février à avril) ;
- une saison pluvieuse de 5 mois (de juin à octobre) annoncée par la mousson (vent chaud et humide) avec une abondance de pluies en août.

La pluviométrie moyenne annuelle sur la période 1977 à 2014 est de 728,5 mm.

Le Grand Ouaga a une superficie d'environ 3304 km². Selon les projections de l'institut national de la statistique et de de la démographie sa population est aujourd'hui estimée à 2 601 525 habitants avec un taux annuel d'accroissement moyen de 4,78%. De façon générale, c'est une zone dont la population croît beaucoup mais elle attire aussi de nouvelles populations en provenance du milieu rural. Entre 1985 et 2006, la densité de la population a augmenté de 40 %. En 2025, horizon du schéma, la population du Grand Ouaga sera d'environ 4 713 077 habitants. La commune de Ouagadougou pèsera d'un poids démographique considérable dans le Grand Ouaga. En effet, elle portera environ 88,28% de la population.

La commune urbaine de Ouagadougou compte 12 arrondissements et 55 secteurs qui sont mentionnés dans le tableau 7.

Tableau 7 : Liste des douze arrondissements de Ouagadougou, leurs secteurs et leurs quartiers

Arrondissements	Secteurs	Quartiers traditionnels
01	1, 2, 3, 4, 5 et 6	Bilbalogho, Saint Léon, Zangouétin, Tiédpalogo, Koulouba, Kamsonghin, Samandin, Gounghin du sud, Gandin, Kouritenga et Mankougougou
02	7, 8, 9, 10 et 11	Paspanga, Ouidi, Larlé, Kologh-Naba, Dapoya 2, Nemnin, Niogsin, Hamdalaye, Gounghin nord et Baoghin
03	12, 13, 14, 15 et 16	Camp Lamizana, Napougo, Kienbaoghin, Zongo, Sogpelcé, Nonsin, Rimkèta, Tampouy et Kilwin
04	17, 18, 19 et 20	Tanghin, Sabin barrage, Somgandé, Zone industrielle, Nioko 2 et Toukin
05	21, 22, 23 et 24	Zogona, Wemtenga, Dagnoen, Ronsin et Kalghondin
06	25, 26, 27, 28 et 29	Cissin, Kouritenga et Pissy
07	30, 31, 32 et 33	Nagrin, Yaoghin, Sandogo, Kankamsin et Boassa
08	34, 35 et 36	Zagtouli, Zongo Nabitenga, Koumda yonré, Bissighin, Bassinko, Darsalam, Silmiougou et Gandin
09	37, 38, 39 et 40	Bangporé, Larlé Weogo, Marcoussis, Silmiyiri, Wobrigré et Wapassi
10	41, 42, 43, 44 et 45	Kossodo, Bendogo, Wayalghin, Goudri, Nioko 1, Dassasgho et Taabtenga
11	46, 47, 48, 49, 50 et 51	Yamtenga, Karpala, Balkuy, Lanoayiri, Rayongo et Wiitenga
12	52, 53, 54 et 55	Patte d'oie, Ouaga2000, Trame d'accueil de Ouaga 2000

Source : Commune de Ouagadougou, 2012

4.2 Sources des données

Les sources de données suivantes ont été utilisées pour évaluer les valeurs des indicateurs de vulnérabilité aux inondations sur chaque site de d'étude.

- ❖ La base de données sur la population du Burkina Faso de l'institut national de la statistique et de la démographie (INSD) et certains rapports tels que la cartographie de pauvreté et des inégalités au Burkina Faso (2014) et le rapport sur la croissance urbaine au Burkina Faso (2009) ont été consultés.
- ❖ L'étude de restructuration des zones inondables de la ville de Ouagadougou, le rapport d'orientation de mise en œuvre du décret du 19 novembre 2009 portant réglementation des servitudes des canaux primaires d'évacuation des eaux pluviales, des zones inondables inconstructibles et des zones submersibles dans la ville de Ouagadougou, le schéma directeur d'aménagement du Grand Ouaga à l'horizon 2025 ont été obtenus auprès de la direction générale de urbanisme et des travaux fonciers.

- ❖ La base de données du Secrétariat permanent du conseil national de secours d'urgence et de réhabilitation a été consultée pour collecter des informations sur la répartition des sinistrés d'inondations dans la zone d'étude.
- ❖ La cartographie de l'offre de services de santé de la région du centre, les annuaires statistiques du ministère de la santé ont été obtenus auprès de la direction générale de la santé.
- ❖ Les informations sur les caractéristiques des barrages ont été obtenues auprès de la direction générale des ressources en eau.
- ❖ Les informations sur la pluviométrie et l'évaporation sont fournies par l'agence nationale de météorologie
- ❖ Les plans communaux de développement des communes rurales environnantes ont été aussi consultés
- ❖ Les rencontres d'échanges ont été entreprises avec les populations des zones inondables, des élus locaux des services techniques des mairies des arrondissements de la ville de Ouagadougou et des communes rurales environnantes.
- ❖ La base de données sur la localisation des industries et des activités économiques de la chambre de commerce et de l'industrie du Burkina Faso a été aussi consultée.

Dix-neuf études de cas ont été sélectionnées en fonction de la taille de la ville et du découpage administratif. Il s'agit des douze arrondissements de la ville de Ouagadougou et des sept (07) communes rurales environnantes qui constituent l'espace Grand Ouaga. Aussi en raison des contraintes liées à la disponibilité des données, seulement 21 indicateurs sur les 34 indicateurs sélectionnés par **Balica et al. (2009)** ont servis pour le calcul des sous-indices de la vulnérabilité des différentes composantes à l'échelle de l'espace « Grand Ouaga ».

Le tableau 8 montre les valeurs des indicateurs pour chaque composante pour six (06) sites de la zone d'étude.

Tableau 8: Exemple de valeurs des indicateurs pour chaque composante de vulnérabilité

N°	Indicateurs	Définitions	Unité	Acronyme	Sous- indice	Facteur FVI	Commune urbaine de Ouagadougou				Communes rurales	
							A1	A3	A9	A12	SAABA	KOMSILGA
1	Industries	Nombre d'industries ou de types d'activités économiques en zone urbaine	-	Ind	FVIec	E	796	597	398	199	76	3
2	Temps de relèvement	Temps nécessaire à la ville pour se remettre à une opération fonctionnelle après les inondations	Jours	Rt	FVIec	S	3	3	3	3	7	2
3	Chômage (Sans emploi)	Um= (Nombre de personne sans emploi/nombre total de personne apte à travailler)*100	%	Um	FVIec	S	0,194	0,194	0,194	0,194	0,055	0,055
4	Pluviométrie	Pluviométrie moyenne annuelle	m/an	Rainfall	FVIen	E	898,6	898,6	898,6	898,6	899	703
5	Croissance urbaine	% d'augmentation de la superficie au cours des 10 dernières années	%	Ug	FVIen	S	0,067	0,067	0,067	0,067	1	1
6	Espace vert	Superficie réservée pour espace vert à l'intérieur de la ville	%	Lu	FVIen	R	8,6	9,7	4	8,5	0,03	0,05
7	Contact de la ville avec le cours d'eau	distance de la ville le long du cours d'eau	Km	Cr	FVIph	E	3	10	1	2	5	7
8	Topographie	Pente moyenne de la ville	-	T	FVIph	R	9	9	16	9	0,5	9

Tableau 8: suite

N°	Indicateurs	Définitions	Unité	Acronyme	Sous-indice	Facteur FVI	Commune urbaine de Ouagadougou				Communes rurales	
							A1	A3	A9	A12	SAABA	KOMSILGA
9	Capacité de stockage des eaux	Le volume total d'eau qui peut être stocké dans les barrages, des poldres, etc	m3	D_Sc	FVIph	R	10608 34	6130000	6130000	19142517	19142517	2330833
10	Evaporation/précipitation	Rapport moyen de l'évaporation annuelle sur la précipitation annuelle	-	Ev/Rainfall	FVIph	R	3,3	3,3	3,3	3,3	3,31	4,23
11	Système de drainage	Longueur de canalisation dans la ville	km	D	FVIec	R	67,05 4	34,05	12	12,498	2	20
12	Croissance démographique	% de la croissance démographique dans les zones urbaines au cours des 10 dernières années	%	Pg	FVIs	E	0,42	7,3	8,41	6,08	3,63	7,22
13	Densité de population	il existe une exposition importante à un risque donné si la population est concentrée	Personne/km2	Pd	FVIs	E	6100	8700	1900	1400	180,08	152
14	Heritage culturel	Nombre de bâtiments historiques, musées, etc. en danger lors de l'inondation si aucun prendre l		Ch	FVIs	E	11	25	1	8	4	6
15	Personnes vivant avec un handicap	% de la population ayant un handicap quelconque, aussi les personnes de moins de 15 ans et plus de 65 ans	%	%diable	FVIs	E	0,397 9	0,3979	0,3979	0,3979	0,59	0,4953
16	Population habitant dans les zones inondables	Nombre de personnes vivant dans une zone exposée aux inondations	Personne	Pfa	FVIs	E	967	689	800	600	1218	1100
17	Mortalité infantile	Nombre d'enfant de moins de 5 ans décédé sur 1000 naissance	‰	Cm	FVIs	S	69,7	69,7	69,7	69,7	113,2	113,2

Tableau 8: suite

N°	Indicateurs	Définitions	Unité	Acronyme	Sous- indice	Facteur FVI	Commune urbaine de Ouagadougou				Communes rurales	
							A1	A3	A9	A12	SAABA	KOMSILGA
18	Expérience du passé	Nombre de personnes touchées au cours des 10 dernières années à cause des inondations	Personne	Pe	FVIs	S	8568	33540	2199	8385	618	11153
19	Service d'urgence	Nombre de personnes travaillants dans ce service	#	Es	FVIs	R	5	5	5	5	6	3
20	Voies d'évacuation	% de routes bitumées	%	Er	FVIs	R	11,63	3,27	1,36	4,45	3	4
21	Abris et centres de santé	Nombre abris par km2 y compris les hôpitaux	#/km ²	S	FVIs	R	1,9	0,71	0,11	0,94	0,0202	0,0285

3.3 Résultats de l'IVI pour chaque composante de la vulnérabilité

Les résultats des IVI pour toutes les composantes et l'IVI total sont résumés ci-dessous et sont facilement estimés à l'aide de l'outil IVI dénomméunesco-ihe-fvi.org (**Balica et Wright, 2009**) pour les zones urbaines.

3.3.1 IVI pour la composante sociale

Les valeurs des indicateurs de la composante sociale ont été utilisées dans l'équation 4. Les résultats de la composante sociale sont illustrés à la Figure 3 et en annexe 1. Neuf (9) indicateurs, répartis entre tous les facteurs de vulnérabilité, ont été utilisés pour déterminer les valeurs sociales de l'IVI. Il s'agissait de la croissance démographique, du patrimoine culturel, de la densité de population, du pourcentage des personnes handicapées, du taux de mortalité infantile, de la population vivant en zone inondable, des sinistrés, du nombre de personnes travaillant dans les services d'urgence, du pourcentage de voies bitumées et de la présence de centres de santé. Sur la base de ces critères, l'arrondissement 3 de la ville de Ouagadougou se distingue comme étant le plus vulnérable socialement aux inondations urbaines, principalement en raison du nombre élevé de personnes vivant dans des zones exposées aux inondations, de la densité de la population et de la faible densité des centres de santé. Le deuxième territoire le plus vulnérable socialement aux inondations urbaines est l'arrondissement 6 de la ville de Ouagadougou pour des raisons similaires. La commune rurale de Komsilga et l'arrondissement 8 de la ville de Ouagadougou occupent simultanément la troisième place. Ils sont suivis par les arrondissements 4, 7 et 10 de la ville de Ouagadougou qui occupent respectivement la cinquième, sixième et septième place de vulnérabilité sociale aux inondations sur le territoire « Grand Ouaga ». Les territoires les moins vulnérables socialement aux inondations urbaines sont par ordre décroissant les arrondissements 1, 2, 5, 9, 11,12 puis les communes rurales de Saaba, Koubri, Komki-Ipala, Tanghin-Dassouri, Pabré et Loumbila suivant le même ordre de vulnérabilité.

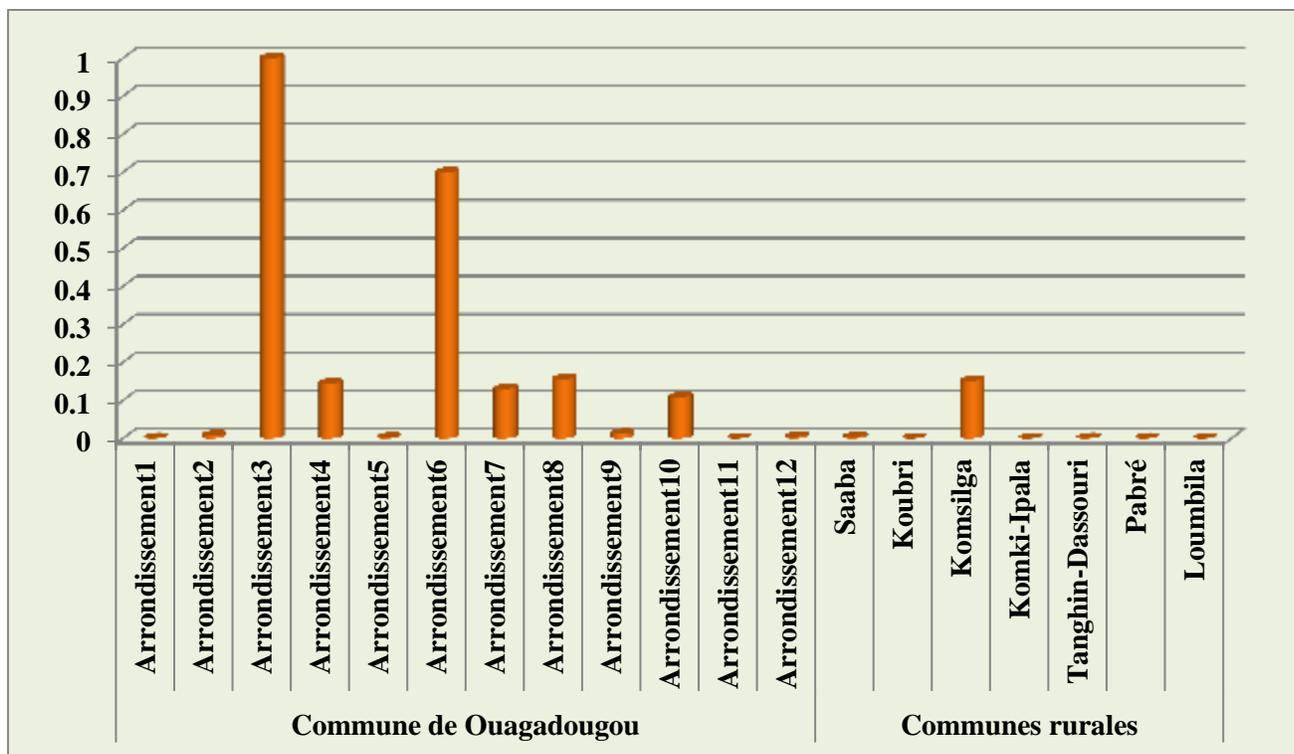


Figure 3 : IVI pour la composante sociale.

3.3.2 IVI pour la composante économique

Les valeurs des indicateurs de la composante économique ont été utilisées dans l'équation 5. Les résultats de la composante économique sont illustrés à la Figure 4 et en annexe 2. Trois indicateurs sont utilisés pour déterminer les valeurs économiques de l'IVI. Ces indicateurs sont repartis entre les facteurs d'exposition et de susceptibilité. Ils augmentent la vulnérabilité des territoires concernés. Il s'agissait du nombre d'industries ou de types d'activités économiques, le temps de récupération après une inondation et le taux de chômage dans la population. On peut constater, à l'aide de ces critères, que les arrondissements 2, 4 et 10 de la ville de Ouagadougou sont économiquement les plus vulnérables aux inondations urbaines. L'économie de ces territoires se redressera très lentement principalement en raison du nombre important d'industries sur ces territoires et du temps nécessaire pour se rétablir après une inondation. Il faut aussi signaler que sur ces sites, on rencontre des zones de concentration des industries dénommées zones industrielles. Il s'agit de la zone industrielle de Gounghin au niveau de l'arrondissement 2 et de zone industrielle de Kossodo située à cheval entre l'arrondissement 4 et 10. Le quatrième, le cinquième et le sixième territoire les plus vulnérables économiquement aux inondations

urbaines sont respectivement les arrondissements 1, 3 et 5 dans la ville de Ouagadougou pour des raisons similaires. Les arrondissements 6, 7,8 ,9 et 11 sont au même niveau de vulnérabilité et occupe la septième place sur le plan de vulnérabilité économique. L’arrondissement 12 est le moins vulnérable économiquement dans la commune de Ouagadougou en raison du fait que cet arrondissement se présente plus comme une résidentielle que commerciale. Il ressort également que tous les arrondissements de la commune urbaine de Ouagadougou sont classés économiquement plus vulnérables aux inondations que les communes rurales environnantes. Parmi les communes rurales environnantes, celle de Saaba se distingue et occupe la première place en raison de sa très grande proximité de la capitale Ouagadougou ce qui permet à certains acteurs économiques à s’y établir. Puis arrivent par ordre décroissant les communes de Komsilga, Pabré, Koubri, Komki-Ipala, Tanghin-Dassouri et enfin Loumbila.

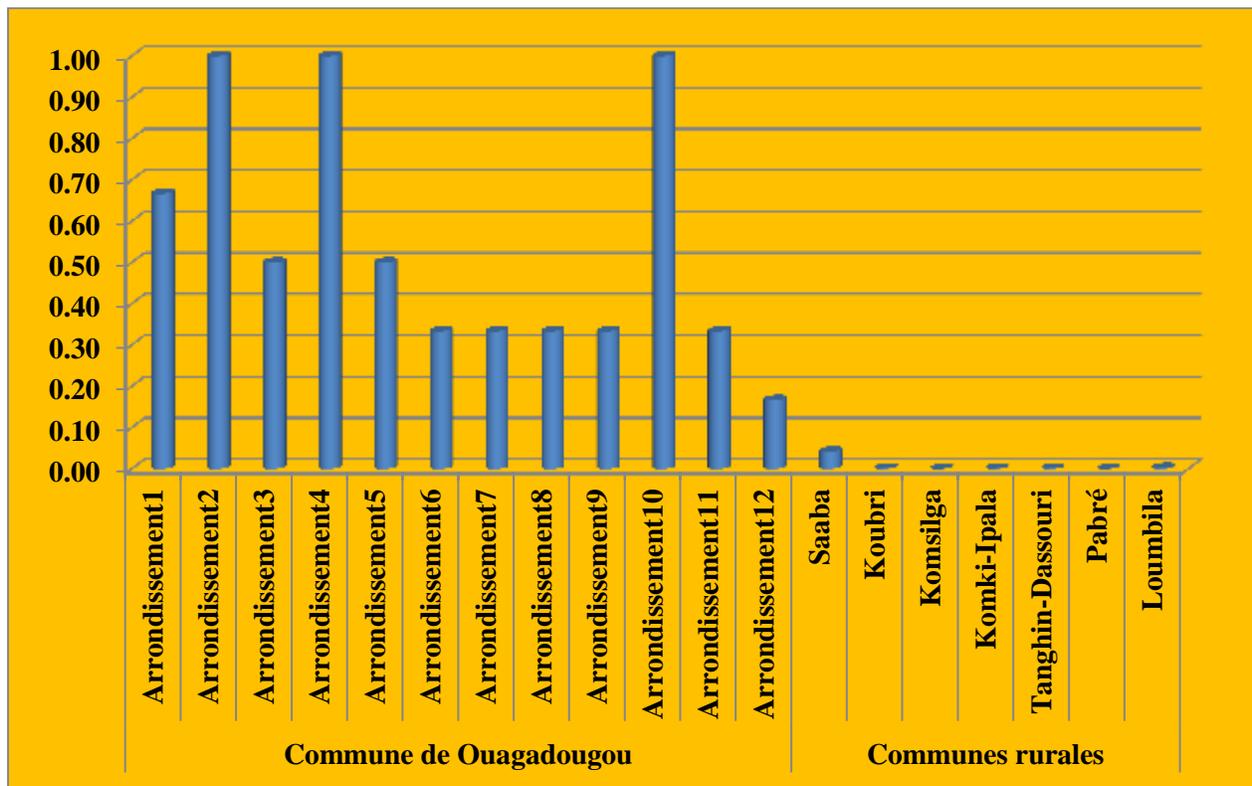


Figure 4 : IVI pour la composante économique

3.3.3. IVI pour la composante environnementale

Les valeurs des indicateurs de la composante environnementale ont été utilisées dans l'équation 6. Les résultats de la composante environnementale sont illustrés à la Figure 5 et en annexe 3. Cinq

indicateurs sont utilisés pour déterminer les valeurs environnementales de l'IVI. Ces indicateurs appartiennent aux facteurs d'exposition et de susceptibilité. Les facteurs d'exposition utilisés sont : la pluviométrie moyenne annuelle, le contact de la ville le long du cours d'eau. Les indicateurs du facteur de susceptibilité sont le pourcentage d'augmentation de la superficie urbaine au cours des 10 dernières années, la superficie réservée pour espace vert à l'intérieur de la ville et la mortalité infantile. Comme le montre la figure 5, le territoire le plus vulnérable sur le plan environnemental est l'arrondissement 10 de la ville de Ouagadougou en raison du contact avec le cours d'eau (17 kilomètres environ). Les arrondissements 2, 3, 4 et 6 occupent respectivement la seconde, troisième, quatrième place de vulnérabilité pour des raisons similaires. Il ressort également que les arrondissements 8 et 9 de la ville de Ouagadougou et les communes de Saaba et Komsilga sont quasiment au même niveau de vulnérabilité sur le plan environnemental. Les plus faibles vulnérabilités sont observés dans les communes rurales de Loumbila, Koubri, Tanghin-Dassouri, Pabré et de Komki-Ipala.

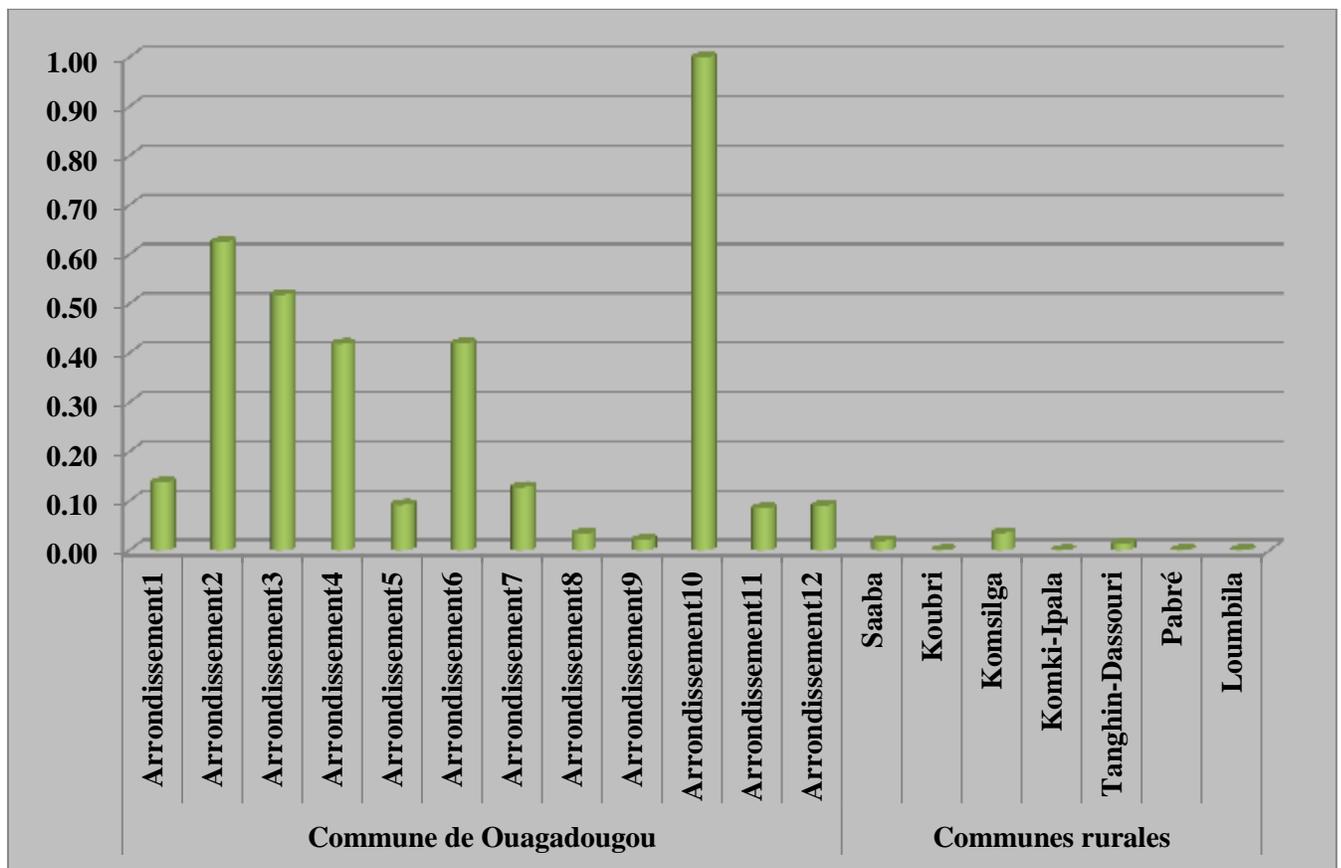


Figure 5 : IVI pour la composante environnementale

3.3.4 IVI pour la composante physique

Les valeurs des indicateurs de la composante physique ont été utilisées dans l'équation 7. Les résultats de la composante physique sont illustrés à la figure 6 et en annexe 4. Quatre indicateurs sont utilisés pour déterminer les valeurs physiques de l'IVI. Ces indicateurs appartiennent tous au facteur de résilience. En examinant la figure 6, on constate que l'arrondissement 8 de la ville de Ouagadougou est la plus vulnérable physiquement aux inondations urbaines en raison de la faible capacité de stockage des eaux des barrages, de la faible présence de canaux d'évacuation des eaux pluviales et une pente faible occasionnant des stagnation des eaux en saison des pluies. L'arrondissement 7 est la seconde zone la plus vulnérable pour des raisons similaires. Sur le plan physique les communes rurales à l'exception de celle de Komki-Ipala sont plus vulnérables que les arrondissements de la ville de Ouagadougou mis à part les arrondissements 7 et 8. Les communes rurales de Komsilga et Saaba occupent respectivement la première et la deuxième place de vulnérabilité physique en raison de leur faible pente et un faible réseau de canalisation des eaux pluviales.

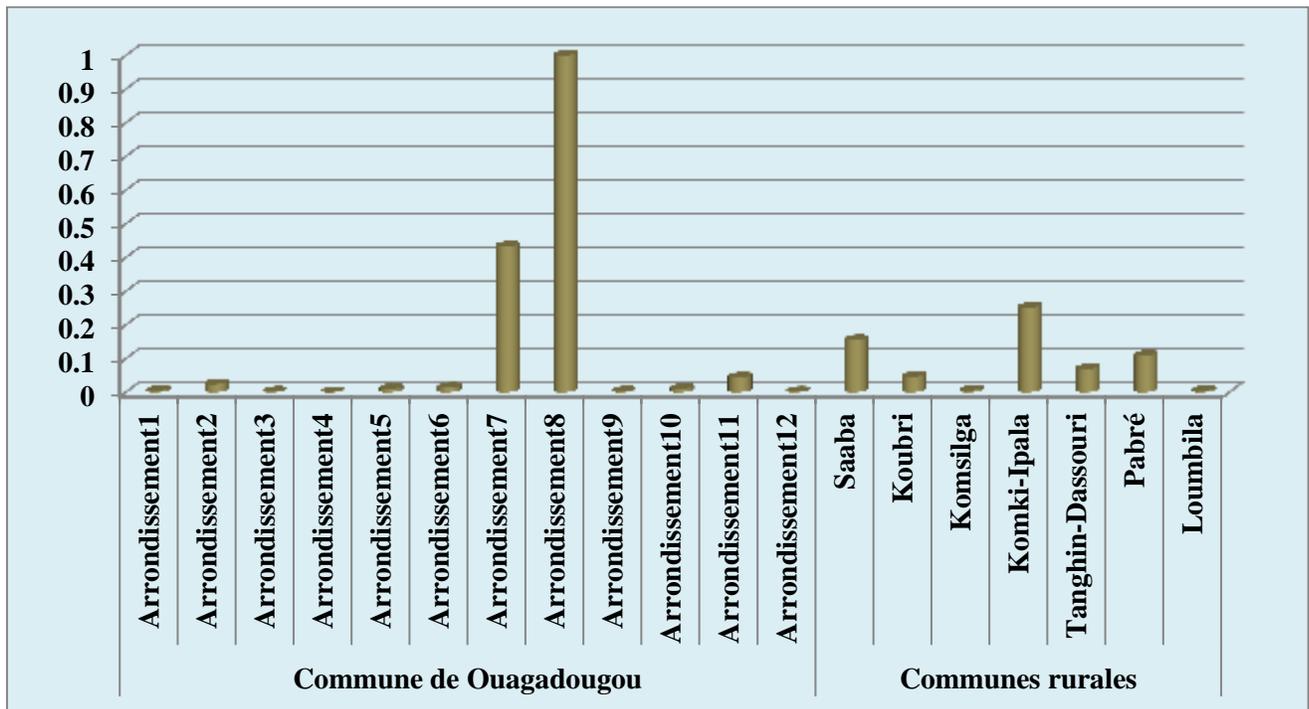


Figure 6 : IVI pour la composante physique

3.4 IVI global pour le « Grand Ouaga »

Globalement, les arrondissements 3 et 10 de la ville de Ouagadougou sont les plus vulnérables aux inondations dans l'espace « Grand Ouaga » (figure 7). Dans ces arrondissements, on note une forte occupation des zones inondables par la population et une présence importante des infrastructures socio-culturelles. Les inondations y sont aussi très récurrentes. En effet, de 2008 à 2016 ces arrondissements ont subi en moyenne huit (08) inondations majeures. L'arrondissement 2 est la troisième zone la plus vulnérable en raison certainement des abords des barrages 1, 2 et 3 de Ouagadougou qui sont régulièrement inondés. En effet, de 2008 à 2016 ces arrondissements ont subi en moyenne huit (09) inondations majeures. Dans la ville de Ouagadougou, c'est l'arrondissement 12 qui est le moins vulnérable aux inondations. Cela pourrait s'expliquer par sa faible densité de la population, la faible occupation des zones inondables par les populations et un faible nombre de sinistrés depuis 2008. Depuis cette date l'arrondissement a subi seulement trois inondations majeures. On constate également que tous les arrondissements de Ouagadougou sont plus vulnérables aux inondations que les communes rurales environnantes. Parmi les communes rurales, Saaba est la plus vulnérable du fait d'une forte présence des activités économiques et d'une occupation assez marquée des zones inondables par les populations.

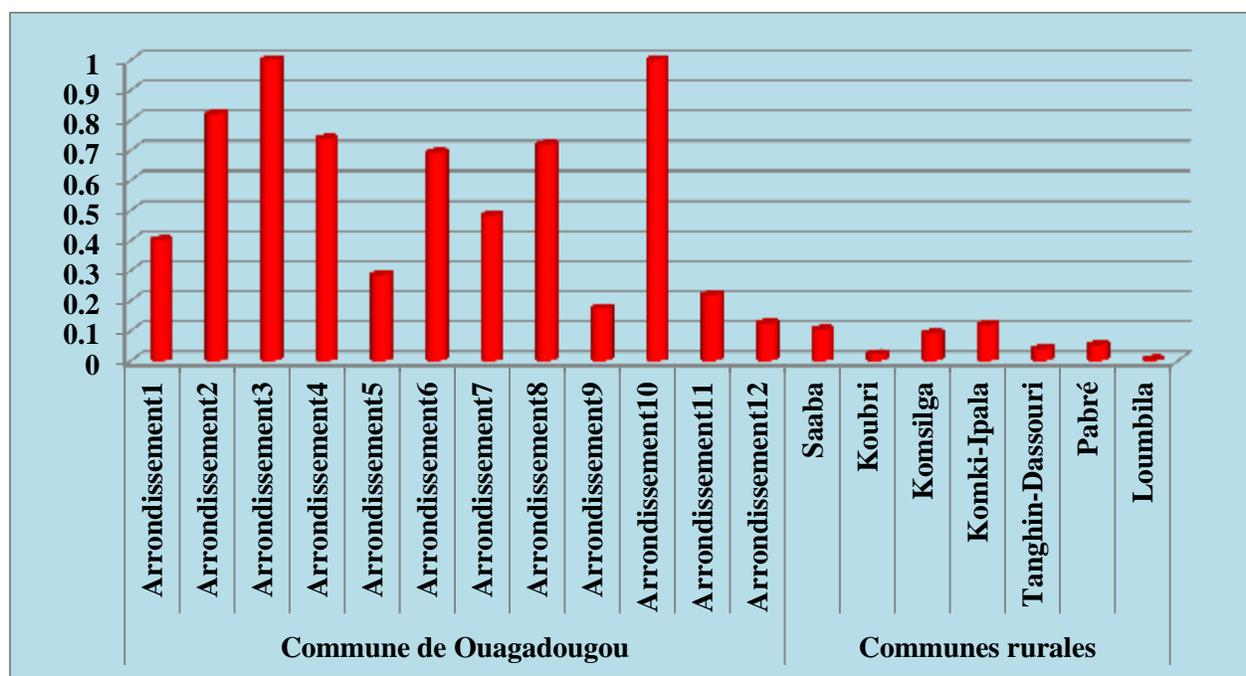


Figure 7 : IVI global pour le territoire « Grand Ouaga »

Sur l'ensemble du territoire « Grand Ouaga », on distingue cinq (05) zones de vulnérabilité aux inondations (figure 8). La première zone est celle de très forte vulnérabilité et est constituée des arrondissements 2, 3 et 10 de la ville de Ouagadougou. La seconde zone constituée des arrondissements 4, 6 et 8 de la ville de Ouagadougou est qualifiée de zone de forte vulnérabilité aux inondations. La troisième zone considérée comme la zone de moyenne vulnérabilité aux inondations est constituée des arrondissements 1, 5 et 7 de la ville de Ouagadougou. Les communes rurales de Saaba, Komsilga, Komki-Ipala, Tanghin-Dassouri, Pabré et de Koubri constituent la quatrième zone de vulnérabilité avec une faible vulnérabilité aux inondations. La commune rurale de Loumbila est déclarée comme la zone de très faible vulnérabilité et constitue la cinquième zone.

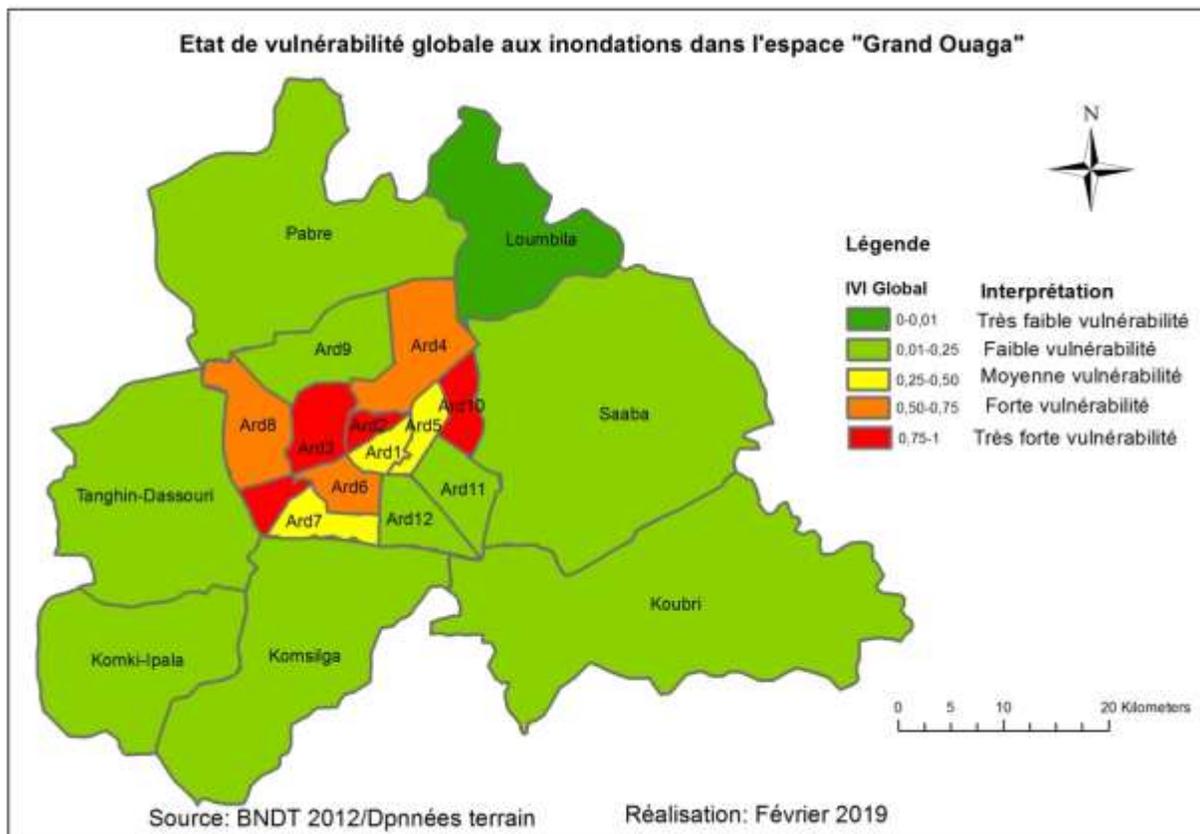


Figure 8: Etat de la vulnérabilité aux inondations dans l'espace « Grand Ouaga »

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Cette recherche a abouti à une évaluation de la vulnérabilité des populations dans l'espace Grand Ouaga. On peut retenir que les arrondissements 2, 3 et 10 de la ville de Ouagadougou sont les plus vulnérables aux inondations. Ouagadougou est socialement et économiquement exposé aux inondations en raison de la forte densité de populations, de la présence importante des habitants dans les zones marécageuses et d'une faible présence des infrastructures de résilience en occurrence les canaux d'évacuation des eaux pluviales. L'utilisation de l'IVI offre la possibilité d'obtenir une vue d'ensemble des composantes affectées et des options d'adaptation possibles qui pourraient être appliquées, en orientant les ressources vers un examen plus approfondi des stratégies d'adaptation les plus prometteuses.

Cependant, il est nécessaire de mettre en place un dispositif de surveillance continue de l'IVI pour l'espace « Grand Ouaga » afin de montrer une tendance dans le développement de la zone au fil du temps et fournir également des informations concrètes pour la préparation en cas d'inondation.

REFERENCES

- Adetunji, M., Oyeleye, O. (2013).** Evaluation of the causes and effects of flood in Apete, Ido Local Government Area, Oyo State, Nigeria. *Civ. Environ*, 19–26.
- Adger, W.N. (2006).** Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16, 268-281. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>.
- Balica, S.F, Douben, N., Wright, N.G. (2009).** Flood vulnerability indices at varying spatial scales. *Water Sci Technol J* 60 (10) : 2571–2580.
- Balica, S.F, Wright, N.G. (2010).** Reducing the complexity of Flood Vulnerability Index. *Environ Hazard J (EHJ)* 9(4):321–339.
- Balica, S.F., Wright, N. G., Van der (2012).** A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. *Nat Hazards*. DOI 10.1007/s11069-012-0234-1.
- Balica, S.F., Wright, N.G. (2009).** A network of knowledge on applying an indicator-based methodology for minimizing flood vulnerability. *Hydrol Process* 23 (20) : 2983–2986.
- Balica. S. F. (2007).** Development and Application of Flood Vulnerability Indices for Various Spatial Scales. *Water Science and Engineering*. Delft, UNESCO-IHE. MSc.
- Bani S. S. (2011).** Implications des facteurs physiques dans les risques d’inondation à Ouagadougou : cartographie des zones à risques et mesures de préventions. Mémoire pour l’obtention du diplôme de Master II en Eau et Environnement, Institut Internationale d’Ingénierie de l’Eau et Environnement (2IE), Ouagadougou, Burkina Faso.74 p
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., Wisner, B. (1994).** *At Risk Natural Hazards, People’s Vulnerability and Disasters*, London.
- Cendrero, A., Fischer, D.W. (1997).** A procedure for assessing the environmental quality of coastal areas for planning and management. *J Coast Res* 13:732–744
- Commune de Ouagadougou. (2012).** Analyse synthétique de l’énumération de la population de Ouagadougou, Ouagadougou, Burkina Faso, 21 p.
- Connor, R. F., Hiroki, K. (2005).** Development of a method for assessing flood vulnerability. *Water Sci. Technol.* 51(5): 61 – 67.
- Connor, R;F., Hiroki K. (2005).** Development of a method for assessing flood vulnerability. *Water Sci Technol* 51(5):61–67.
- Dal ,R., Simeoni, U. (1989).** Coastal zoning and vulnerability: application to the Middle Adriatic (Italy). *Coastal Zone’89* 3:98–110
- Douben, N. (2006).** Characteristics of river floods and flooding: a global overview, 1985 – 2003, *Irrigation and Drainage* 55, S9 – S21;
- Fuchs, S., Kuhlicke C., Meyer, V . (2011).** Editorial for the special issue: vulnerability to natural hazards—the challenge of integration. *Natural Hazards*. doi:[10.1007/s11069-011-9825-5](https://doi.org/10.1007/s11069-011-9825-5) (published online 17th of May 2011)
- Gallopin, G. C. (2006).** Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Glob. Environ. Change* 16(3), 293 – 303.

- Gbeassor, M., Oladokoun, W., Kpatcha, E. (2006).** Etude sur la vulnérabilité du Togo aux situations d'urgence. Togo.
- Gheorghe, A. (2005).** Integrated Risk and Vulnerability Management Assisted by Decision Support Systems. Relevance and Impact on Governance. Springer, Dordrecht.
- GIEC. (2014).** Changement climatique 2014: impacts, adaptation et vulnérabilité. Partie A: Aspects mondiaux et sectoriels.
- Gornitz, V. (2001).** Sea-level rise and coasts. In: Rosenzweig C, Solecki WD (eds) Climate change and a global city: an assessment of the metropolitan east coast region. Columbia Earth Institute, New York, pp 21–46, 210 pp.
- Gornitz, V.M., White, T.W. (1992).** A coastal hazards database for the U.S. East Coast. Report to the US department of energy, 3913, Oak Ridge National Laboratory, TN, USA.
- Green, C. (2004).** The Evaluation of Vulnerability to Flooding. Disaster Prevention and Management, (13). Emerald Group Publishing Limited, pp. 323 – 329.
- Haase, D. (2003).** Holocene floodplains and their distribution in urban areas functionality indicators for their retention potentials. Landsc. Urban Plan. 66, 5–18.
- Hangnon, H., de Longueville, F., Ozer, P. (2015).** Précipitations “extrêmes” et inondations à Ouagadougou ; quand le développement urbain est mal maîtrisé... In *Actes du 28e Colloque International de l'Association Internationale de Climatologie* (pp. 497–502). Université de Liège.
- Kelly, P. M., Adger, W. N. (2000).** Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. *Clim. change* 47, 325 – 352.
- Klein, R.J.T., Nicholls R.J. (1999).** Assessment of coastal vulnerability to climate change. *Ambio*, 28(2), 182–187.
- Lamond, J., Bhattacharya, N., Bloch, R. (2012).** The role of solid waste management as a response to urban flood risk in developing countries, a case study analysis. In *Flood Recovery Innovation and Response*; WIT Press: Southampton, UK,; pp. 193–205.
- McLaughlin, S., Cooper, J.A.G. (2010).** A multi-scale coastal vulnerability index: a tool for coastal managers? *Environ Hazards J* 9:1–16. Earthscan ISSN: 1878-0059.
- Messner, F. et Meyer, V. (2006).** Flood damages, vulnerability and risk perception—challenges for flood damage research. In: Schanze, J., et al. (eds) *Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures*. Springer. pp. 149 – 167.
- Nasiri, H., Shahmohammadi-kalalagh, S. (2013).** Flood vulnerability index as a knowledge base for flood risk assessment in urban area. *J. Novel Appl. Sci.* 2013, 2, 269–272.
- Rasse, G. (2009).** Les plans de prévention des risques technologiques au prisme de la vulnérabilité: le point de vue du juriste, Thèse de Doctorat en Sciences et Génie des activités à risques, Ecole nationale supérieure des mines de Paris, France, 326p.
- Sokemawu, K. (2017).** Les inondations et leurs répercussions socio-économiques et sanitaires dans la vallée du Zio au sud du Togo, *Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes*, Numéro 2 Juin 2017, ISSN 2521-2125, 13p.

Soma A., Compaoré G., Bonnet E. (2014). Perception et culture du risques d'inondation par les riverains des barrages 1, 2 et 3 de la ville de Ouagadougou, *Revue de Géographie de Ouagadougou*, Burkina Faso, 12 p.

SPCONASUR. (2009). Rapport d'activités du PS/CONASUR dans le cadre de la gestion des catastrophes pour l'année 2009, Burkina Faso, 36 p.

Sullivan, C., Meigh, J. (2005). Targeting attention on local vulnerabilities using an integrated index approach: the example of the climate vulnerability index. *Water Sci. Technol.* 51(5), 69 – 78.

Fowé T., Diarra, A., Kaboré., R.F.W.,| Boubacar, I., Bologo., M., Traoré, K., Harouna, K. (2018). Trends in flood events and their relationship to extreme rainfall in an urban area of Sahelian West Africa: The case study of Ouagadougou, Burkina Faso. *J Flood Risk Management.* 2018; e12507.<https://doi.org/10.1111/jfr3.12507>

Turner II, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J. X., Luers, A., Martello, M. L., Polsky, C., Pulsipher, A., Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100, 8074 – 8079.

UN-Habitat (2008). The State of African Cities 2008: A Framework for Addressing Urban Challenges in Africa; UN-HABITAT: Nairobi, Kenya, 2008; p. 220.

Van Beek, E. (2006). Water Resources Development, UNESCO-IHE, Lecture Notes.

Van Beek, E., Loucks, D. P. (2005). Water Resources Systems Planning and Management—an introduction to methods, models and applications, UNESCO—Paris.

Van der Veen, A., Logtmeijer, C. (2005). Economic hotspots: visualizing vulnerability to flooding. *Nat. Hazards* 36(1 – 2), 65 – 80.

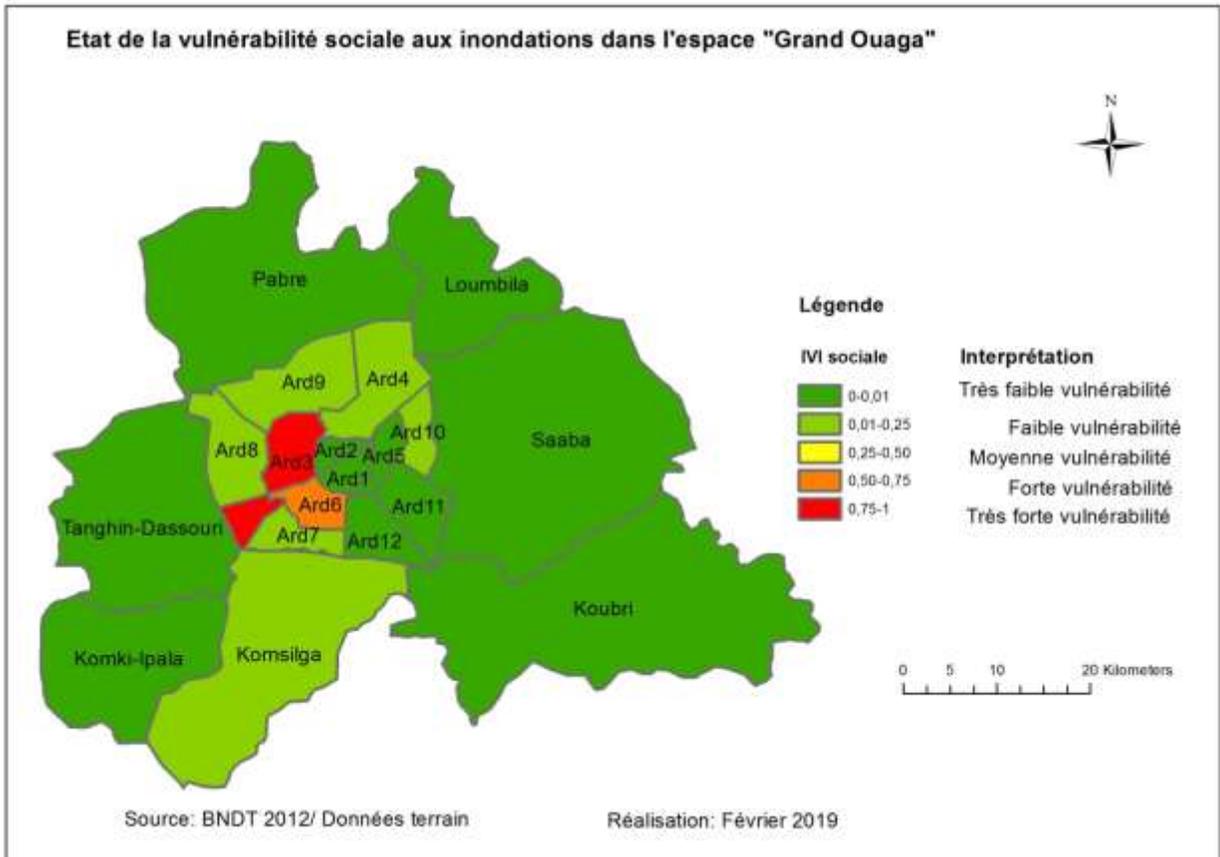
Villagran de Leon, J. C. (2006). Vulnerability—A conceptual and Methodological review, UNU EHS, no 4/2006, Bonn, Germany.

Wallez, L. (2010). Inondations dans les villes d'Afrique de l'Ouest: diagnostics et éléments de renforcement des capacités d'adaptation dans le grand Cotonou, Diplôme de Maîtrise en environnement et Master en Ingénierie et Management de l'Environnement et du Développement Durable, Centre Universitaire de Formation en Environnement de l'Université de Sherbrooke, Canada, 90 p.

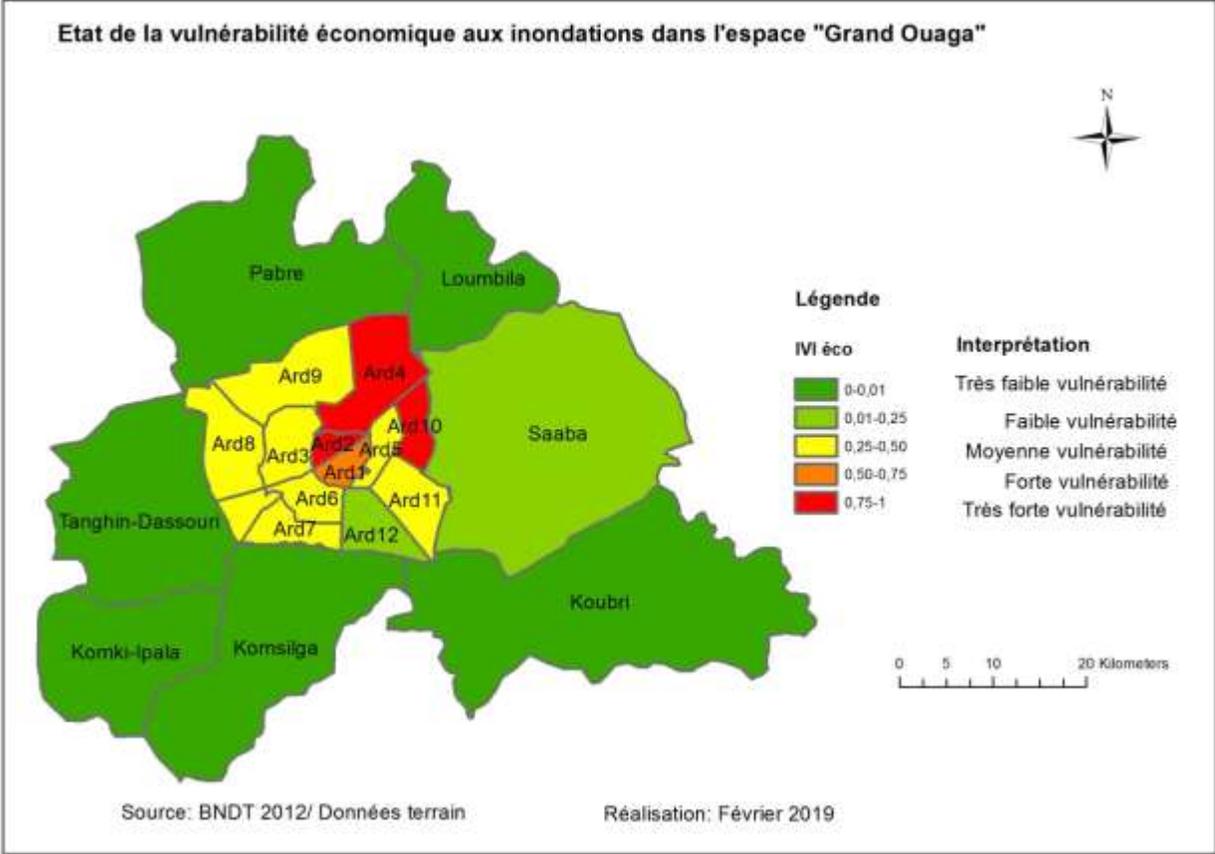
Watson, R. T., Zinyowera, M. C. et Moss, R. H. (1996). 'Climate Change 1995', in *Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*. Cambridge University Press, Cambridge.

ANNEXE

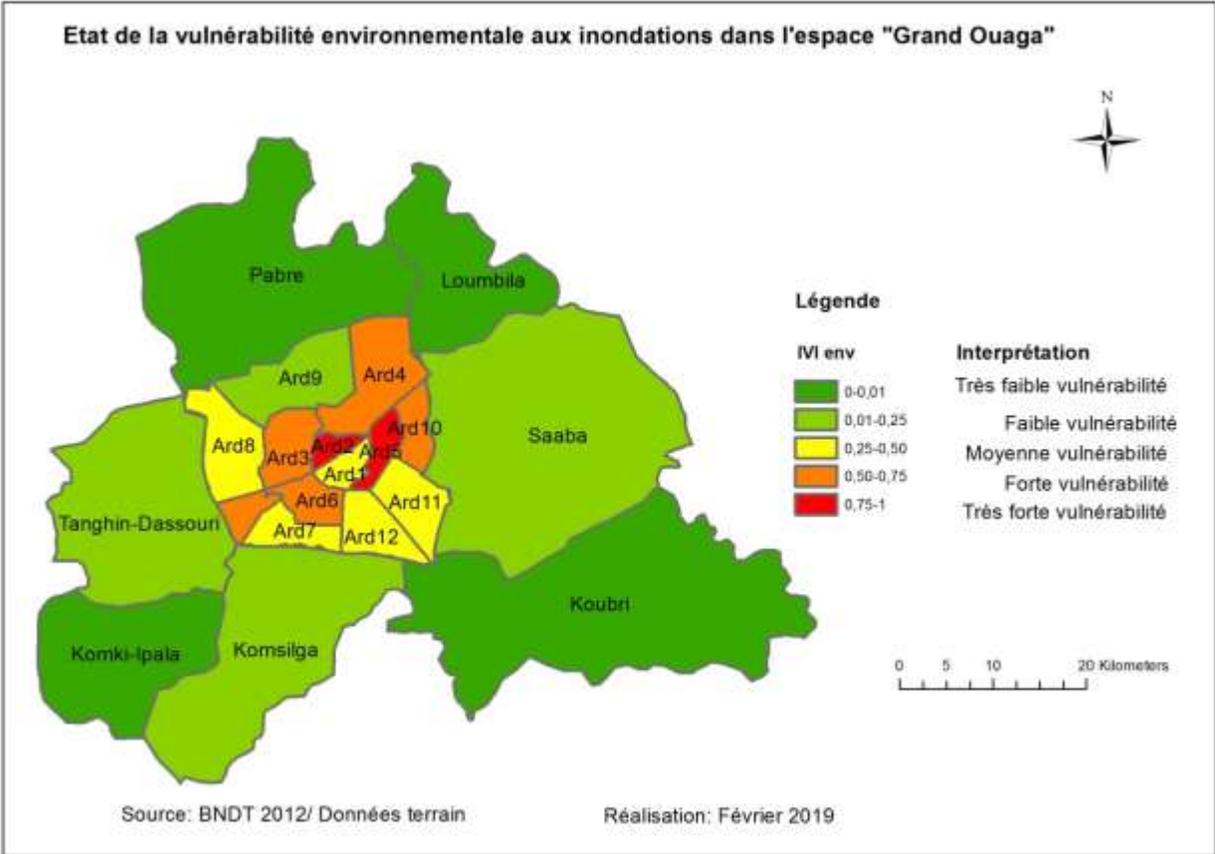
Annexe1: Etat de vulnérabilité sociale aux inondations dans l'espace « Grand Ouaga »



Annexe 2: Etat de la vulnérabilité économique aux inondations dans l'espace « Grand Ouaga »



Annexe 3 : Etat de la vulnérabilité environnementale aux inondations dans l'espace « Grand Ouaga »



Annexe 4 : Etat de la vulnérabilité physique aux inondations dans l'espace « Grand Ouaga »

