

---

## **Exposition et vulnérabilité face aux risques d'inondation de la ville de Dori**

**Auteur :** Tomety, Yaovi Djivénou

**Promoteur(s) :** Ozer, Pierre; Dewals, Benjamin

**Faculté :** Faculté des Sciences

**Diplôme :** Master de spécialisation en gestion des risques et des catastrophes

**Année académique :** 2016-2017

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/3277>

---

### *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.*

---



**FACULTÉ DES SCIENCES**

**Département des Sciences et Gestion de l'Environnement**

**Année académique  
2016 - 2017**

**EXPOSITION ET VULNÉRABILITÉ FACE AUX RISQUES  
D'INONDATION AU BURKINA FASO :  
CAS DE LA VILLE DE DORI**

**Mémoire présenté et soutenu publiquement par**

**Djivénou Yaovi TOMETY**

**en vue de l'obtention du diplôme de Master de spécialisation en gestion des risques et  
des catastrophes**

---

**Rédigé sous la direction de :**

**Dr. Pierre OZER**

**Dr. Benjamin DEWALS**



## Dédicace

---

*A ma mère Nénonéné Akoua qui a bien accepté avec amour soutenir  
ma famille en mon absence.*

*A mon épouse Rimaludo Valérie en reconnaissance pour sa  
compréhension, son amour et tous les efforts consentis pour me  
soutenir tout au long de ce master de spécialisation.*

*A nos magnifiques et courageux enfants Ashley Délagnon A. et Chris  
Elom K.*

## Remerciements

---

Je voulais exprimer en premier lieu mes sincères remerciements à mon promoteur Docteur Pierre Ozer, coordonnateur du master de spécialisation en gestion des risques et des catastrophes, qui a accepté me guider dans ce travail de recherche. Son appui scientifique, permanent, constant et très remarquable tout au long de ce travail a été d'un grand concours pour l'aboutissement de ce document. J'admire son sens de travail bien fait, son sens élevé de collaboration, l'investissement humain et l'ambiance de travail conviviale qu'il a su instaurer pour la réalisation effective ce master.

Mes vifs remerciements vont également à mon co-promoteur Docteur Benjamin Dewals pour son soutien très précieux, son appui en documentation et ses conseils scientifiques dans la réalisation de ce travail de recherche. Il a su m'inspirer pendant ces cours dans la vision systémique d'appréhender les risques d'inondation.

Je tiens également à remercier :

Le Professeur André Ozer, pour son désir ardent de communiquer son savoir riche d'une grande expérience ;

Docteur Dominique Perrin pour ses précieux conseils et orientations pendant la phase de collecte des données au Burkina Faso ;

Monsieur Francis Guyon pour son appui en documentation et orientation pour les données utiles en système d'information géographique.

J'exprime mes profondes reconnaissances à l'Académie de Recherche d'Enseignement Supérieur (ARES) pour l'octroi de cette bourse d'études qui m'a offert l'opportunité d'effectuer ce master de spécialisation en Belgique.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude au corps Professoral de l'université de Liège, des campus d'Arlon et de Mons qui ont bien contribué à travers les cours et divers appuis pour la réalisation de ce master de spécialisation.

Enfin toute ma reconnaissance à l'endroit de toutes mes promotionnelles et de tous mes promotionnels qui ont fait montre du soutien mutuel que chacun a su apporter durant tout le parcours ainsi que tous mes amis que j'ai fait connaissance en Belgique.

## Résumé

---

La ville de Dori, située à la lisière du Sahara, connaît fréquemment des inondations dues à des stagnations des eaux de pluies à l'intérieur de la ville et du débordement de la grande mare. Certaines mesures structurelles sont prises par la ville pour réduire la vulnérabilité aux inondations à l'intérieur de la ville mais il n'en demeure pas moins que ces mesures sont insuffisantes au regard du risque de débordement des eaux que cette grande mare qui ceinture la ville au  $\frac{3}{4}$  de son périmètre l'expose encore aux risques d'inondation.

L'objet de cette étude est d'analyser les causes des inondations dans la ville de Dori, d'évaluer sa vulnérabilité aux inondations à travers les indicateurs pertinents qui interagissent à la fois entre les facteurs de vulnérabilité d'exposition, de susceptibilité et de résilience et les composantes de la vulnérabilité sociale, économique, environnementale et physique. Une autoanalyse de la vulnérabilité par les populations par zone à risque d'inondation dans la ville est réalisée pour mieux explorer les spécificités de la nature de la vulnérabilité de ces zones exposées aux risques d'inondation.

Cette analyse a permis de mettre en exergue une conjonction de phénomènes environnementale, climatique et beaucoup plus anthropique à l'origine des inondations à Dori. Le couplage de plus d'une méthode dans l'analyse de la vulnérabilité donne un avantage de comprendre, au-delà des indicateurs globaux entrant dans la détermination de l'indice de la vulnérabilité aux inondations de la ville, les spécificités des zones à risque et les stratégies individuelles et collectives de réponses face aux inondations. L'évaluation de vulnérabilité aux inondations à travers divers méthodes utilisées permet aux décideurs de comprendre la vulnérabilité sociale, économique, environnementale et physique afin de mieux cibler les actions de mitigations à travers une gestion intégrée des risques d'inondation par des approches mixtes et contextualisées aux réalités des villes moyennes pour tendre vers des villes sûres et résilientes dans ce contexte de transition démographique accentué par la décentralisation.

Mots clés : *Vulnérabilité, inondation, approches mixtes, indicateurs, mitigations*

## Abstract

---

The town of Dori, located on the outskirts of the Sahara, frequently experiences flooding due to the stagnation of rainwater inside the city and the overflowing of the large pond. Some structural measures are being taken by the city to reduce the vulnerability to flooding within the city, but these measures are insufficient with regard to the risk of overflowing water that this large pond that encircles the city  $\frac{3}{4}$  of its perimeter still exposes it to the risk of flooding.

The purpose of this study is to analyze the causes of flooding in the city of Dori, to assess its vulnerability to flooding through relevant indicators that interact between vulnerability factors of exposure, susceptibility and Resilience and the components of social, economic, environmental and physical vulnerability. A self-analysis of vulnerability by populations by flood risk area in the city is carried out to better explore the specific nature of the vulnerability of these areas exposed to flood risks.

This analysis made it possible to highlight a conjunction of environmental, climatic and much more anthropogenic phenomena at the origin of the floods in Dori. Coupling more than one method to the vulnerability analysis gives the advantage of understanding, beyond the overall indicators used to determine the vulnerability index to the city's floods, the specificities of the risk zones and individual and collective responses to flooding. Assessing flood vulnerability through various methods allows decision-makers to understand social, economic, environmental and physical vulnerability in order to better target mitigation actions through integrated flood risk management through mixed and contextualized approaches to the realities of medium-sized cities in order to move towards safe and resilient cities in this context of demographic transition accentuated by decentralization.

Key words: *Vulnerability, flood, mixed approaches, indicators, mitigations*

## Table des matières

---

<i>Dédicace</i> .....	<i>i</i>
<i>Remerciements</i> .....	<i>ii</i>
<i>Résumé</i> .....	<i>iii</i>
<i>Abstract</i> .....	<i>iv</i>
<i>Table des matières</i> .....	<i>v</i>
<i>Liste des figures</i> .....	<i>vii</i>
<i>Liste des tableaux</i> .....	<i>viii</i>
<i>Liste des photos</i> .....	<i>viii</i>
<i>Liste des annexes</i> .....	<i>viii</i>
<i>Liste des sigles et acronymes</i> .....	<i>ix</i>
<b>1 Introduction générale et présentation de la recherche</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Problématique</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Objectifs de l'étude</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 Intérêt de l'étude</b> .....	<b>2</b>
<b>2 Etat des connaissances sur la vulnérabilité face aux risques d'inondation dans les villes sahéliennes</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 Les inondations dans les villes sahéliennes d'Afrique</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2 La vulnérabilité des populations des villes face aux risques d'inondation: un défi de grande portée dans une approche systémique</b> .....	<b>4</b>
<b>2.3 Inondations : quelles réponses apporter pour les villes sahéliennes en Afrique de l'Ouest ?</b> .....	<b>6</b>
<b>3 Données et méthodes</b> .....	<b>8</b>
<b>3.1 La zone d'étude</b> .....	<b>8</b>
3.1.1 Caractéristiques de la zone d'étude.....	8
3.1.2 Le bassin versant de Dori.....	9
3.1.3 La grande mare de Dori et son impact sur la ville .....	11
<b>3.2 Données</b> .....	<b>12</b>
<b>3.3 Démarches méthodologiques</b> .....	<b>12</b>
3.3.1 Démarche dite top-down.....	13
3.3.1.1 Evolution des anomalies et tendances pluviométriques .....	13
3.3.1.2 Caractérisation des périodes de retour.....	14
3.3.1.3 Evolution de l'étalement du tissu urbain .....	14
3.3.1.4 Evaluation de la vulnérabilité .....	15



3.3.2	Démarche dite bottom-up .....	16
<b>4</b>	<b>Résultats .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1</b>	<b>Identification des causes des inondations dans la ville de Dori .....</b>	<b>19</b>
4.1.1	Variabilité interannuelle des précipitations .....	19
4.1.2	Tendances des indices pluviométriques .....	20
4.1.3	Détermination des fréquences de retour des pluies exceptionnelles.....	22
4.1.4	Evolution de l'étalement du bâti de la ville de Dori: étude diachronique.....	23
4.1.5	Perception des populations sur les causes des inondations à Dori.....	25
4.1.6	Perception des populations sur les impacts des inondations à Dori.....	25
4.1.7	Perception des autorités et des organismes basés à Dori sur les inondations dans la ville de Dori .....	27
<b>4.2</b>	<b>Facteurs de la vulnérabilité de la ville face aux risques d'inondation .....</b>	<b>29</b>
4.2.1	Indice de vulnérabilité aux inondations à Dori .....	29
4.2.2	Les zones vulnérables aux inondations dans la ville de Dori .....	30
<b>4.3</b>	<b>Les stratégies d'adaptation pour la réduction de la vulnérabilité aux risques d'inondation .....</b>	<b>33</b>
4.3.1	Stratégies d'adaptation au niveau ménage .....	33
4.3.2	Stratégies d'adaptation de la réduction de la vulnérabilité au niveau de la communauté locale .....	35
4.3.3	Stratégies de réduction de la vulnérabilité proposées pour la ville de Dori par les populations .....	35
4.3.4	Stratégies de réduction de la vulnérabilité proposées par les autorités et les organismes de la ville de Dori.....	36
<b>5</b>	<b>Discussions .....</b>	<b>39</b>
<b>5.1</b>	<b>Origine des inondations à Dori.....</b>	<b>39</b>
<b>5.2</b>	<b>Nature et facteurs de la vulnérabilité de la ville face aux risques d'inondation</b>	<b>42</b>
5.2.1	Vulnérabilité sociale .....	43
5.2.2	Vulnérabilité économique .....	44
5.2.3	Vulnérabilité environnementale.....	45
5.2.4	Vulnérabilité physique .....	46
<b>5.3</b>	<b>Proposition des mesures de réduction de la vulnérabilité aux risques d'inondation .....</b>	<b>46</b>
5.3.1	Les mesures endogènes.....	47
5.3.2	Mesures non structurelles .....	47
5.3.3	Mesures structurelles .....	48
<b>6</b>	<b>Conclusions et perspectives .....</b>	<b>49</b>
	<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>51</b>

## Liste des figures

---

Figure 1: Ville de Dori et les mares (Source : SDAU Dori, 2012) .....	8
Figure 2: Le bassin versant de Dori et la zone lotie de la ville de Dori .....	10
Figure 3: Importance perçue de la grande mare de Dori.....	11
Figure 4: Organigramme structuré des méthodologies utilisées .....	18
Figure 5: Evolution de la pluviométrie à la station de Dori de 1950 à 2013 .....	20
Figure 6: Tendances des précipitations annuelles à Dori sur la période 1950 à 2013.....	20
Figure 7: Tendances des pluies maximales journalières à Dori sur la période 1950 à 2013 .....	20
Figure 8: Tendances du nombre de jours consécutifs de pluies à Dori sur la période 1950 à 2013 .....	21
Figure 9: Tendances du nombre de jours de pluies supérieures à 1mm à Dori sur la période 1950 à 2013 .....	21
Figure 10: Tendances du nombre de jours de pluies supérieures à 95 <sup>ème</sup> percentile à Dori sur la période 1950 à 2013 .....	21
Figure 11: Tendances du nombre de jours de pluies supérieures à 99 <sup>ème</sup> percentile à Dori sur la période 1950 à 2013 .....	21
Figure 12: Tendances du nombre de jours de pluies supérieures à 99.5 <sup>ème</sup> percentile à Dori sur la période 1950 à 2013 .....	22
Figure 13: Fréquence de retour des pluies maximales journalières .....	22
Figure 14: Etalement de la ville de Dori entre 1985 et 2016 .....	24
Figure 15: Perception sur les causes des inondations dans la ville de Dori par les populations .....	25
Figure 16: Impacts des inondations à Dori.....	26
Figure 17: Différents types de maisons affectées par les inondations dans la ville de Dori ....	26
Figure 18: Indice de vulnérabilité aux inondations à Dori en 2006 et en 2016 .....	29
Figure 19: Carte de la vulnérabilité de la ville de Dori en 2006 (a) et en 2016 (b) .....	31
Figure 20: Carte d'inondation de la ville de Dori établie à partir de l'inondation de 2012.....	32
Figure 21: Expériences vécues par les populations pendant les inondations dans la ville de Dori.....	34
Figure 22: Stratégies actuellement adoptées par les ménages pour la réduction de la vulnérabilité aux inondations dans la ville de Dori.....	34
Figure 23: Stratégies d'adaptation que pourraient entreprendre les ménages pour réduire la vulnérabilité aux inondations dans la ville de Dori.....	35
Figure 24: Propositions de mesures de réduction de la vulnérabilité aux inondations dans la ville de Dori par les populations .....	36

## Liste des tableaux

---

Tableau 1: Concepts de la vulnérabilité à travers des formules mathématiques.....	5
Tableau 2: Indices utilisés pour la caractérisation des évènements pluvieux extrêmes.....	14
Tableau 3: Classification de sévérité suivant l'indice de précipitation standardisé (SPI) .....	19
Tableau 4: Fréquence de retour des pluies en lien avec les inondations à Dori.....	23
Tableau 5: Evolution de la population et de la superficie de la ville de Dori .....	23
Tableau 6: Classification de la vulnérabilité d'un système aux inondations .....	30
Tableau 7: Mesure du taux spécifique des sédiments à partir de la charge de sédiments en suspension ou de l'étude des réservoirs au Burkina Faso et au Mali.....	41

## Liste des photos

---

Photo 1: La grande mare de la ville de Dori .....	11
Photo 2: Type de maisons rencontrées dans les zones hors lotissement : maison en banco (a) ; maison en dur (b) ; maison en semi dur (c).....	27
Photo 3: Inondation du 21 août 2012 à Dori .....	39

## Liste des annexes

---

Annexe 1: Questionnaire pour les enquêtes de terrain à Dori dans le cadre du travail de fin d'étude.....	59
Annexe 2: Relation entre les indicateurs, les composantes et les facteurs de la vulnérabilité au niveau des sous-bassins versants, des vallées des rivières et urbains .....	69
Annexe 3: Les indicateurs, leurs définitions et les sources de données pour le calcul de l'indice de la vulnérabilité aux inondations dans la ville de Dori .....	72
Annexe 4: Données ayant servi au calcul de l'indice de la vulnérabilité aux inondations à Dori .....	76

## Liste des sigles et acronymes

---

<b>BRACED</b>	: Bulding Resilience and Adaptation to Climate Extremes and Disasters
<b>BRAPA</b>	: BRACED Participatory Approach
<b>CACI-Conseils</b>	: Centrale d'Assistance et de Contrôle – Ingénieurs Conseils
<b>ECED/Sahel</b>	: Eau et Croissance Economique Durable au Sahel
<b>EICVM</b>	: Enquête Intégrale sur les Conditions de Vie des Ménages
<b>FVI</b>	: Indice de Vulnérabilité aux Inondations
<b>FVIec</b>	: Indice de Vulnérabilité aux Inondations pour la composante économique
<b>FVIen</b>	: Indice de Vulnérabilité aux Inondations pour la composante environnementale
<b>FVIph</b>	: Indice de Vulnérabilité aux Inondations pour la composante physique
<b>FVIs</b>	: Indice de Vulnérabilité aux Inondations pour la composante sociale
<b>INSD</b>	: Institut National de la Statistique et de la Démographie
<b>PANA</b>	: Plan d'Action National d'Adaptation
<b>PCD</b>	: Plan Communal de Développement
<b>PCESA</b>	: Programme de Croissance Economique dans le Secteur Agricole
<b>PDNA</b>	: Post Disaster Needs Assessment
<b>PNDES</b>	: Plan National de Développement Economique et Social
<b>PRPC</b>	: Programme de Réduction de la Pauvreté au niveau Communal
<b>RGPH</b>	: Recensement Général de la Population et de l'Habitation
<b>SDAU</b>	: Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme
<b>UNISDR</b>	: United Nations Office for Disaster Risk Reduction
<b>WFP</b>	: World Food Programme
<b>ZHL</b>	: Zone hors lotissement
<b>ZL</b>	: Zone lotie

# **1 Introduction générale et présentation de la recherche**

---

## **1.1 Problématique**

De par sa localisation, le Burkina Faso est exposé à un large spectre de phénomènes naturels. Ces derniers, combinés aux situations socio-économiques difficiles des populations constituent un état de risques permanent et grandissant. Les sécheresses, les inondations, les attaques acridiennes, la dégradation des sols, les érosions, les grands vents constituent les causes d'une série de désastres dans les différentes communes du Burkina Faso (Plan national multi risques, 2008).

Ces dernières décennies sont marquées par ces risques croissants qui rendent les populations plus vulnérables. Les conditions hydrométéorologiques sont les facteurs de risque les plus importants (Plan national multi risques, 2008; WFP, 2010) dans les communes du Burkina Faso. En effet, les communes, situées à la lisière du Sahara, connaissent une mauvaise répartition des pluies, les pics de précipitations et une infiltration de l'eau dans le sol très limitée (Niang, 2006) causant le plus souvent des inondations. Elles subissent également de grandes variations de température entraînant une forte évapotranspiration pouvant atteindre en moyenne 250 mm par mois (Abou, 1999) qui assèchent rapidement les plans d'eau, en particulier la grande mare de Dori, source d'abreuvement des animaux.

Chacune de ces conditions peut entraîner des impacts majeurs sur la population, et ces impacts peuvent être accentués par les facteurs de vulnérabilité et d'exposition que connaissent la plupart des communes au Burkina Faso, et pire encore, celles se situant dans la bande sahélo-sahélienne. La nature et la gravité des conséquences d'un phénomène extrême climatique sur les collectivités territoriales au Burkina Faso dépendent du phénomène lui-même, mais aussi de la vulnérabilité et de l'exposition aux dangers.

Signalons que le premier facteur de vulnérabilité dans les communes est la pauvreté. La proportion des pauvres et de très pauvres est d'environ 44% (EICVM, 2011). Les autres facteurs de la vulnérabilité sont des facteurs physiques, socio-économiques et institutionnels. La vulnérabilité due aux aléas naturels est complexe et multi facettes et requiert des analyses et des solutions environnementale, économique, sociale et des perspectives techniques (UNISDR, 2009).

De 1995 à nos jours, les communes du Burkina Faso ont enregistré des inondations dont la plus importante est survenue en 2009. Cette inondation de 2009 a affecté 9 régions sur 13 et les estimations des pertes et des dommages évaluées dans les secteurs des infrastructures de production et des moyens d'existence, de l'environnement et du social s'élevaient à 135 millions de dollars US (PDNA-Burkina Faso, 2011). D'après le rapport du WFP (2010) sur les saisons et les aléas saisonniers, les inondations et les événements de sécheresse sont saisonniers et les populations sont plus affectées par ces deux aléas au Burkina Faso.

La ville de Dori entourée presque aux  $\frac{3}{4}$  de son périmètre par la grande mare, dans le sahel du Burkina Faso, est aussi exposée à ces risques saisonniers en l'occurrence les inondations dont la plus récente et désastreuse remonte à août 2012 occasionnant des dégâts sur les habitations surtout dans les zones périurbaines non viabilisées avec une population en majorité pauvre.

Le constat est que la ville de Dori, à l'instar des autres villes moyennes au Burkina Faso, ne dispose pas de documents de référence en matière de gestion des risques d'inondation, n'agit pas de façon planifiée et conséquente pour prévenir les risques. Les populations sont souvent exposées à ces risques entraînant des pertes et des dommages considérables.

Notre recherche se focalisera sur les risques d'inondation dans la ville de Dori notamment les zones les plus exposées pour une amélioration de leur résilience à travers l'analyse des causes de ces inondations et la vulnérabilité des populations dans les zones défavorisées afin de proposer des mesures de mitigations contextuelles et adaptées.

## **1.2 Objectifs de l'étude**

L'objectif global de ce projet est d'étudier la vulnérabilité et l'exposition des personnes et des biens et d'envisager les possibilités de réduction de leur vulnérabilité face aux risques d'inondation dans la ville de Dori au Burkina Faso.

Plus spécifiquement, ce projet de recherche vise à :

- analyser les causes des inondations et la dynamique de la grande mare de Dori et son impact sur la ville de Dori ;
- analyser la vulnérabilité et l'exposition des populations aux risques d'inondation dans la ville de Dori au Burkina Faso ;
- proposer des mesures structurelles et non structurelles face aux risques d'inondation.

## **1.3 Intérêt de l'étude**

A travers les résultats de cette étude, les plans communaux de gestion des risques seront élaborés pour les collectivités du Burkina Faso. La gestion des risques d'inondations permettra aux populations et aux collectivités territoriales dans les villes secondaires sahéliennes de renforcer leur résilience face aux risques d'inondations par des approches mixtes.

## **2 Etat des connaissances sur la vulnérabilité face aux risques d'inondation dans les villes sahéliennes**

---

### **2.1 Les inondations dans les villes sahéliennes d'Afrique**

Le sahel, reconnu pour sa faible pluviométrie et caractérisé par une grande sécheresse dans les années 1970 et 1980 (Spinoni *et al.*, 2013 ; Ozer et Perrin, 2014 ; Ozer *et al.*, 2016) connaît tout de même des inondations répétées sur ces deux dernières décennies (WFP, 2010) où les précipitations sont plus fortes aux mois de juillet, août et septembre (Mara, 2010). Les pluies averses et les débordements des cours d'eau sont considérés comme des facteurs d'origine climatique des inondations mais ces dernières peuvent être également le résultat des phénomènes d'origine non climatique telles les ruptures de barrage, les mouvements de terre dans les retenues d'eau entraînant un déplacement d'eau et le tsunami induit par les phénomènes géophysiques sous-marins (Léone *et al.*, 2010). A cela s'ajoutent les phénomènes anthropiques et les contraintes géomorphologiques qui modifient la vulnérabilité des populations face aux risques d'inondation les contraignant à contextualiser et adapter leurs mesures de mitigation du niveau ménage au niveau communautaire à leurs réalités.

En effet, certaines villes situées aux abords des cours d'eau peuvent subir les risques d'inondation dus à des crues résultant des événements pluvieux exceptionnels et extrêmes qui submergent le lit majeur de ces cours d'eau. Plusieurs facteurs concourent aux variations des débits des cours d'eau : les aléas météorologiques déterminés par l'intensité, la durée, la fréquence et la répartition spatiale des précipitations ; la réduction de l'infiltration des eaux dans le sol due à la compaction relative à la texture du sol et l'imperméabilisation des sols résultant du phénomène de l'urbanisation croissante entraînant un ruissèlement élevé vers l'aval des cours d'eau ; l'aménagement des cours d'eau, le prélèvement ou la dérivation d'une partie de l'eau du cours d'eau perturbent également le régime hydrologique (Brany et Lange, 2007).

Ces risques d'inondation dans les villes sahéliennes sont également dus à l'insuffisance dans l'application des réglementations concernant l'aménagement du territoire et l'action humaine sur l'environnement (Sene et Ozer, 2002).

L'urbanisation planifiée dans les villes est un moyen essentiel pour les villes de lutter efficacement contre les risques d'inondation mais si elle est mal planifiée, elle contribue à aggraver ces risques (Hangnon *et al.*, 2015). D'ici 2025, plus de 55% des africains seront des citadins (Diop *et al.*, 2010) et les politiques d'urbanisation sont souvent en déphasage avec cette urbanisation et accélérant le phénomène de périurbanisation anarchique (Tchékoté et Ngouanet, 2015 ; Guigma *et al.*, 2015).

L'urbanisation rapide des villes en Afrique de l'Ouest (Adhikari et De Beurs, 2017) et particulièrement les villes sahéliennes entraîne un décalage dans l'application des mesures de prévention des risques d'inondation. Le résultat de cette urbanisation galopante est, d'une part, l'apparition des bidonvilles ou des quartiers périphériques ne bénéficiant pas des infrastructures de protection contre les risques d'inondation et, d'autre part, la densification de la population dans les villes et l'accroissement des activités économiques qui changent l'équation du risque ainsi que les mesures de mitigation de ces risques (Lall et Deichmann, 2010). Le risque d'inondation touche les secteurs industriels, infrastructurels, et résidentiels mais ce dernier secteur est le plus touché par les inondations en raison de son évolution rapide dans l'occupation du sol due aux importants changements de ce secteur (Beckers *et al.*, 2013 ; Chastan *et al.*, 1995). L'évolution démographique galopante avec la périurbanisation non maîtrisée et la densification de la population dans les villes moyennes sahéliennes accentuent

ces importants changements. De ce fait, les aménagistes et les urbanistes sont donc indexés dans leur rôle pour la maîtrise des zones inondables et le positionnement exact de ces zones sur le terrain pour mieux planifier les projets dans leur milieu récepteur dans une approche intégrée face aux multiples usages et fonctionnalités que présentent les villes.

La plupart des cas d'inondations rapportés et étudiés dans les villes sahéliennes sont plus orientés vers les capitales et les importantes villes à l'instar de Ouagadougou (Hangnon *et al.*, 2015 ; Yougbaré et Datoloumbeye, 2017), Niamey (Sighomnou *et al.*, 2013 ; Casse *et al.*, 2015 ; Casse *et al.*, 2016), Nouakchott (Ould Sidi Cheikh, 2007) mais les petites et moyennes villes sahéliennes présentent le plus souvent peu d'intérêt à la communauté scientifique sur la problématique des risques d'inondation. Pour cela, ce travail se penchera sur les risques d'inondation dans une ville moyenne au Burkina Faso car les villes moyennes sont amenées à suivre une transition démographique suite à la décentralisation et les grandes villes ne peuvent plus contenir l'afflux des populations dans l'avenir au regard de la croissance démographique en Afrique Sahélienne.

## **2.2 La vulnérabilité des populations des villes face aux risques d'inondation: un défi de grande portée dans une approche systémique**

La vulnérabilité n'est perceptible que par la présence des populations sur une zone donnée subissant les effets d'un aléa (O'Keefe *et al.*, 1976). Il est évident que les événements climatiques extrêmes, à l'instar des inondations, constituent des facteurs importants de vulnérabilité des populations (Houghton *et al.*, 2001). Elle est à évaluer constamment à cause de son caractère multidimensionnel et changeant. Ainsi, la vulnérabilité de la population d'une zone donnée peut diminuer dans le temps si elle développe des capacités d'adaptation significatives face aux risques. Cela conduit à définir la vulnérabilité sous plusieurs formes d'équations mathématiques comme étant la combinaison des facteurs de l'exposition, la susceptibilité et la capacité d'adaptation qui l'influencent (Tableau 1).

D'autres définitions conceptuelles non mathématiques de la vulnérabilité sont également disponibles dans le monde scientifique (Adger, 2006 ; Fuchs, 2009 ; Messmer et Meyer, 2006 ; Samuels *et al.*, 2009). De tous ces concepts et définitions, il apparaît que la vulnérabilité étudiée dans un large éventail de disciplines en relation avec l'homme et son environnement a des définitions similaires mais quelquefois contradictoires avec un esprit commun d'impact négatif ou d'être lésé (Cutter, 1996 ; D'Ercole *et al.*, 1994 ; Hebb et Mortsch, 2007). 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 (Messmer et Meyer, 2006 ; Balica et Wright, 2010 ; De Leon, 2006 ; Birkmann, 2006a ; Balica 2007 ; Balica, 2012 ; Mara, 2010 ; Fekete *et al.*, 2017 ; Kha *et al.*, 2011).

En effet, selon Messmer et Meyer (2006), la vulnérabilité peut être définie par les caractéristiques d'un système qui décrit son potentiel à nuire. Cela peut s'exprimer en termes de relations fonctionnelles entre les dommages prévus concernant tous les éléments à risque et les caractéristiques de sensibilité et d'exposition du système affecté, en se référant à toute la gamme des risques d'inondation possibles.



**Tableau 1: Concepts de la vulnérabilité à travers des formules mathématiques**

Source	Fonction de la vulnérabilité
De Leon, (2006) ; Birkmann, (2006a) ; Balica et Wright, (2010).	$\text{Vulnérabilité} = \frac{\text{Exposition} \times \text{Susceptibilité}}{\text{Capacité d'adaptation}}$
Balica <i>et al.</i> , (2009).	Indice de vulnérabilité aux inondations(FVI) = $\frac{\text{Exposition} \times \text{Susceptibilité}}{\text{Résilience}}$
Balica et Wright (2010).	$\text{Vulnérabilité} = \text{Exposition} + \text{Susceptibilité} - \text{Résilience}$
Kha <i>et al.</i> , (2011).	$\text{Vulnérabilité} = \text{Exposition} - \text{capacité d'adaptation}$
Luers <i>et al.</i> , (2003) ; Adger, (2006).	$\text{Vulnérabilité} = \frac{\text{Sensitivité au stress}}{\text{Etat par rapport au seuil}} * \text{Probabilité d'exposition au stress}$

Quant à l'exposition, elle est définie comme le degré, la durée et /ou l'étendue dans laquelle le système est en contact avec ou subit des perturbations (Adger, 2006). C'est donc la prédisposition d'un système à être perturbé par les événements d'inondations au regard de sa position (Balica, 2010).

La susceptibilité est décrite comme le potentiel d'un système à être affecté négativement par un aléa causé par un certain degré de fragilité, des faiblesses sociales ou économiques relatives ou des conditions défavorables. (Cardana, 2003).

La résilience est la capacité des systèmes socioéconomiques à absorber les perturbations tout en maintenant leurs structures essentielles ainsi que les processus à l'origine de ces structures (Walker et al, 2002). Selon Folke *et al* (2002), la résilience peut aussi se définir par l'aptitude d'un système à s'auto-organiser, à s'adapter et à apprendre.

Certains auteurs associent d'une manière indissociable les facteurs d'exposition et de susceptibilité (Smit et Wandel, 2006 ; Luers, 2005). Ces deux facteurs sont des facteurs qui accroissent le degré de la vulnérabilité d'un système tandis que la résilience est un facteur réducteur de la vulnérabilité.

La mesure de la vulnérabilité n'est généralement pas consensuelle. Les caractéristiques de la mesurabilité et la simplicité des indicateurs montrent qu'ils ne seront jamais en mesure de représenter pleinement la complexité du processus de la vulnérabilité (Rufat *et al.*, 2015). L'analyse de la vulnérabilité requiert donc une très grande considération au contexte et à la situation du milieu.

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, 2003 ; Thouret et D'Ercole, 1996 ; Zachos *et al.*, 2016 ; Salami *et al.*, 2017). Les facteurs exposition, susceptibilité et résilience influencent la vulnérabilité. Par conséquent, l'indice de vulnérabilité aux inondations, et la vulnérabilité elle-même est considérée comme ayant quatre composantes (physique, sociale, environnementale et économique), qui sont en relation avec divers facteurs dans lesquels le système est vulnérable (Balica, 2012). De ce fait, la vulnérabilité d'une ville exposée aux risques d'inondation ne peut être analysée que de façon systémique et une séparation d'un de ses composantes n'est envisageable que pour mieux comprendre la vulnérabilité du système dans son ensemble (D'Ercole *et al.*, 1994).

En effet, compte tenu du caractère multidimensionnel et dans le souci de quantifier la vulnérabilité, les indicateurs quantifiables ont été utilisés pour évaluer la vulnérabilité physique, sociale, environnementale et économique par des chercheurs face aux risques d'inondation (Zachos *et al.*, 2016 ; Balica *et al.*, 2009 ; Balica, 2012 ; Salami *et al.*, 2017). Les critères d'évaluation de la vulnérabilité sont composés d'indicateurs qui sont fonction de paramètres pertinents clairement identifiés permettant de calculer les sous-indices de vulnérabilité économique, social, environnemental et physique menant à l'indice de vulnérabilité global qui est la somme de ses sous-indices.

Par ailleurs, la pauvreté et la vulnérabilité sont fortement corrélées, mais ne se chevauchent pas complètement (White *et al.*, 2005). Les populations pauvres sont les plus exposées et plus susceptibles aux aléas. Elles habitent le plus souvent dans les zones les plus à risque du fait de leurs incapacités à s'offrir des terrains d'habitation et des logements décentes dans les zones moins exposées aux aléas qui coûtent généralement plus chères. Elles subissent aussi souvent plus de dégâts lors de la survenue des catastrophes et au regard de leurs incapacités à se relever de ces chocs, elles ont besoin non seulement, de l'assistance extérieure pour leur relèvement, mais également et surtout des mesures d'accompagnement pour accroître leur résilience (capacité d'adaptation) à faire face à d'éventuels risques d'inondation.

### **2.3 Inondations : quelles réponses apporter pour les villes sahéliennes en Afrique de l'Ouest ?**

L'intégration du risque d'inondation dans les politiques locales et une harmonisation avec les politiques nationales en matière d'aménagement du territoire sont plus que jamais nécessaires.

En plus de la vulnérabilité et la participation des populations, l'élément fondamental de la politique de gestion de crise contextuelle est de négocier l'acceptabilité du risque par les populations tout en gardant le niveau minimal du risque acceptable par l'Etat central (Barroca et Hubert, 2008). Ainsi, la gestion intégrée des risques d'inondation par des approches mixtes (sensibilisation, prévention, atténuation et assistance) en y intégrant la performance et la robustesse des ouvrages de protection est fondamentale pour la construction de la stratégie et

le renforcement de la capacité d'absorption et de récupération des villes résilientes aux inondations (Serre, 2011).

La résilience d'un territoire urbain est évaluée en fonction de sa capacité de résistance, d'absorption et de récupération (Lhomme *et al.*, 2010). Cette résilience n'est accrue que si la vulnérabilité de la ville diminue. De ce fait, la réduction de la vulnérabilité aux inondations à travers les approches mixtes nécessite la participation de tous les acteurs en présence dans la ville afin de prendre en compte, non seulement, les différentes spécificités des zones vulnérables, mais également, de valoriser les bonnes pratiques dans divers domaines d'utilisation de la ressource eau.

### 3 Données et méthodes

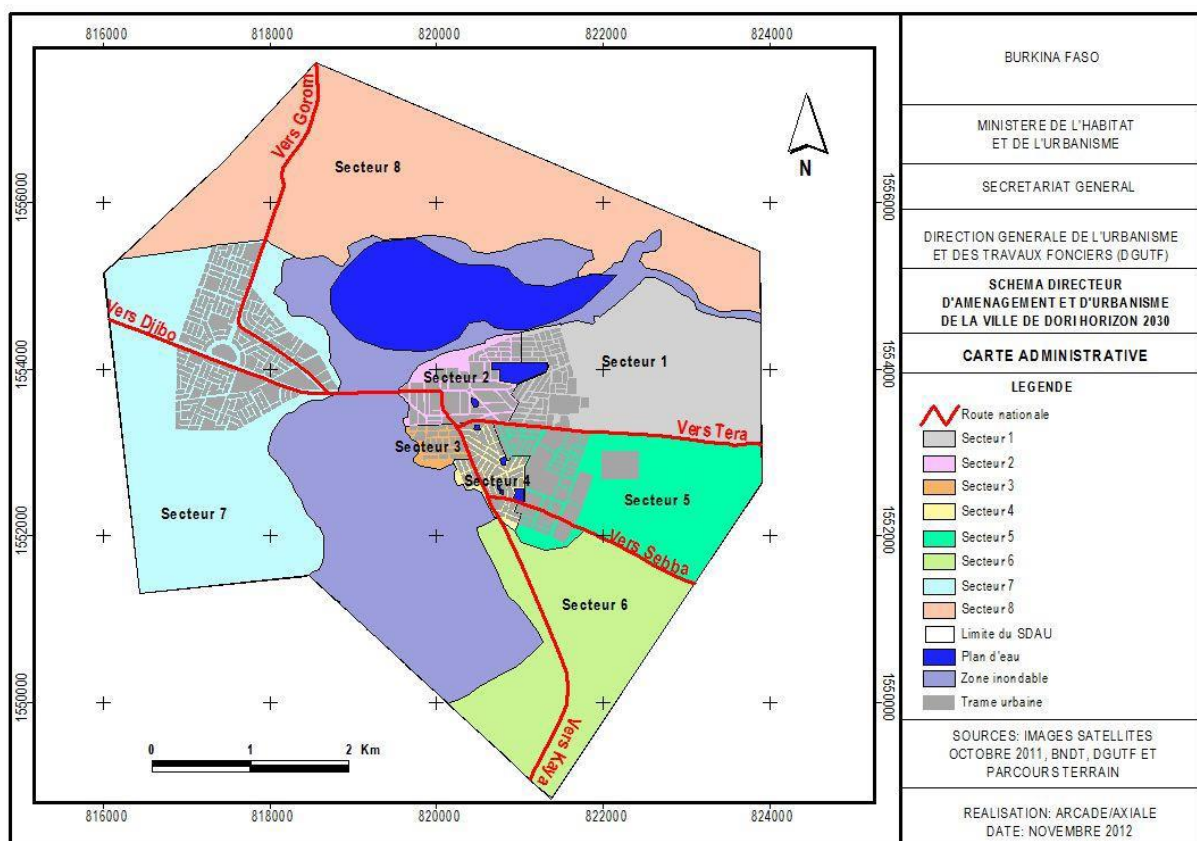
#### 3.1 La zone d'étude

##### 3.1.1 Caractéristiques de la zone d'étude

La ville de Dori, composé de 7 secteurs (Fig.1), est la zone d'étude située dans la région du Sahel au Nord-Est du Burkina Faso. Cette ville est composée de 21 078 habitants (RGPH, 2006). Le contexte physique de la ville de Dori est difficile avec un milieu naturel contraignant. Son climat de type sahélien est aride et très chaud avec une pluviométrie moyenne annuelle inférieure à 600mm (PANA Burkina Faso, 2007). Les habitations sont construites avec des matériaux en banco et des matériaux durs. La topographie du sol est relativement plate avec de très faibles pentes (SDAU Dori, 2012).

La ville de Dori est presque logée dans une cuvette et est entourée d'une grande mare presque aux  $\frac{3}{4}$  de son périmètre mais compte également plusieurs dépressions naturelles (mares intérieures).

Le centre urbain a connu des mesures structurelles telles que l'aménagement des mares intérieures reliées entre elles en cascade par des canaux de jonction et des caniveaux d'évacuation pour mitiger les risques d'inondation entre 2010 et 2013.



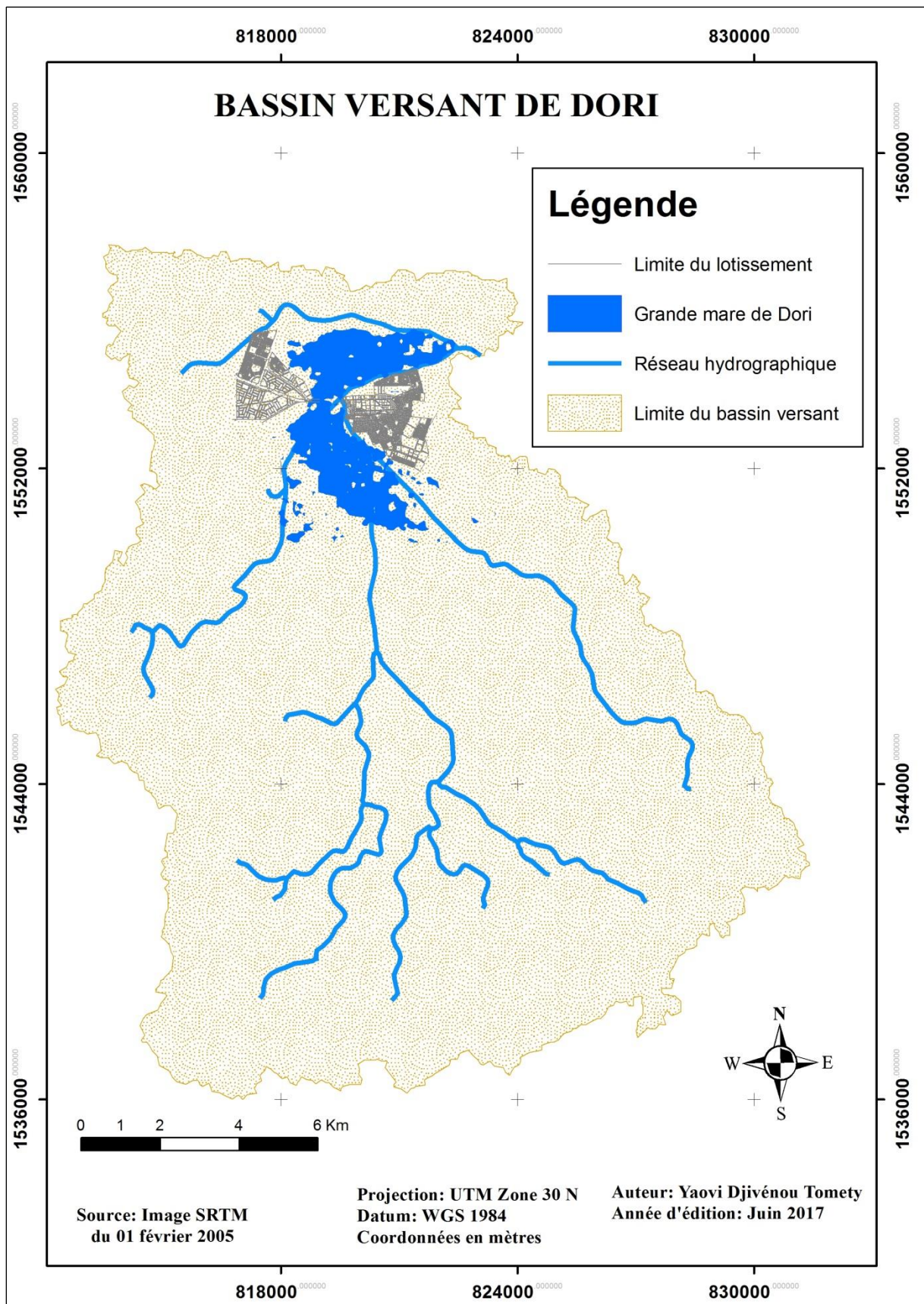
**Figure 1:** Ville de Dori et les mares (Source : SDAU Dori, 2012)

En plus des mares intérieures aménagées, la ville de Dori a augmenté son réseau de drainage des eaux pluviales à l'intérieur de la ville durant la période durant la même période. Les sols sont imperméables favorisant un ruissellement élevé. Ainsi, la majeure partie du sous-sol de la

ville présente une couche granitique se situant à moins de 10 mètres de profondeur de la surface du sol (SDAU Dori, 2012). La ville de Dori a un sol sableux et le sol du bassin versant dont elle appartient est argilo-sableux (SDAU Dori, 2012). Cette caractéristique de la texture du sol entraîne une faible infiltration des eaux dans le sol d'environ 1.5mm/jour aux abords de la grande mare (Betsigui, 2007), un ruissellement élevé et un charriage de sédiments vers les dépressions naturelles de la ville en particulier la grande mare. Les populations s'adonnent à l'élevage et au maraichage urbain. Ainsi, les populations autochtones pratiquent l'élevage des bovins et des petits ruminants à domicile. Le problème de divagation des animaux semble ne pas être une préoccupation pour les populations autochtones qui sont pour la plupart des éleveurs et vivent en harmonie avec leurs animaux. Les vaches élevées à domicile servent surtout des vaches laitières pour les ménages. Quant aux activités de maraichage, elles sont essentiellement développées aux abords du côté Nord-Est de la grande mare par les riverains.

### **3.1.2 Le bassin versant de Dori**

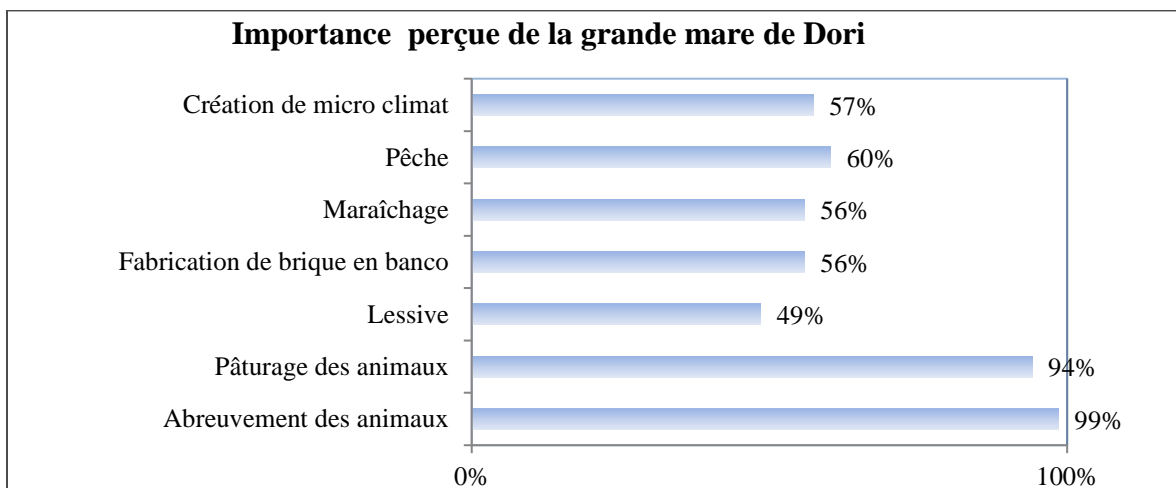
Le bassin versant dans lequel se trouve la ville de Dori (Fig.2) est d'une superficie de 277.15 km<sup>2</sup> et de périmètre de 83.79 km. La ville est située dans la partie basse du bassin versant sur le lit majeur de la grande mare. Le réseau hydrographique saisonnier du bassin est de 74.62 km drainant toutes les eaux vers la grande mare. Cette dernière s'assèche le plus souvent au cours des mois de mars et avril ces deux dernières décennies. Le bassin versant est de type peu allongé avec une pente moyenne d'environ 3 ‰ avec un écoulement de type fluvial des eaux.



**Figure 2:** Le bassin versant de Dori et la zone lotie de la ville de Dori

### 3.1.3 La grande mare de Dori et son impact sur la ville

La ville de Dori est presque entièrement entourée par la grande mare. Cette mare, favorisant un microclimat agréable dans le sahel, est à l'origine de l'installation des habitants de cette ville (photo 1) et permet de multiples usages surtout aux populations vulnérables. Plus d'un tiers des ménages dans la ville pratique surtout l'élevage des bovins et petits ruminants (PCD Dori, 2016). Ces animaux s'abreuvent principalement dans la grande mare mais elle s'assèche progressivement au cours de l'année en laissant sa surface peuplée d'espèces herbacées appétibles servant principalement de pâturage pour les animaux en saison sèche. Parfois, elle s'assèche complètement au mois d'avril et durant la période d'avril à juin marquant la fin des saisons sèches, les produits maraichers coûtent très chers et les animaux, non seulement manquent d'herbes au regard de la forte pression exercée sur la grande mare, mais également rentrent en compétition avec les humains sur la consommation d'eau potable. La pêche, la lessive et la confection des briques en banco sont également des activités qu'offre la grande mare à la population de la ville. La figure 3 met en exergue l'importance perçue de la grande mare par les populations de la ville de Dori. L'abreuvement et le pâturage des animaux sont les principales utilisations perçues des ressources naturelles qu'offre la grande mare.



**Figure 3:** Importance perçue de la grande mare de Dori



**Photo 1:** La grande mare de la ville de Dori

Selon la figure 3, les populations sont convaincues des avantages que cette grande mare offre à la ville et à ses habitants. En revanche, elles soulignent également des problèmes liés à son débordement pendant la saison pluvieuse créant ainsi des inondations en 1988, 2005, 2008, 2011 et 2012 dans la ville (Enquête terrain 2017). Ces inondations ont occasionné des déplacements de populations ainsi que d'importants dommages et pertes.

Les populations de la ville de Dori portent un intérêt particulier à la dynamique multiforme de cette grande mare au regard de son importance ainsi qu'aux désagréments qu'elle engendre.

### **3.2 Données**

Les données climatologiques utilisées dans cette étude sont issues de la direction météorologique du Burkina Faso et notamment de la station synoptique de la ville de Dori. Ces données comprennent les pluviométries journalières sur la période de janvier 1950 à décembre 2013. Les données des événements d'inondations historiques sont recueillies dans la presse et sont complétées par des enquêtes sur le terrain à Dori. Ces données ont servi dans l'analyse des causes d'inondations ainsi que dans l'indice de vulnérabilité aux inondations.

Les images Google Earth des années 1985, 1996, 2006 et 2016 ont servi à faire une analyse de l'évolution de la dynamique de l'étalement de l'habitat. Ces données sont couplées aux informations issues du plan cadastral sur le lotissement de la ville de Dori fourni par le service des domaines de Dori combinées aux données démographiques fournies par l'institut national de la statistique et de la démographie du Burkina Faso. Les données topographiques de la cuvette de la grande mare sont fournies par le bureau d'étude CACI-Conseils.

Les données complémentaires sont collectées par les enquêtes au moyen des questionnaires (annexe 1) pour l'analyse des causes des inondations et l'évaluation de la vulnérabilité par les populations en fonction des différentes zones à risque ainsi que les relevés des points GPS délimitant les zones d'inondations.

En ce qui concerne l'analyse de la vulnérabilité à l'échelle de la ville, une analyse statistique de la fréquence d'utilisation des indicateurs dans les articles scientifiques reflétant des similitudes ont conduit à retenir 81 indicateurs dont 34 indicateurs pertinents sont sélectionnés à l'échelle de la ville pour calculer l'indice de la vulnérabilité aux inondations (Balica, 2007 ; Balica et White, 2010 ; Balica *et al* 2009 ; Balica, 2012, Karmaoui *et al*, 2016). L'annexe 2 met en exergue les relations entre les différents indicateurs, les composantes, les facteurs de la vulnérabilité et leur échelle d'application.

### **3.3 Démarches méthodologiques**

Les démarches méthodologiques adoptées dans le cadre de cette étude est de type top-down et bottom-up. Au-delà d'une démarche linéaire qui part sur la base des données scientifiques, nous prendrons en considération les aspirations des populations à la base qui vivent avec les épisodes d'inondations et leurs pratiques dans les propositions des mesures non structurelles et structurelles permettant une meilleure appropriation de ces mesures par les populations. En d'autres termes, les deux démarches permettront de :

- vérifier les résultats théoriques obtenus sur le terrain par observation et questionnement ;
- recueillir la perception du risque d'inondation auprès des populations et d'appréhender le degré d'acceptabilité du risque résiduel résultant des diverses stratégies ou combinaison de stratégies de réduction des risques d'inondations dans la ville.



### 3.3.1 Démarche dite top-down

La démarche dite top-down est basée sur la combinaison de plusieurs méthodes. Elle permettra d'analyser les anomalies pluviométriques et les tendances pluviométriques, les différentes périodes de retour et de mesurer la vulnérabilité à travers l'exposition des biens et des personnes face aux risques d'inondation. Cette démarche combine également les méthodes d'analyses spatiales sur la dynamique d'étalement du bâti dans la ville.

#### 3.3.1.1 Evolution des anomalies et tendances pluviométriques

Le test d'autocorrélation est appliqué sur la série chronologique pour mettre en évidence la non-stationnarité des données pluviométriques.

Le calcul de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI) sur les hauteurs des pluies annuelles de 1950 à 2013 a permis de déterminer les périodes d'anomalie pluviométrique. Cet indice est une variable centrée réduite exprimée par l'équation (Eq. 1)

$$SPI = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma(x)} \quad (\text{Eq. 1})$$

où  $x_i$  est la valeur de la pluviométrie de l'année  $i$ ,  $\bar{x}$  est la valeur annuelle moyenne de la pluviométrie sur la période 1950 à 2013 et  $\sigma(x)$  est l'écart type de la série chronologique 1950 à 2013.

A partir des données disponibles sur les précipitations journalières de Dori sur la période 1950 à 2013, les outils statistiques tels que RClindex, Khronostat et Excel ont été utilisés pour traiter ces données afin de générer les indices climatiques pertinents pour l'analyse. Ainsi, le logiciel Chronostat version 1.01 développé par l'institut de Recherche pour le Développement (Boyer, 1998) a été utilisé pour effectuer les différents tests d'homogénéité de Pettitt (1979) ; Buishand (1977) ; Hubert (1989) ; Lee et Heghinian (1977) cités par Ardoin-Bardin, (2004) et Hangnon *et al.*, (2015) permettant de mettre en évidence d'éventuelles ruptures dans la série chronologique de 1950 à 2013.

Le logiciel R Clindex a servi à calculer les indices pluviométriques utiles à l'analyse des événements pluvieux extrêmes : la précipitation totale annuelle (PRCPTOT), la précipitation maximale enregistrée en 1 jour (Px1J), le nombre maximale de jours de pluie consécutive supérieur à 1mm (JPC), le nombre total de jours de pluie (pluies journalières  $\geq 1$  mm, JP), et les quantiles: 95<sup>ème</sup>, 99<sup>ème</sup> et 99,5<sup>ème</sup> percentiles (Hountondji *et al.*, 2011) ont été calculés sur la période 1950 à 2013. Ces indices sont consignés dans le tableau 2. Des graphiques ont été élaborés pour ces indices afin de permettre une analyse pertinente de leur évolution et tendance sur la période de la série chronologique de 1950-2013.

**Tableau 2:Indices utilisés pour la caractérisation des évènements pluvieux extrêmes**

Sigle	Intitulé de l'indice	Définition de l'indice	unité
<b>PRCPTOT</b>	Précipitation annuelle	précipitation totale annuelle	[mm]
<b>Px1J</b>	Pluie maximale journalière	Précipitation maximale journalière	[mm]
<b>JPC</b>	Jours de pluie consécutive	Nombre maximale de jours de pluie consécutive supérieur à 1mm	[jours]
<b>JP</b>	Jours de pluie	Nombre de jours de pluie supérieur à 1mm	[jours]
<b>P95p</b>	Fréquence de pluies intenses	Nombre de jours avec des précipitations $\geq 95^{\text{ème}}$ percentile calculé sur la période de 1950 à 2013	[jours]
<b>P99p</b>	Fréquence de pluies extrêmes	Nombre de jours avec des précipitations $\geq 99^{\text{ème}}$ percentile calculé sur la période de 1950 à 2013	[jours]
<b>P99.5p</b>	Fréquence de pluies très extrêmes	Nombre de jours avec des précipitations $\geq 99.5^{\text{ème}}$ percentile calculé sur la période de 1950 à 2013	[jours]

### 3.3.1.2 Caractérisation des périodes de retour

La caractérisation des périodes de retour des évènements pluvieux extrêmes est faite par l'application de la loi de Gumbel (1958) sur les données des pluviométries journalières. Elle permet d'étudier les valeurs extrêmes des évènements exceptionnels qui s'écartent fortement des valeurs moyennes ou des tendances habituelles en mettant en exergue les périodes de retour.

Par définition, la période de retour d'un évènement pluvieux est l'inverse de la probabilité annuelle de dépassement de cet évènement (Mohyont et Demarée, 2006).

En se référant à la classification internationale des évènements extrêmes (Vandiepenbeeck, 1997 cité par Sene et Ozer, 2002), les évènements pluvieux dont leurs périodes de retour se situant au-delà de 100 ans, entre 30 et 100 ans, entre 10 et 30 ans, entre 6 et 10 ans et moins de 6 ans sont respectivement qualifiés de très exceptionnel, exceptionnel, très anormal, anormal et normal.

### 3.3.1.3 Evolution de l'étalement du tissu urbain

Les cartographies d'étalement des habitations ont été élaborées pour quatre différentes périodes (1985, 1996, 2006 et 2016). Ces cartes ont été superposées à la même échelle les unes sur les autres afin de faire une analyse diachronique de la dynamique spatiale de l'étalement de l'habitat dans la ville de Dori notamment son évolution rapide. La comparaison du plan cadastral de la ville de Dori de l'année 2012 et l'évolution de l'étalement de l'habitat met en exergue la corrélation entre la dynamique de l'étalement du bâti et le lotissement entre la période 2006 et 2016. Les années 1985, 1996, 2006 et 2016 correspondent aux années de recensement général de la population et de l'habitat au Burkina Faso à l'exception de l'année 2016. En considérant ces années, le couplage dynamique spatiale et population est facilité. Les enquêtes terrains ont permis de comprendre la dynamique d'étalement de la trame urbaine vers la grande mare de Dori. Ces données ont été couplées avec les données de la population

de la ville pour une meilleure corrélation entre évolution spatiale et évolution de la population.

### 3.3.1.4 Evaluation de la vulnérabilité

L'interaction entre les quatre composantes (économique, sociale, environnementale et physique) et les trois facteurs (exposition, susceptibilité et résilience) de la vulnérabilité a été à la base de la méthode de calcul de l'indice de la vulnérabilité développée par Balica *et al* (2009) exprimé par l'équation (2)

$$FVI = \frac{\text{Exposition} \times \text{Susceptibilité}}{\text{Résilience}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Sur les 34 indicateurs sélectionnés pour le calcul des sous-indices de la vulnérabilité des différentes composantes à l'échelle urbaine à travers la formule générale des indices de vulnérabilité, seuls 32 indicateurs sont utilisés et sont exprimés par les équations 3 à 6 (Balica, 2009 ; Balica 2012). Ces indicateurs, leurs définitions ainsi que les références des données utilisées sont consignés dans l'annexe 3. L'annexe 4 présente les différentes données ayant servi au calcul de ces différents sous-indices de vulnérabilité aux inondations de la ville de Dori pour les années 2006 et 2016.

Chaque composante est en relation avec les facteurs de la vulnérabilité. Pour chaque sous-indice, les indicateurs relatifs à l'exposition et la susceptibilité sont placés au numérateur car appartiennent à des facteurs aggravant la vulnérabilité. Par contre, les indicateurs relatifs à la résilience réduisant la vulnérabilité sont placés au dénominateur (Dinh *et al*, 2012).

$$\text{Composante sociale : } FVI_s = \frac{Pd * Pfa * Ch * Pg * \%Disable * HDI * Cm}{Pe * \left(\frac{A}{P}\right) * Cpr * S * Ws * Er * Es} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\text{Composante économique: } FVI_{ec} = \frac{Ind * Cr * Um * Ineq * Ug * HDI * Rd}{Fi * AmInv * D_{Sc} * D * Rt} \quad (\text{Eq.4})$$

$$\text{Composante environnementale: } FVI_{en} = \frac{Ug * Rainfall}{Ev * Lu} \quad (\text{Eq.5})$$

$$\text{Composante physique: } FVI_{ph} = \frac{T * Cr}{\left(\frac{Ev}{Rainfall}\right) * \left(\frac{Sc}{V_{year}}\right) * D_L} \quad (\text{Eq.6})$$

Les différents indices calculés sont adimensionnels et l'indice de la vulnérabilité totale (FVI) du système (ville) est la somme des sous-indices de la vulnérabilité FVI<sub>s</sub>, FVI<sub>ec</sub>, FVI<sub>en</sub> et FVI<sub>ph</sub>. Il est exprimé par l'équation 7

$$FVI = \sum FVI_s, FVI_{ec}, FVI_{en}, FVI_{ph} \quad (\text{Eq.7})$$

Ces indices sont standardisés par l'équation 8.

$$FVI_{standardisé} = \frac{FVI_{echelle}}{FVI_{max}} \quad (\text{Eq.8})$$

### 3.3.2 Démarche dite bottom-up

Une autre démarche dite « bottom-up » va consister à faire des enquêtes auprès des populations (68 chefs de ménage enquêtés répartis entre 11, 14, 24 et 18 ménages respectivement dans les zones hors lotissements des secteurs 1, 2, 6 communément appelées zones non-loties<sup>1</sup> et dans la zone lotie de la ville<sup>2</sup>) et des institutions sur le terrain pour compléter les données préexistantes afin de percevoir les causes et les impacts des inondations, d'identifier les zones vulnérables ainsi que leur nature de vulnérabilité aux inondations, de mieux apprécier le degré de vulnérabilité de ces zones exposées aux inondations, appréhender la perception des populations sur le degré d'acceptabilité sociale des risques d'inondation et les mécanismes de mitigation sur la réduction des risques d'inondation dans la ville de Dori.

Ces enquêtes ont été administrées dans un premier temps aux ménages qui ont été au moins une fois inondés à travers des questionnaires fermés, semi-fermés et ouverts. La détermination des ménages touchés au moins une fois par les inondations est réalisée au moyen des questions de contrôle en début d'entretien. Dans un deuxième temps, une discussion a été organisée avec quatre (04) groupes de 9 à 12 personnes résidentes dans les quatre (04) différents types de zones vulnérables identifiées lors de la première phase d'enquête dans la ville (dont 9 personnes pour la zone hors lotissement du secteur 1, 9 personnes pour la zone hors lotissement du secteur 2, 12 personnes pour la zone hors lotissement du secteur 6 et 11 personnes pour la zone lotie) pour analyser la spécificité de la vulnérabilité des éléments à risque de ces différentes zones à travers le déroulement des outils de Braced Participatory Approach<sup>3</sup> (BRAPA, 2015) adaptés uniquement aux risques d'inondations dans le cas de cette étude.

Cette approche sert à dérouler neuf (09) outils avec les populations : la cartographie des zones inondables, le profil historique des inondations, le calendrier saisonnier, la classification par rapport à l'ampleur des risques d'inondations vécus, arbre à problème, diagramme de Venn, analyse de la vulnérabilité à travers les différents éléments à risque par zone exposée aux risques d'inondation, discussions en focus groupes par genre et le plan d'action (annexe 1).

L'autoanalyse de la vulnérabilité aux inondations par les populations à travers les outils BRAPA et la première phase d'enquête ont conduit à l'élaboration d'une carte de la vulnérabilité par pondération arithmétique de leur perception du degré de la vulnérabilité des zones exposées. En effet, l'évaluation de la vulnérabilité par les populations consiste à attribuer une note générale de 1 à 5 à leur zone vulnérable lors de la phase d'enquête ménage par rapport à la perception de leur vulnérabilité. Dans les focus groupes correspondant à différentes zones vulnérables identifiées, la même notation est faite par chaque membre du groupe en se basant sur les différents éléments à risque identifiés et l'analyse de leur nature de vulnérabilité pour chacun des zones. La moyenne arithmétique appliquée à chaque zone donne le degré de vulnérabilité de la zone. La note 5 indique une très faible vulnérabilité, la note 4 indique une faible vulnérabilité, la note 3 indique une vulnérabilité moyenne, la note 2 indique une vulnérabilité élevée et enfin la note 1 indique une vulnérabilité très élevée.

---

<sup>1</sup> Zone non-lotie est une appellation d'une zone hors lotissement généralement située en périphérie des villes au Burkina Faso

<sup>2</sup> Pour tenir compte du caractère d'urbanisation et de périurbanisation de la ville de Dori, nous allons subdiviser la ville en zone lotie (ZL) et zone hors lotissement (ZHL) dans le cadre de cette étude.

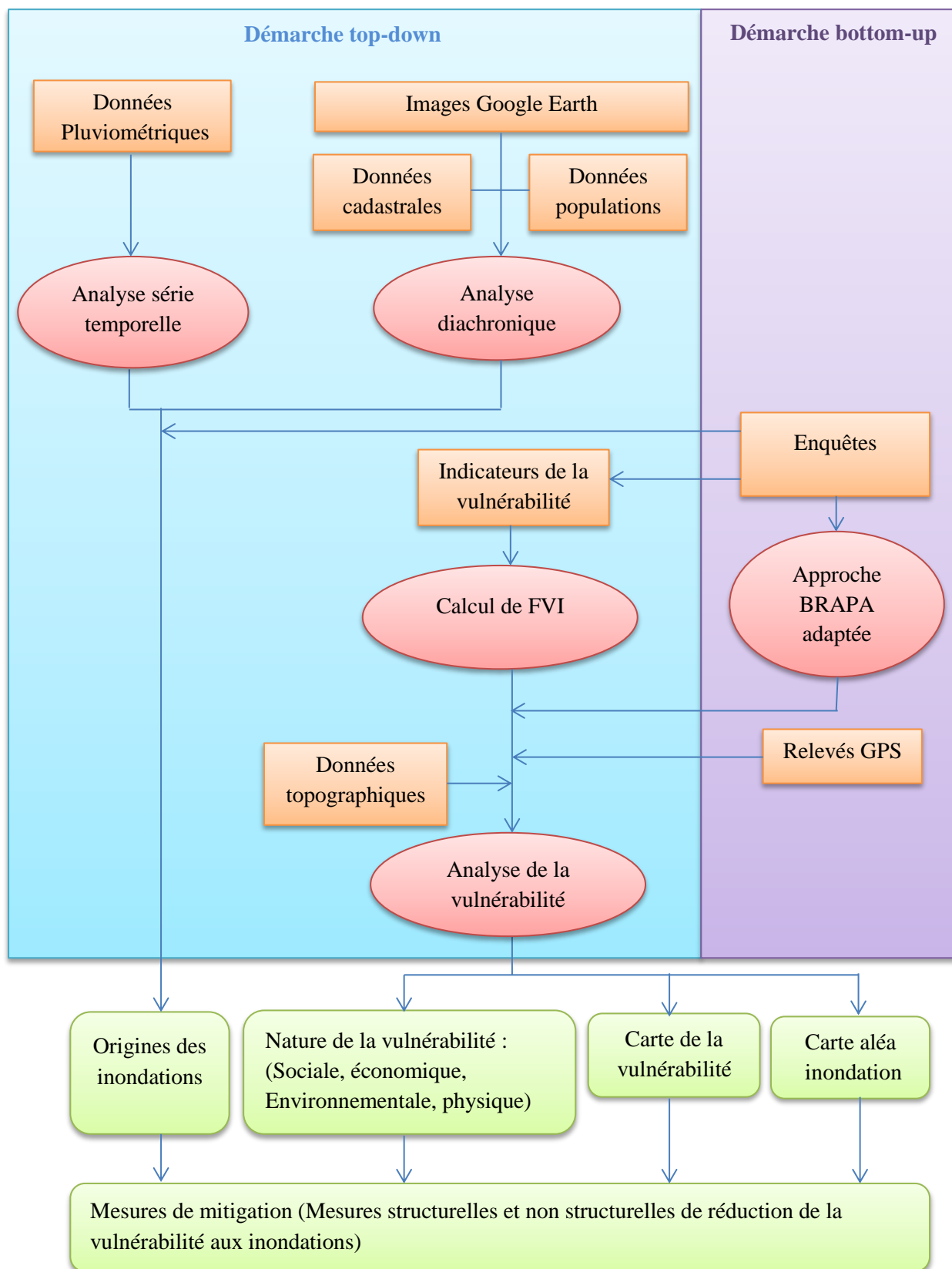
<sup>3</sup> BRAPA est un outil d'autoanalyse de la vulnérabilité par les communautés développé par King College of London dans le cadre du projet « *building resilience and adaptation to climate extremes and disasters (Braced)* ».

En ce qui concerne la détermination des zones inondables, en se référant à la plus importante et récente inondation vécue de l'année 2012, une délimitation a été faite sur les images Google Earth en groupes puis confirmée par un parcours de relevés de coordonnées géographiques par GPS de l'itinéraire de la limite de ces zones sur le terrain avec les populations. De plus les photographies prises depuis l'hélicoptère lors de la grande inondation de l'année 2012 ont également permis d'affiner le contour des zones inondables permettant d'élaborer la carte d'aléa inondation en fonction des hauteurs d'inondation en le superposant avec les courbes de niveaux. De plus, les positionnements des marquages témoignant de la hauteur de submersion de l'eau ont été relevés par GPS pour une meilleure représentation.

L'intérêt de cette approche est qu'elle présente un lien étroit entre l'évaluation et la réduction de la vulnérabilité. La mise en exergue de l'autoanalyse de la vulnérabilité par les populations, elles-mêmes victimes des inondations, contribue à mieux cerner les mesures endogènes de réduction des risques d'inondation pratiquées à l'échelle locale par ces populations afin d'adjoindre d'autres mesures plus robustes et contextualisées au milieu récepteur.

Dans un troisième temps, un questionnaire ouvert a été administré aux autorités locales, aux services déconcentrés de l'Etat et aux organismes pour affiner les informations collectées auprès de la population sur les causes des inondations et les efforts entrepris pour réduire la vulnérabilité aux inondations. Les questionnaires d'enquête et des différents outils BRAPA sont consignés dans l'annexe 1.

La figure 4 présente le récapitulatif des différentes démarches méthodologiques utilisées.



**Légende**



**Figure 4: Organigramme structuré des méthodologies utilisées**

## 4 Résultats

### 4.1 Identification des causes des inondations dans la ville de Dori

#### 4.1.1 Variabilité interannuelle des précipitations

L'analyse de l'autocorrélogramme de la série chronologique de la station de Dori montre que le coefficient de l'autocorrélation est de +/- 0.3220 pour l'intervalle de confiance de 99%. Ce coefficient étant faible, les variables de la série chronologique sont fortement indépendantes.

Au seuil de significativité de 99%, les différents tests d'homogénéité de Pettitt, Buishand, Hubert et, Lee et Heghinian ont mis en évidence un point de rupture à la baisse en 1966 et mettant en exergue deux (2) sous périodes : la période allant de 1950 à 1966 a une moyenne pluviométrique de 622.27 mm et la période de 1967 à 2013 avec une moyenne pluviométrique à la baisse de 462.86 mm.

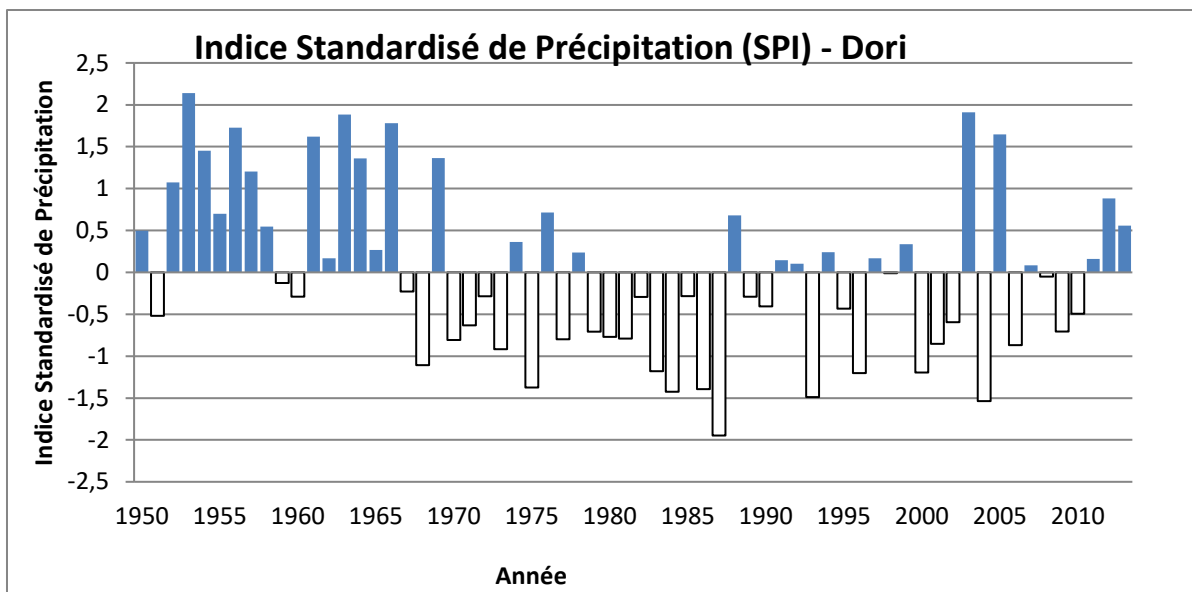
L'analyse de la figure 5 se fera suivant la classification proposée par Mckee *et al* (1993) de l'indice de précipitation standardisé (SPI) consignée dans le tableau 3.

**Tableau 3: Classification de sévérité suivant l'indice de précipitation standardisé (SPI)**

Valeurs du SPI	Classe d'anomalie
Plus de 2.0	Extrêmement humide
1.5 à 1.99	Sévèrement humide
1.0 à 1.49	Modérément humide
-0.99 à 0.99	Proche de la normale
-1.0 à -1.49	Modérément sèche
-1.49 à -1.99	Sévèrement sèche
Moins de -2.0	Extrêmement sèche

Source : Mckee *et al*, 1993.

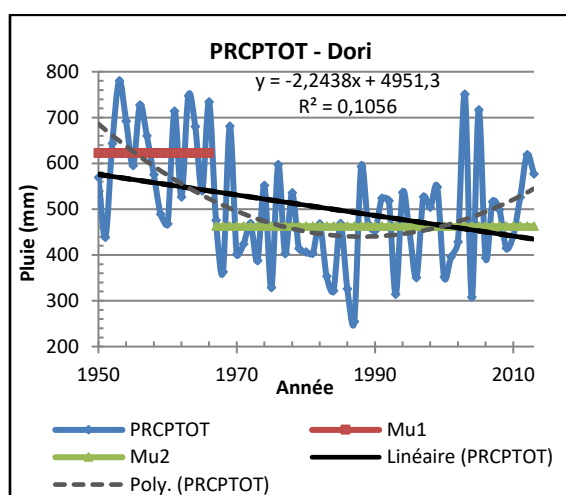
La figure 5 montre une persistance des années sèches de 1967 à 2010. Seule l'année 1953 est extrêmement humide tandis qu'aucune année n'est extrêmement sèche. Les années 1956, 1961, 1963, 1966, 2003 et 2005 sont qualifiées d'années sévèrement humides tandis que, seules deux années (1987 et 2004) sont sévèrement sèches. Les années 1952, 1954, 1957, 1964, 1969 sont des années modérément humides. En revanche, les années 1968, 1975, 1983, 1984, 1986, 1993, 1996, 2000) sont modérément sèche. En outre, une légère reprise à la hausse des précipitations est observée à partir de 2010.



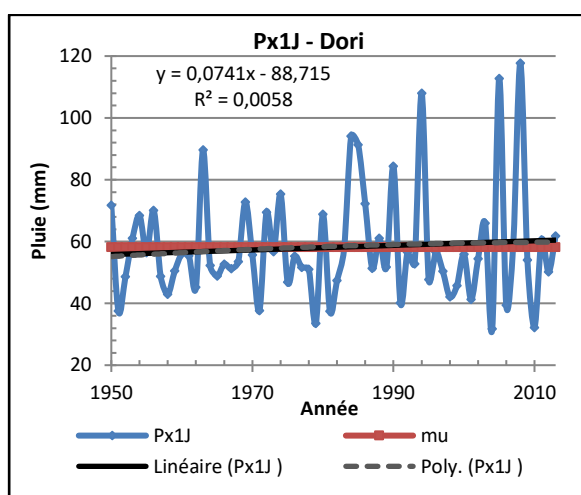
**Figure 5:** Evolution de la pluviométrie à la station de Dori de 1950 à 2013

#### 4.1.2 Tendances des indices pluviométriques

Les figures 6 et 9 montrent respectivement qu'il y a une baisse très significative (p-value <1%) de la précipitation totale annuelle et du nombre de jours de pluie sur la période de 1950 à 2013. On observe une augmentation tendancielle de la pluie maximale journalière (Fig.7) alors que la figure 8 présente une baisse très significative du nombre maximale de jours de pluies consécutives. Les figures 10 et 11 font remarquer respectivement une baisse tendancielle des pluies intenses et des pluies extrêmes. En revanche, la figure 12 montre une légère hausse tendancielle des pluies très extrêmes. Les pluies de 41.8 mm, 60.5mm et 70.1 mm déterminées sur la période de 1950 à 2013 représentent respectivement les seuils des événements pluvieux intenses, extrêmes et très extrêmes à Dori. Les nombres de jours de pluies correspondant aux événements pluvieux intenses, extrêmes et très extrêmes sont respectivement de 124, 25 et 13.

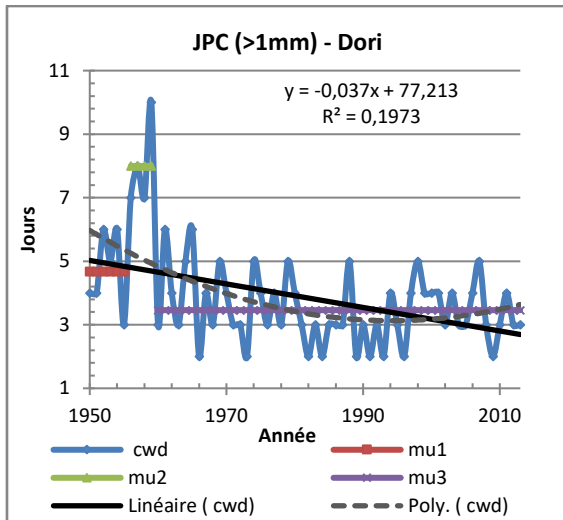


**Figure 6:** Tendence des précipitations annuelles à Dori sur la période 1950 à 2013

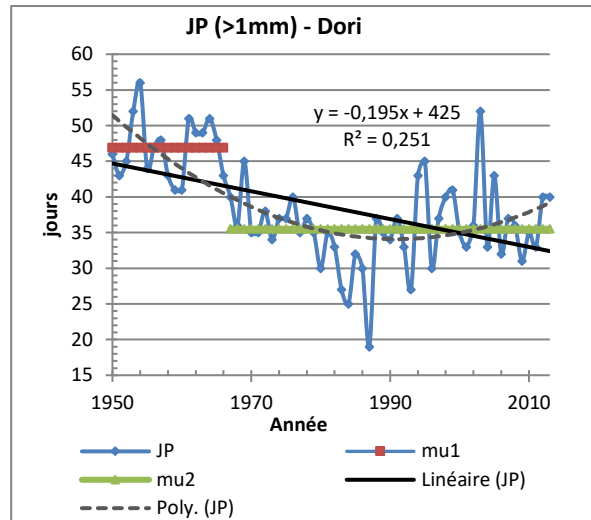


**Figure 7:** Tendence des pluies maximales journalières à Dori sur la période 1950 à 2013

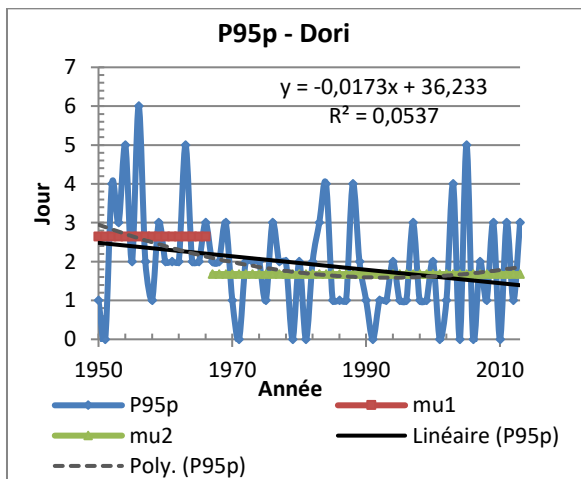




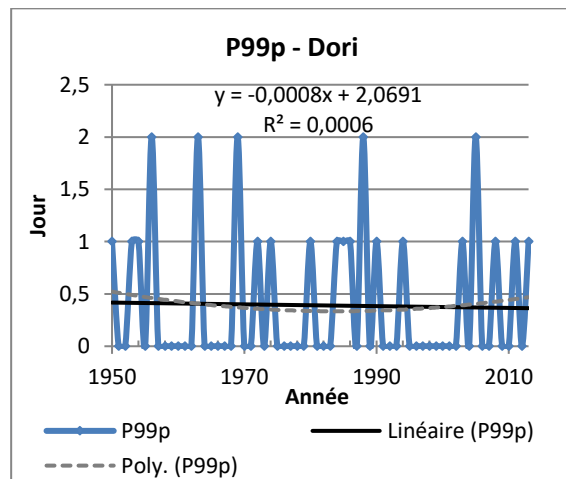
**Figure 8:** Tendence du nombre de jours consécutifs de pluies à Dori sur la période 1950 à 2013



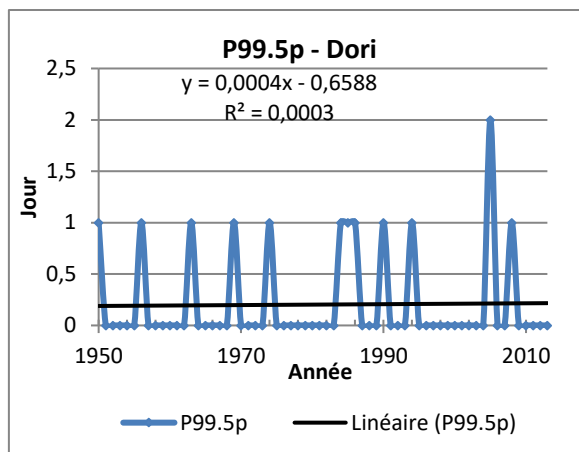
**Figure 9:** Tendence du nombre de jours de pluies supérieures à 1mm à Dori sur la période 1950 à 2013



**Figure 10:** Tendence du nombre de jours de pluies supérieures à 95<sup>ème</sup> percentile à Dori sur la période 1950 à 2013



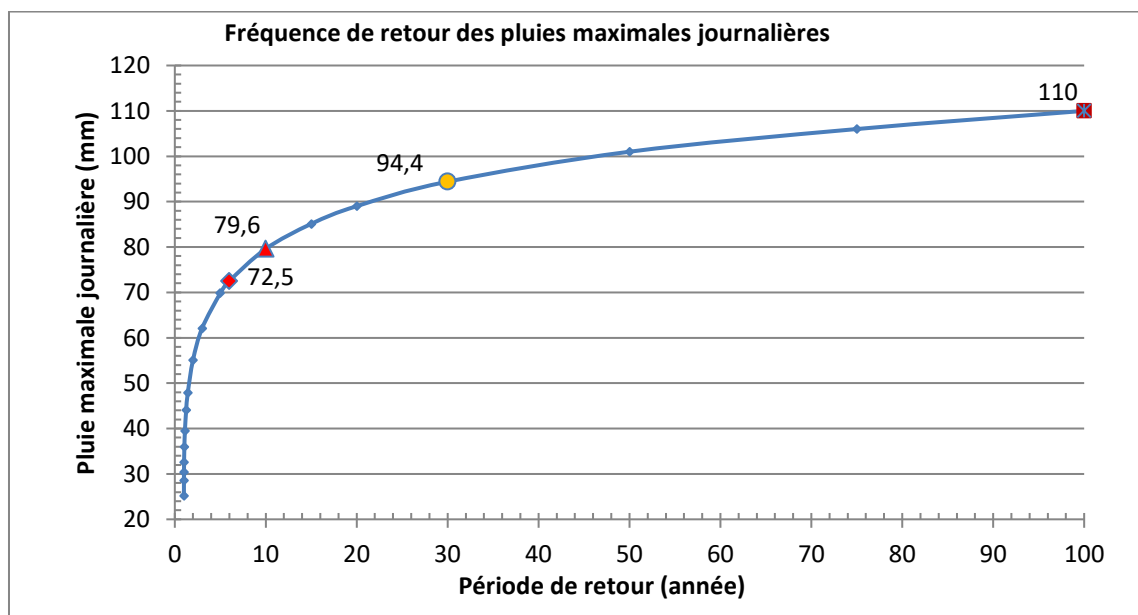
**Figure 11:** Tendence du nombre de jours de pluies supérieures à 99<sup>ème</sup> percentile à Dori sur la période 1950 à 2013



**Figure 12:** Tendence du nombre de jours de pluies supérieures à 99.5<sup>ème</sup> percentile à Dori sur la période 1950 à 2013

#### 4.1.3 Détermination des fréquences de retour des pluies exceptionnelles

Les périodes de retour déterminées à partir de la loi de Gumbel (1958) donnent, sur la courbe de la figure 13, des valeurs de pluie de 72.5, 79.6, 94.4 et 110 mm correspondant respectivement au seuil de dépassement des événements pluvieux de fréquence de retour de 6, 10, 30 et 100 ans. Ces fréquences de retour sont retenues pour permettre une analyse des pluies exceptionnelles selon la classification internationale des événements extrêmes. Le tableau 4 répertorie les pluies ayant causé des inondations rapportées et les pluies maximales dont les périodes de retour ont été calculées.



**Figure 13:** Fréquence de retour des pluies maximales journalières

**Tableau 4: Fréquence de retour des pluies en lien avec les inondations à Dori**

Date	Pluviométrie (mm)	Période de retour (année)	Type de pluie	Survenue d'inondation rapportée
22 août 1988	61.0	2.9	normale	Oui*
3 août 1994	108.0	92	Exceptionnelle	Non
13 juillet 2003	65.9	4.8	normale	Non
3 juin 2005	55.2	2	normale	Non
4 juin 2005	16.5	-	normale	Oui
6 août 2005	112.7	>100	très exceptionnelle	Non
25 juin 2008	117.7	>100	très exceptionnelle	Oui
15 septembre 2011	60.5	2.9	normale	Oui*
21 août 2012	34.6	1	normale	Oui

\*Les inondations rapportées par les enquêtes terrain mais les dates précises de ces inondations ne sont pas connues. Les pluies maximales de ces années sont considérées pour l'analyse.

#### 4.1.4 Evolution de l'étalement du bâti de la ville de Dori: étude diachronique

La figure 14 et le tableau 5 présentent l'évolution spatiale, temporelle et démographique de la ville de Dori entre 1985 et 2016. La superposition des différentes situations de l'étalement du bâti montre une faible expansion entre 1985 et 1996 allant de 1.65 km<sup>2</sup> à 1.81 km<sup>2</sup> et que la population a plus que doublé passant de 10 956 à 23 786 habitants durant cette même période. Entre 1996 et 2006, la superficie totale du bâti a évolué de 1.81 km<sup>2</sup> à 3.72 km<sup>2</sup> par contre la population a diminué de 23 786 à 21 078 habitants sur la même période. De 2006 à 2016, on constate une forte expansion de la ville allant de 3.72 km<sup>2</sup> à 10.57 km<sup>2</sup> avec une population croissante de 21 078 à 28 094 habitants. La population en 2016 est estimée au taux d'accroissement de 2.9 % par l'institut national de la statistique et de la démographie (INSD) du Burkina Faso.

Le tableau 5 met en exergue une diminution de la densité de la population et une augmentation de la superficie du bâti de la ville de Dori malgré le fait que l'on constate une diminution de la population en 2006 par rapport à 1996.

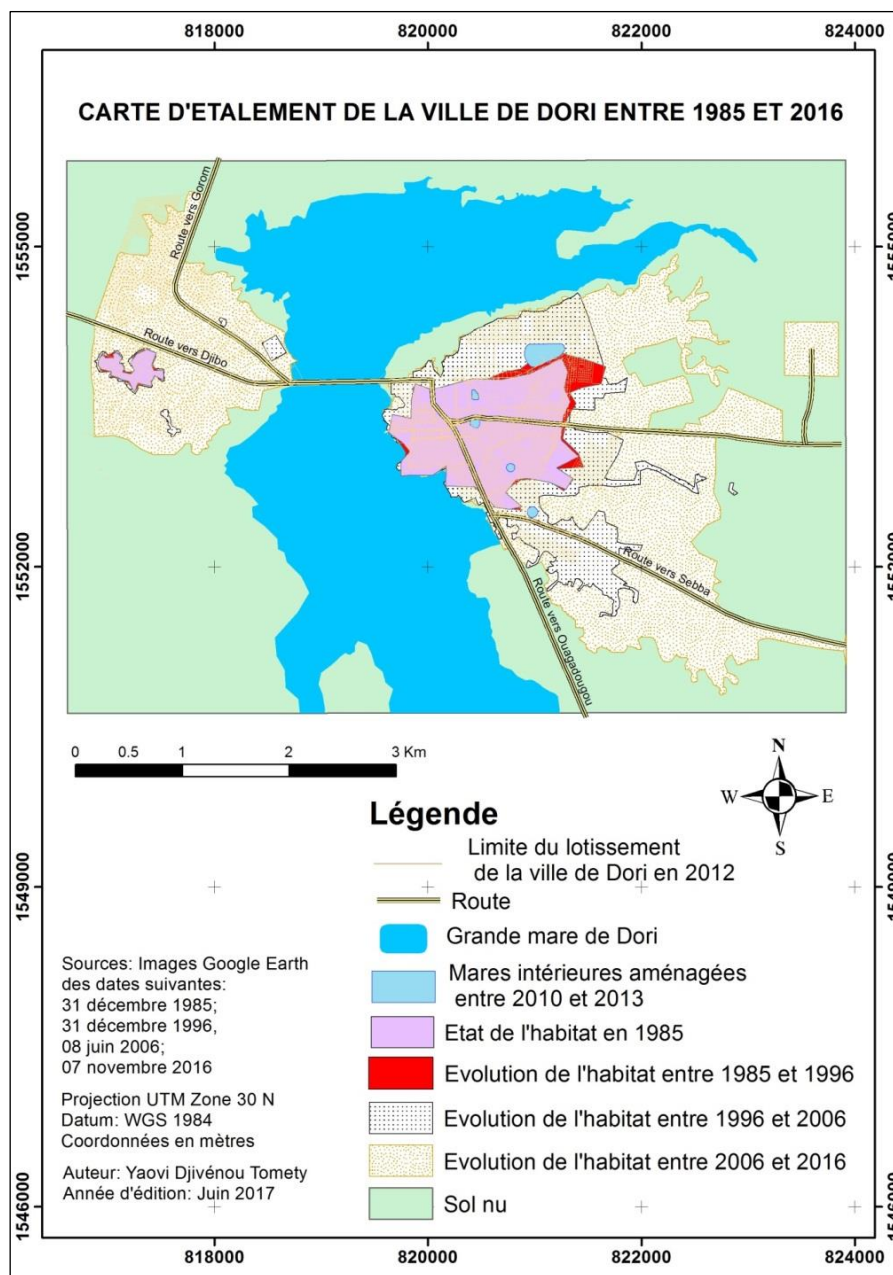
**Tableau 5: Evolution de la population et de la superficie de la ville de Dori**

	Année			
	1985	1996	2006	2016
<b>Evolution de la population</b>	10 956	23 768	21 078	28 094
<b>Evolution de la superficie totale urbaine et péri urbaine (km<sup>2</sup>)</b>	1.65	1.81	3.72	10.57
<b>Densité de la population sur l'espace bâti (habitants/km<sup>2</sup>)</b>	6 654	13 158	5 670	2 657

Nous observons donc deux phases distinctes dans la dynamique d'évolution spatiale et démographique de la ville de Dori entre 1985 et 2016 par rapport à l'évolution de la densité de la population sur l'espace bâti. En effet, la première phase est comprise entre 1985 et 1996.

Elle est caractérisée par l'évolution simultanée de la croissance démographique annuelle (7.29%) à forte proportion et de la croissance urbaine (0.85%) mais à faible proportion. Ces croissances dissymétriques démographique et urbaine se traduisent par une densification de la population de l'espace bâti dans la ville de Dori.

La deuxième phase se situe entre 1996 et 2016 où la croissance urbaine annuelle de 7.48% continue de croître d'abord entre 1996 et 2006 alors que l'accroissement annuel de la population a baissé (1.19%). L'année 1996 constitue donc le début d'une réduction de la densification de la population sur l'espace bâti de la ville de Dori. Cette logique de la réduction de la densité de la population sur l'espace bâti s'est accentuée entre 2006 et 2016 où la croissance urbaine a fortement augmenté mais l'accroissement annuel de la population n'est pas assez élevé.

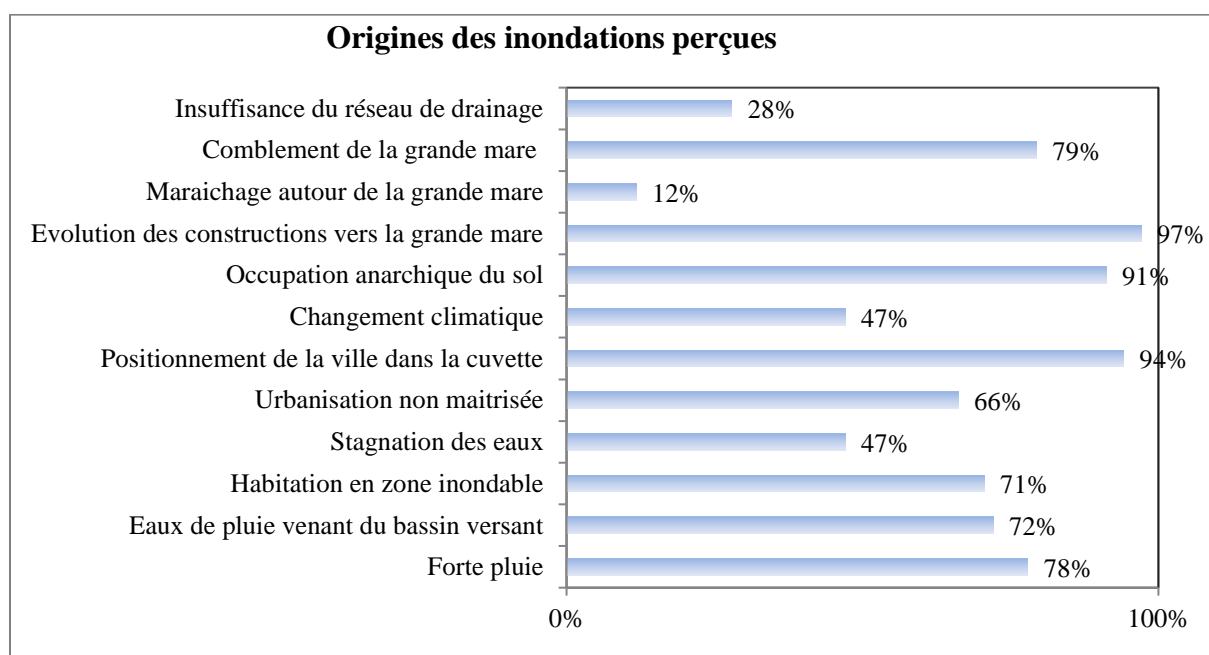


**Figure 14:** Etalement de la ville de Dori entre 1985 et 2016

#### 4.1.5 Perception des populations sur les causes des inondations à Dori

Les causes des inondations à Dori sont perçues de manière très diversifiée par les populations. La figure 15 montre que le comblement de la mare, l'évolution des constructions vers la grande mare, l'occupation anarchique du sol, le positionnement de la ville dans une cuvette, l'urbanisation non maîtrisée, les habitations en zone inondable, les eaux de plus venant du bassin versant et les fortes pluies dont les proportions des réponses venant des 68 enquêtées dépassant 50% constituent les causes majeures des inondations à Dori perçues par les populations.

Le changement climatique, l'insuffisance du réseau de drainage, le maraîchage autour de la grande mare et la stagnation des eaux avec des proportions de réponses respectives des enquêtés de 47%, 28%, 12% et 47% sont perçues comme des causes secondaires des inondations à Dori.

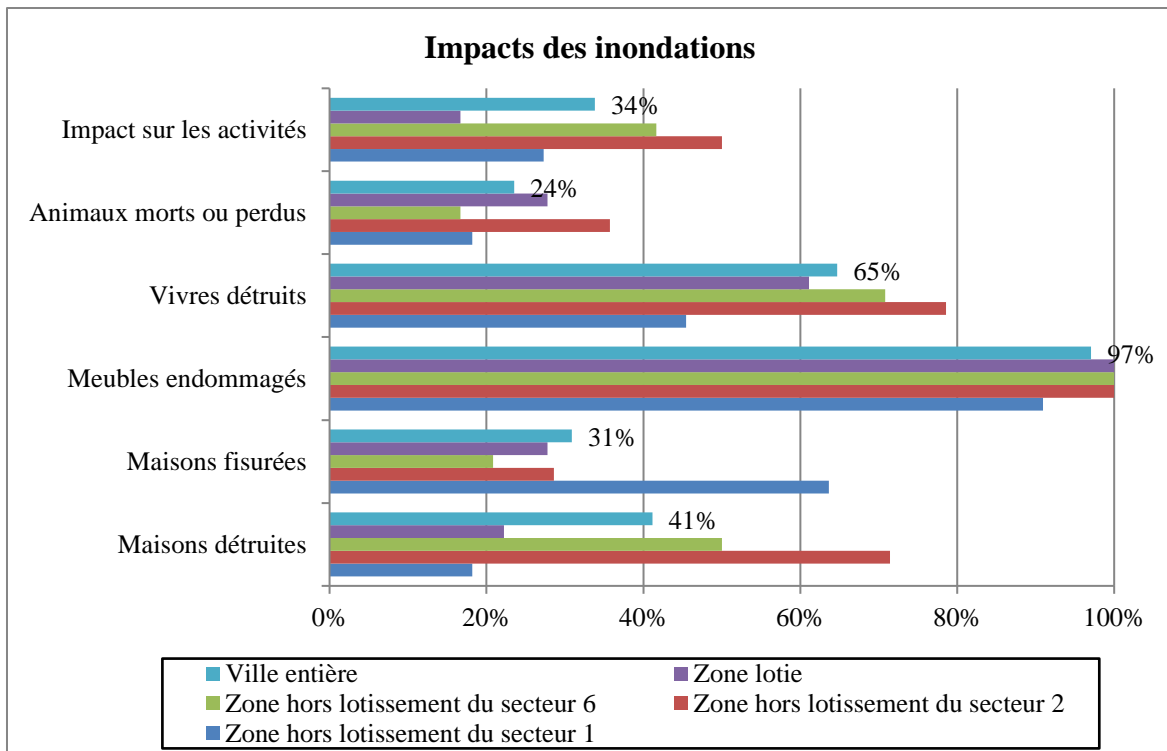


**Figure 15:** Perception sur les causes des inondations dans la ville de Dori par les populations

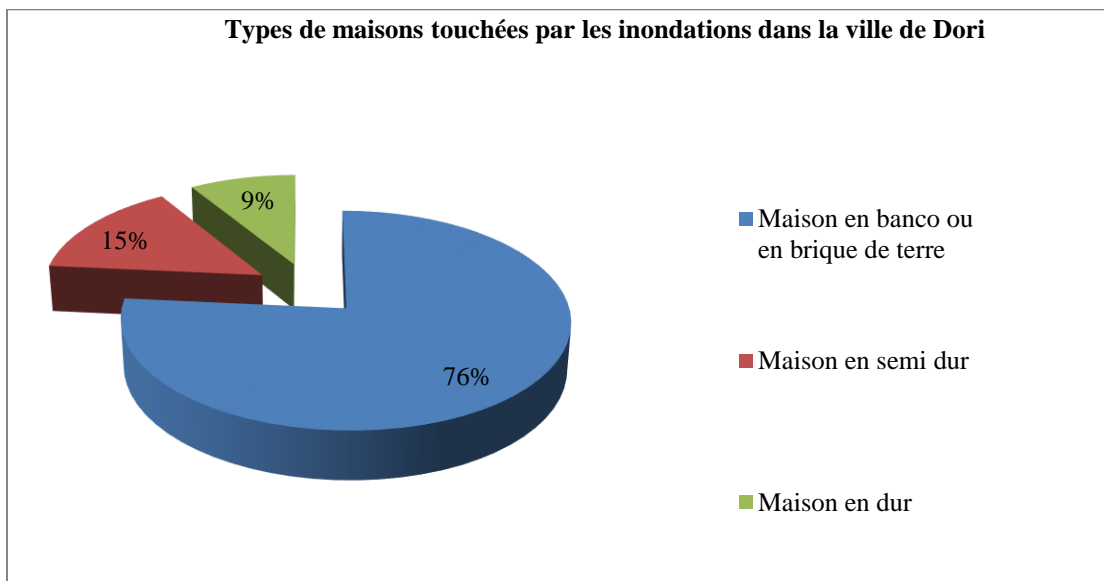
#### 4.1.6 Perception des populations sur les impacts des inondations à Dori

La figure 16 présente les différents types d'impacts qu'ont subis les populations de la ville de Dori lors des inondations. Parmi les ménages enquêtés, les autres éléments à risque touchés autre que les humains sont les meubles et les matériels, les maisons, les vivres, les animaux et les activités économiques. En effet, 76% des ménages enquêtés possèdent des maisons construites en banco ou en brique de terre (Fig.17) dont 72 % de ces maisons ont subi un endommagement partiel ou complet (Fig.16) concentrées essentiellement dans les zones hors lotissement des secteurs 1, 2 et 6 de la ville contre 24% des maisons construites en dur (matériaux définitifs) ou semi dur (enduit en ciment sur brique en terre) concentrées dans la zone lotie. La photo 2 montre la nature des types de construction dans les zones hors lotissement.

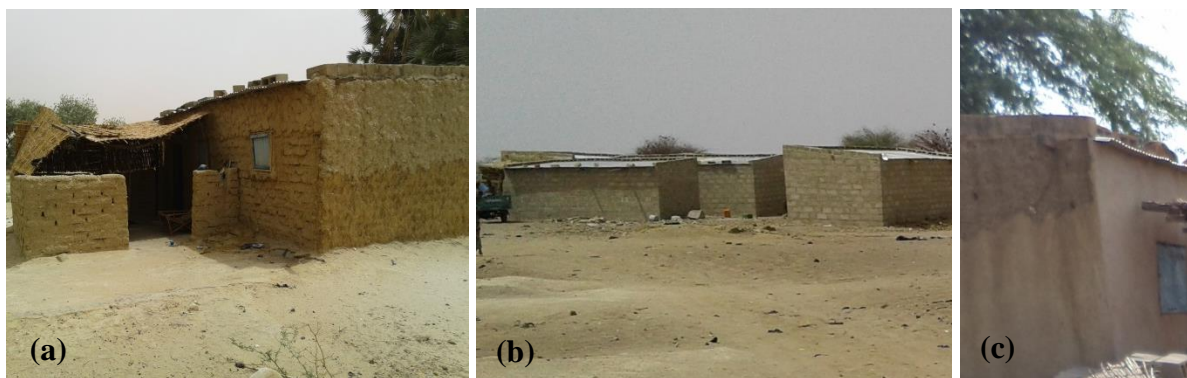
Les meubles et matériels, les vivres, les animaux sont aussi impactés respectivement de 97%, 65% et de 24% dans la ville. Les activités économiques sont affectées à 24 % au regard de la répercussion économique ressentie sur les activités quotidiennes des populations face aux inondations dans la ville de Dori.



**Figure 16:** Impacts des inondations à Dori



**Figure 17:** Différents types de maisons affectées par les inondations dans la ville de Dori



**Photo 2:** Type de maisons rencontrées dans les zones hors lotissement : maison en banco (a) ; maison en dur (b) ; maison en semi dur (c)

#### 4.1.7 Perception des autorités et des organismes basés à Dori sur les inondations dans la ville de Dori

Les autorités rencontrées ont des perceptions qui sont similaires à celles de la population sur les inondations à Dori. En effet, le premier adjoint au -mair de la commune de Dori, Monsieur Bokoum Bouréïma, affirme que : « *les inondations dans la ville de Dori surviennent de deux manières :*

- *les pluies soudaines créent des inondations dans la ville par stagnation d'eau en raison d'un réseau de drainage insuffisant, d'une pente très faible entraînant un écoulement très lent des eaux et de la nature du sol peu perméable ;*
- *les inondations par débordement de la grande mare qui fait l'objet d'une attention toute particulière de l'exécutif communal pour son aménagement. La mare a subi un envasement qui a réduit considérablement sa capacité de rétention et n'arrive plus à réguler les importantes quantités d'eaux qui proviennent de l'amont du bassin versant de cette mare.*

*L'inondation de l'année 2012 a beaucoup plus marqué les populations de la ville de Dori mais après l'aménagement des mares intérieures et la réalisation d'un important réseau de caniveaux jusqu'à ce jour, la ville n'a plus connu d'inondations si ce n'est que des personnes qui sont situées dans les zones inondables d'une partie du secteur 2, de Nyarala (zone hors lotissement du secteur 6) et petit paris (zone hors lotissement du secteur 1) qui sont actuellement exposées à d'éventuels débordements des eaux de la grande mare. Nous sommes en train de chercher le financement pour faire l'aménagement de cette grande mare qui est l'exutoire de toutes les autres mares intérieures déjà aménagées pour compléter le dispositif de drainage et de régulation afin de réduire considérablement les risques d'inondations dans la ville ».*

Pour compléter les propos du premier adjoint au maire, le secrétaire général de la mairie de Dori, Monsieur Kindo Idrissa, ajoute que : « *bien qu'il n'a pas suffisamment plu ces dernières années à Dori, la dernière mare Petel Poutchi aménagée n'est pleine généralement qu'à sa moitié après les saisons des pluies, ce qui donne une réserve d'eau importante pour réguler les débits de crue dans la ville au cas où il y aurait une forte pluie dans l'avenir ».*

L'ancien secrétaire général de la commune de Dori entre 2007 et 2013, Monsieur Sanou Siaka, a pour sa part fait remarquer que : « *la texture du sol et le relief de la ville relativement plat sont à l'origine des inondations à Dori. Par ailleurs, l'installation de certaines boutiques sur les caniveaux empêche parfois leur curage. En outre, l'utilisation des réseaux de drainage*

*comme dépotoirs en y jetant des ordures et sachets plastiques peuvent également obstruer ces réseaux et pourraient créer des inondations dans la ville ».*

Certains organismes présents à Dori ont été également interviewés à propos de ces questions liées aux inondations à Dori. En effet, le responsable eau et assainissement du projet Eau et Croissance Economique Durable au Sahel (ECED/Sahel), Monsieur Sinini Amédé affirme que : *« En plus du positionnement de la ville dans une cuvette qui est un facteur d'exposition aux inondations, la construction des maisons surtout en banco dans les zones plus à risque d'inondations par les ménages pauvres et l'étalement de la ville vers la grande mare surtout dans les zones hors lotissement de Nyarala au secteur 6 et de petit paris au secteur 1 exposent de plus en plus les populations aux risques d'inondations. Il est à remarquer que l'inondation due au débordement de la grande mare provient le plus souvent des eaux venant de l'amont du bassin versant et que ce débordement ferait plus de dégât si l'inondation survient la nuit et surprend les habitants qui seraient en train de dormir dans ces zones hors lotissement exposées ».*

Du côté du Programme de Croissance Economique dans le Secteur Agricole (PCESA), l'expert dans le domaine du génie rural pour la région du Sahel, Monsieur Tchalla Kodjo donne son avis sur les inondations à Dori : *« La région du Sahel est considérée à plusieurs points de vue comme le parent pauvre des régions du Burkina Faso. Ce faisant, et faute d'un minimum d'urbanisation, l'assainissement pluvial de la ville de Dori était livré au hasard et au loisir de l'environnement naturel lui-même.*

*Il convient de rappeler que plus de quatre-vingt-dix pour cent des sols de la commune sont de type sableux ou argilo-sableux. En méconnaissance des données y relatives et propres au chef-lieu, si l'on rapporte cette prédominance à l'échelle de la ville de Dori, il va sans dire que la capacité d'infiltration y serait peu considérable. Ce n'est qu'à la crue de la saison d'hivernage que leur saturation conjuguée à l'affleurement des éléments limoneux fait émerger les parties inondées. On peut également citer le cas des talus de la grande mare vers lequel refluent les eaux à mesure que celle-ci se remplit. L'inondation relative que cela entraîne au regard des déplacements auxquels sont obligés les occupants de ces lieux, qui pour raison de culture ou pour fait d'habitation, ne saurait être considérée comme une réelle victime pour le simple fait même que les talus ne sont ni un espace d'activité, encore moins un lieu de peuplement.*

*Il nous est fort aisé d'affirmer que les inondations ont été fortement réduites à partir de 2014 après les travaux de voirie et des caniveaux entrepris à la faveur de l'organisation de la fête de l'indépendance de pays célébrée le 11 décembre 2013. Ces travaux ont été par ailleurs couplés d'un projet porté par la commune elle-même et qui a aménagé cinq bassins de rétention dont quatre petits et un grand.*

*Suite à l'observation de leur fonctionnalité pour les trois dernières pluviométries annuelles, on peut affirmer que les bassins de rétention constituent un exutoire de capacité suffisante pour recueillir les eaux de ruissellement. Le phénomène d'inondation s'est donc réduit à des poches de stagnation creusées par les contre-pentes des itinéraires d'écoulement. D'autres points d'accumulation d'eau existent qui sont le fait des excavations faites à dessein de fabrication de parpaings en terre aux fins de construction d'habitation ».*

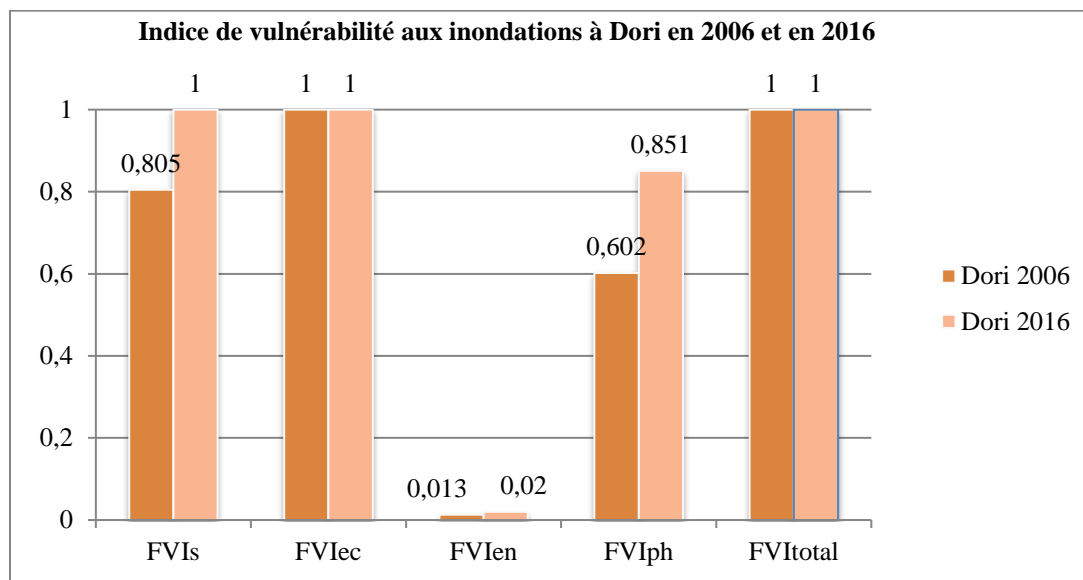
Toutes ces interventions des différentes personnalités mettent également en exergue et corroborent la plupart des différentes causes d'inondations énumérées par les populations dans la ville.



## 4.2 Facteurs de la vulnérabilité de la ville face aux risques d'inondation

### 4.2.1 Indice de vulnérabilité aux inondations à Dori

La figure 18 montre l'évolution des différents sous-indices de vulnérabilité ainsi que l'indice de vulnérabilité total aux inondations à Dori pour les années 2006 et 2016.



**Figure 18:** Indice de vulnérabilité aux inondations à Dori en 2006 et en 2016

Les indices de vulnérabilité sociale, économique, environnementale et physique de la ville de Dori sont respectivement 0.805, 1, 0.013 et 0.602 en 2006 contre 1, 1, 0.02 et 0.851 en 2016. Quant à l'indice de vulnérabilité total aux inondations à Dori, résultant des quatre sous indices, il est de 1 en 2006 ainsi qu'en 2016. Les différentes données utilisées et les résultats de calcul des sous-indices et de l'indice de vulnérabilité aux inondations sont mis en réseau au moyen de l'outil FVI sur le site web [www.unesco-ihe-fvi.org](http://www.unesco-ihe-fvi.org) développé par Balica et Wright (2009).

L'analyse des indices de la vulnérabilité se fera suivant la classification proposée par Balica (2012) de l'indice de vulnérabilité présenté dans le tableau 6. Ainsi, selon le tableau 6, la ville de Dori présente une vulnérabilité très élevée aux inondations en 2006 tout comme en 2016. Au regard des sous-indices de la vulnérabilité aux inondations, la ville de Dori présente une vulnérabilité très élevée sur le plan social (FVIs=0.805) en 2006 et en 2016 mais plus accentuée (FVIs=1) en 2016. Sur le plan économique, la vulnérabilité est également très élevée pour les deux années considérées. En revanche, le sous-indice de vulnérabilité environnementale est faible ( $0.01 < FVI_{en} < 0.25$ ) en 2006 tout comme en 2016 donc une vulnérabilité environnementale faible. Le sous-indice de la vulnérabilité physique de la ville de Dori est élevé ( $FVI_{ph}=0.602$ ) en 2006 mais très élevé ( $FVI_{ph}=0.851$ ) en 2016. La comparaison des sous-indices de vulnérabilité FVIs ; FVIen et FVIph de la ville de Dori en 2006 et en 2016 montre qu'il y a une aggravation de la vulnérabilité sociale, environnementale et physique en 2016.

**Tableau 6: Classification de la vulnérabilité d'un système aux inondations**

Valeur de l'indice	Classification de la vulnérabilité	Descriptions
<0.01	Très faible vulnérabilité aux inondations	Très faible vulnérabilité aux inondations, la zone se rétablit rapidement, il existe des assurances contre l'inondation, le montant de l'investissement dans la zone est élevé
0.01 – 0.25	Faible vulnérabilité aux inondations	Sur le plan Social, économique, environnemental et physique, la région peut de temps en temps souffrir d'inondations, la zone est vulnérable aux inondations et le processus de récupération est rapide en raison des mesures de résilience élevées, budget élevé, d'autre part si la zone est moins développée économiquement, même si une inondation survient, les dommages ne sont pas élevés, donc une faible vulnérabilité aux inondations
0.25 – 0.50	Vulnérabilité moyenne aux inondations	Sur le plan social, économique, environnemental et physique, la zone est vulnérable aux inondations, la zone peut récupérer en quelques mois en raison des processus de résilience moyens, le montant des investissements suffit.
0.50 – 0.75	Vulnérabilité élevée aux inondations	Sur le plan social, économique, environnemental et physique, la zone est vulnérable aux inondations, le processus de récupération est très lent, peu résistant, aucune organisation institutionnelle
0.75 – 1	Vulnérabilité très élevée aux inondations	Sur le plan social, économique, environnemental et physique, la zone est très vulnérable aux inondations, le processus de récupération est très lent, la zone se rétablira en années, le budget est très insuffisant.

Source : Balica, 2012.

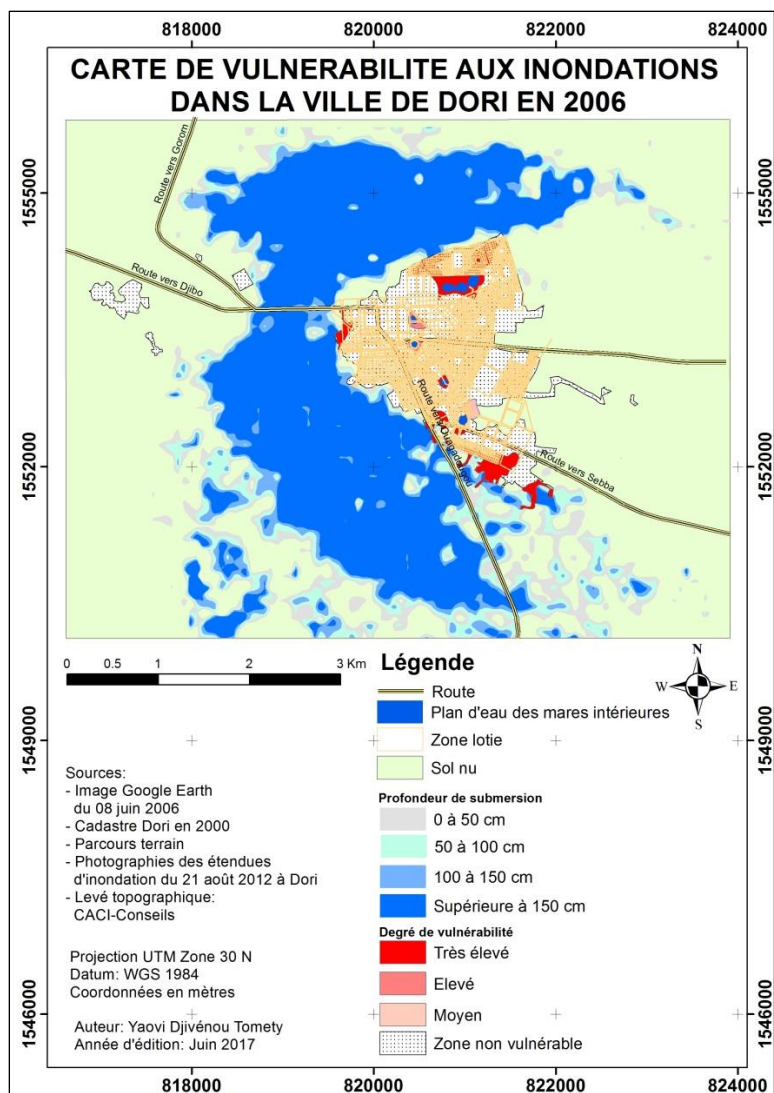
#### 4.2.2 Les zones vulnérables aux inondations dans la ville de Dori

Les enquêtes terrains ont mis en exergue les différentes zones inondables avec leur degré de vulnérabilité. La nature de la vulnérabilité de ces différentes zones analysées suivant les facteurs de la vulnérabilité au travers des différents focus groups ont abouti à l'élaboration de la carte de vulnérabilité (Fig.19 (a) et Fig.19 (b)) et celle liée à l'aléa inondation (Fig.20).

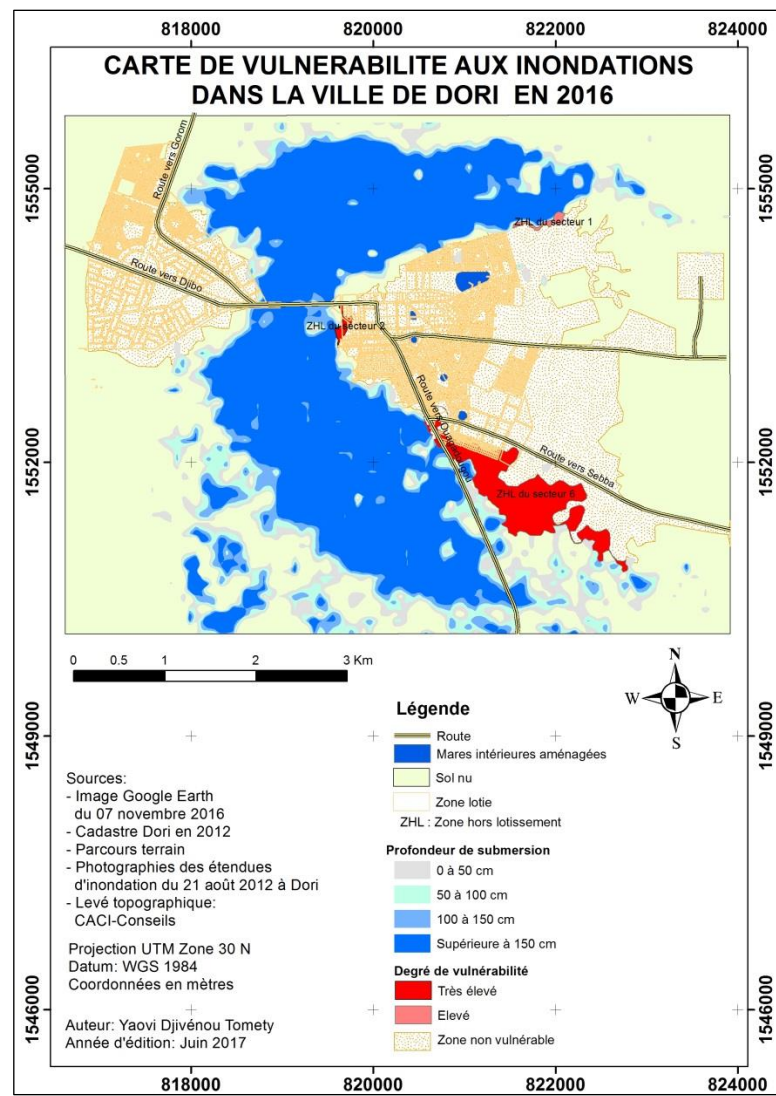
La figure 19-a montre que les zones vulnérables se trouvent à l'intérieur de la ville de Dori. La vulnérabilité de ces zones est très élevée.

La figure 19-b montre quatre différentes zones essentielles avec des degrés de vulnérabilité différents dans la ville de Dori. Il s'agit des zones hors lotissement du secteur 2 et 6 avec une vulnérabilité très élevée. La zone hors lotissement du secteur 1 a une vulnérabilité élevée. Le reste de la ville n'est plus vulnérable aux inondations si et seulement si le réseau de drainage réalisé depuis l'année 2013 fonctionne correctement.

Au total 3447 personnes vivent en 2016 en périphérie de la ville de Dori dans les zones hors lotissement vulnérables aux inondations. Ces personnes sont par conséquent vulnérables aux inondations contre 2124 personnes vulnérables qui vivaient dans les zones vulnérables aux inondables en particulier à l'intérieur de la ville en 2006.

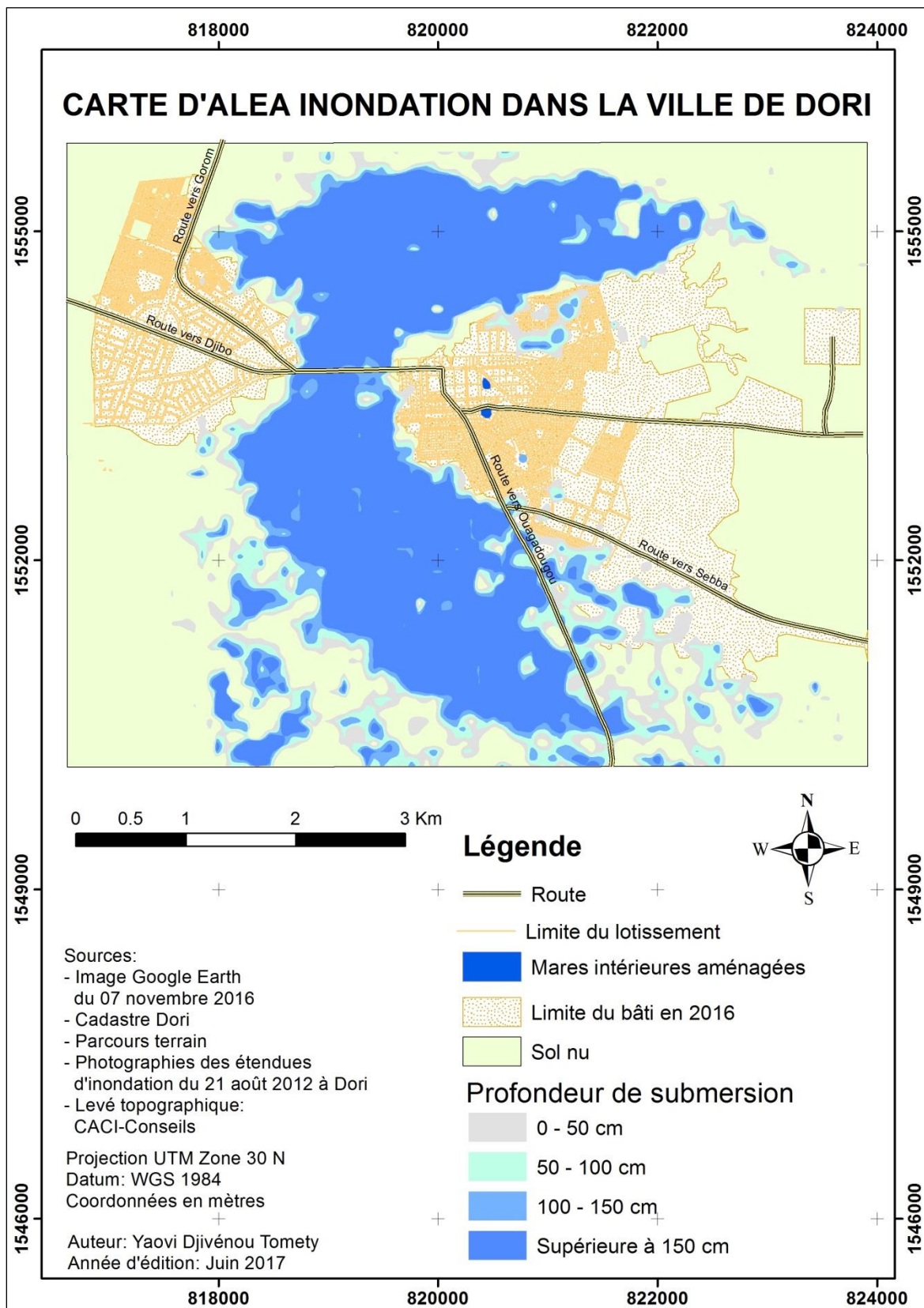


(a)



(b)

**Figure 19:** Carte de la vulnérabilité de la ville de Dori en 2006 (a) et en 2016 (b)



**Figure 20:** Carte d'inondation de la ville de Dori établie à partir de l'inondation de 2012

### **4.3 Les stratégies d'adaptation pour la réduction de la vulnérabilité aux risques d'inondation**

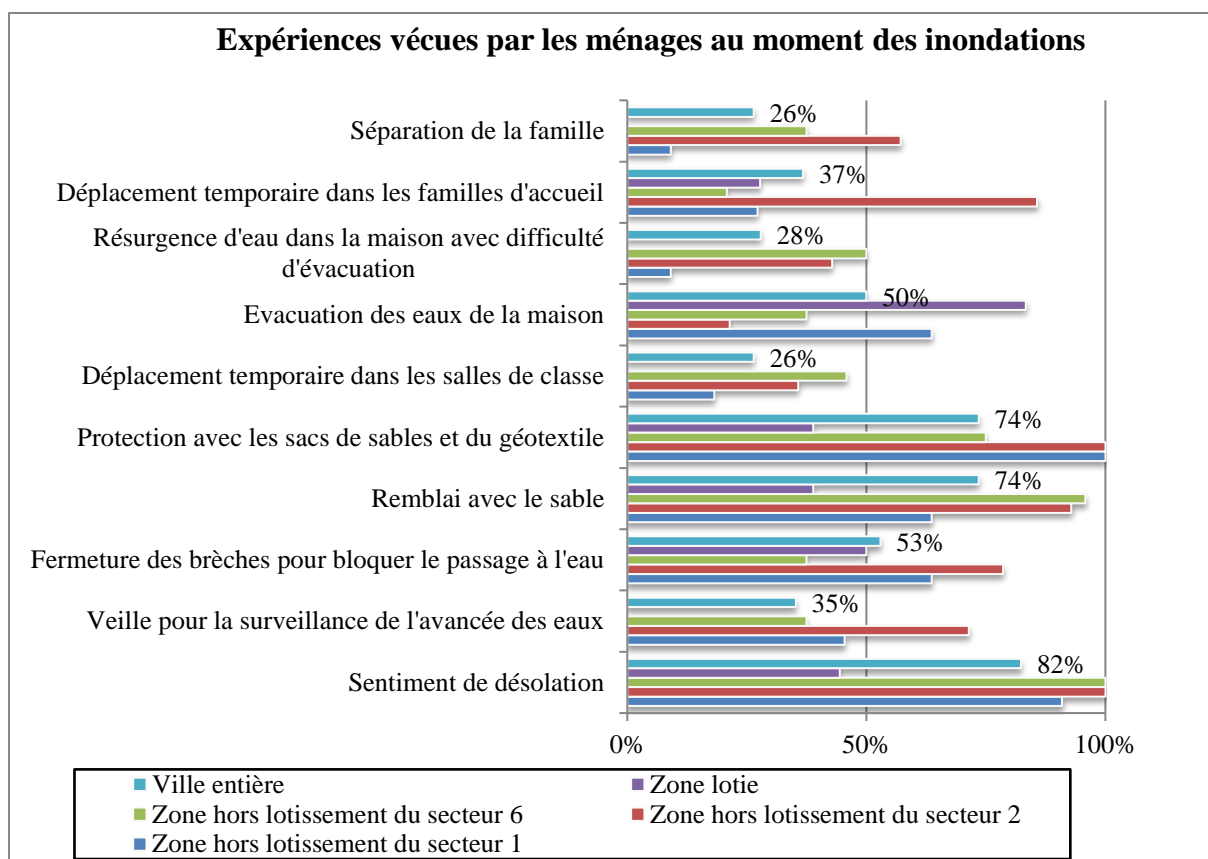
Pour mieux comprendre la vulnérabilité des populations, il est nécessaire d'analyser leurs différentes stratégies d'adaptation déjà opérées à travers leurs expériences des inondations passées. Ainsi, les stratégies d'adaptation pour réduire la vulnérabilité contre les risques d'inondation trouvées dans la ville de Dori sont multiples et vont du niveau ménage au niveau communauté.

#### **4.3.1 Stratégies d'adaptation au niveau ménage**

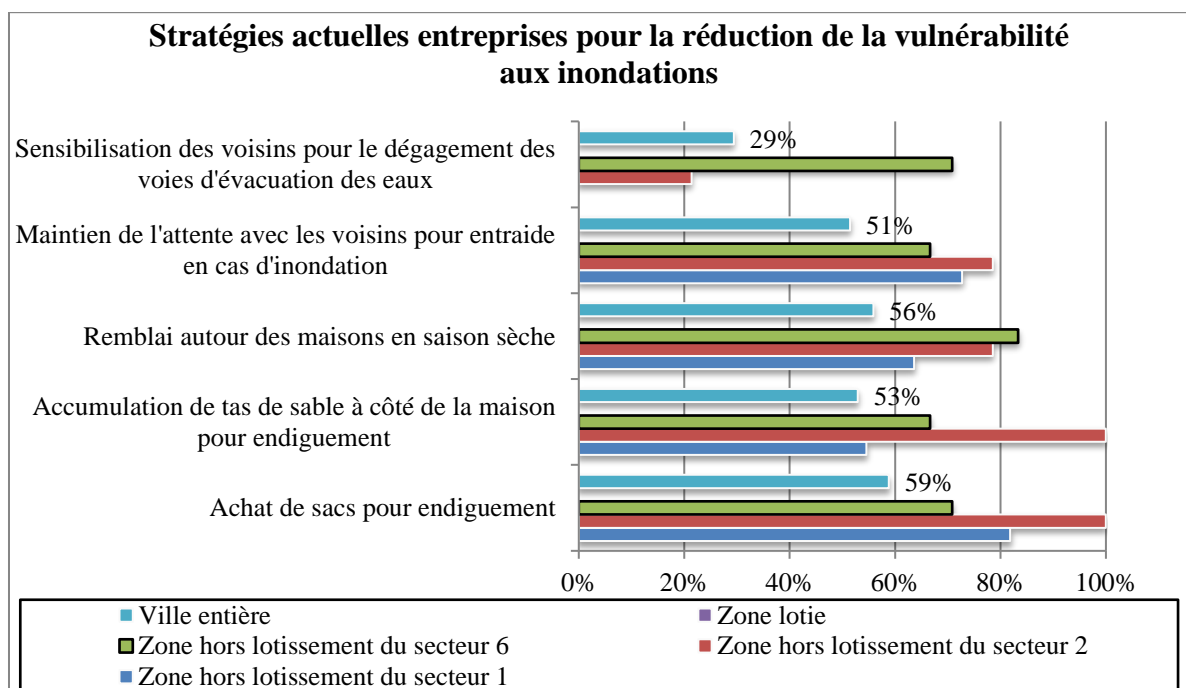
Au niveau ménage, les questionnaires adressés ont fait ressortir, l'expérience vécue par les populations pendant les inondations, les mesures d'adaptation qu'elles entreprennent actuellement et celles que les ménages peuvent faire. En effet, la figure 21 montre que les expériences qu'ont connues les populations pendant les inondations sont aussi variées. La séparation de la famille, le déplacement temporaire dans les familles d'accueil ou dans les salles de classe, l'affectation psychologique, le colmatage des brèches pour empêcher l'eau d'inonder les maisons protégées naturellement par un petit cordon de digue de sable au nord de la ville sont les principaux faits marquants des moments d'inondations vécus par les populations qui varient d'une zone à risque à une autre. Ainsi, le déplacement temporaire des populations dans les familles d'accueil est beaucoup plus pratiqué dans la zone hors lotissement du secteur 2 (86% des personnes touchées par les inondations dans la zone hors lotissement du secteur 2) mais dans la zone hors lotissement du secteur 6, les personnes (46%) font beaucoup plus recours aux salles de classe pour trouver des abris après les inondations.

La figure 22 met en exergue les actions adoptées par les populations pour réduire leur vulnérabilité. Les populations dans les zones hors lotissement se préparent toujours à leur manière pour lutter contre d'éventuelles inondations. En effet, les remblais de sable au tour des maisons, l'achat des sacs et des géotextiles qui pourraient servir dans l'endigement sommaire pour se prémunir du débordement de la mare ; le maintien de l'entente avec les voisins pour une bonne entraide en cas d'inondation, la sensibilisation des voisins pour dégager les voies à la circulation d'eau de par leur construction sont autant d'initiatives prises par les populations vulnérables des zones hors lotissement pour se préparer contre d'éventuelles inondations.

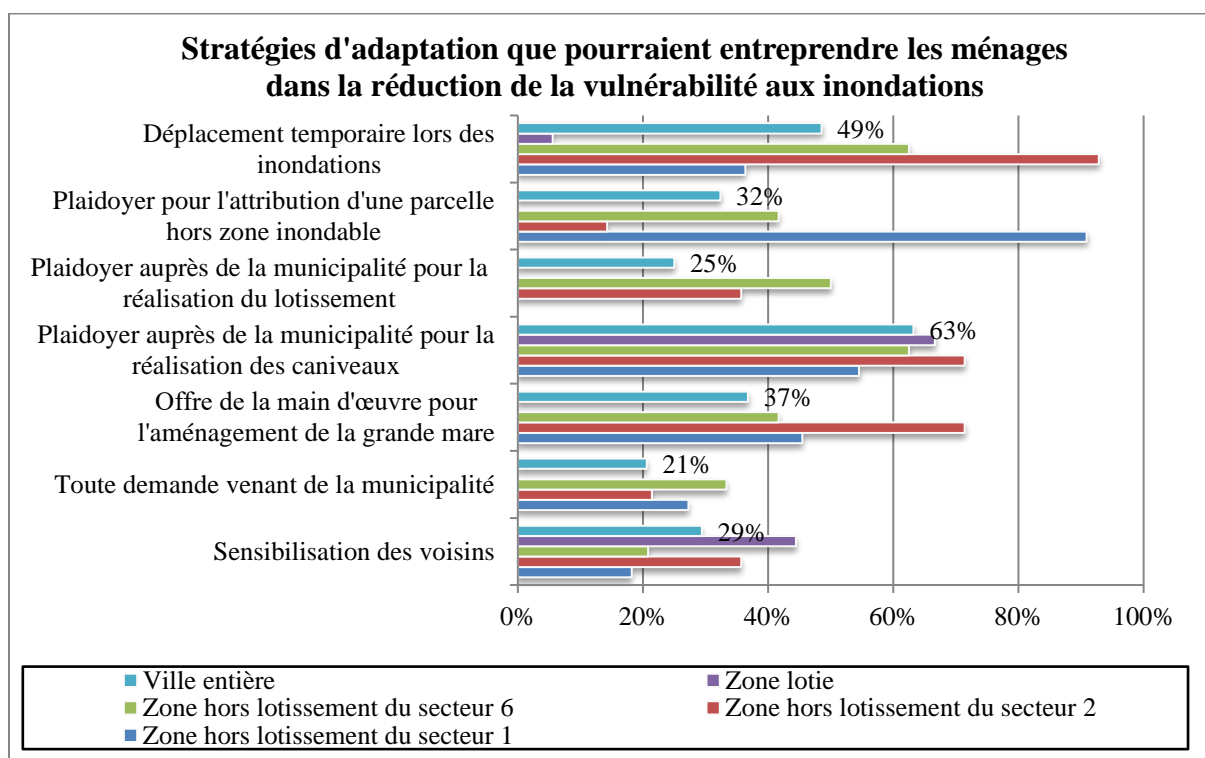
La figure 23 montre qu'étant donné que certaines actions ne pouvant être initiées par les populations elles-mêmes, les plaidoyers sont formulés à l'endroit des autorités locales par ces dernières à faire le lotissement de la zone non encore lotie du secteur 6 ou de leur trouver des parcelles d'habitation dans les zones non inondables, à réaliser des remblais dans les zones hors lotissement des secteurs 2 et 6 et à réaliser les caniveaux dans les zones vulnérables. 37% des ménages sont prêts à apporter un soutien en main d'œuvre à la municipalité pour l'aménagement de la grande mare et 21 % sont prêts à répondre à toute sollicitation de la municipalité de Dori dans les actions de la réduction de la vulnérabilité aux inondations. La population témoigne donc de sa disponibilité à accompagner les autorités locales dans les actions de la réduction de la vulnérabilité aux inondations de la ville de Dori.



**Figure 21:** Expériences vécues par les populations pendant les inondations dans la ville de Dori



**Figure 22:** Stratégies actuellement adoptées par les ménages pour la réduction de la vulnérabilité aux inondations dans la ville de Dori



**Figure 23:** Stratégies d’adaptation que pourraient entreprendre les ménages pour réduire la vulnérabilité aux inondations dans la ville de Dori

### 4.3.2 Stratégies d’adaptation de la réduction de la vulnérabilité au niveau de la communauté locale

Le service technique de la mairie de Dori a mis en exergue plusieurs actions initiées à la fois par l’Etat central du Burkina Faso et par la commune de Dori dans le but de réduire la vulnérabilité de la ville face aux risques d’inondations. Ainsi, lors de la préparation de la commémoration du 53<sup>ème</sup> anniversaire de l’ascension du Burkina Faso à l’indépendance prévue dans la ville de Dori pour le 11 décembre 2013, le gouvernement du Burkina Faso s’est investi dans le bitumage 16.21 km de voiries urbaines avec plus de 13 km de caniveaux à l’intérieur de la ville.

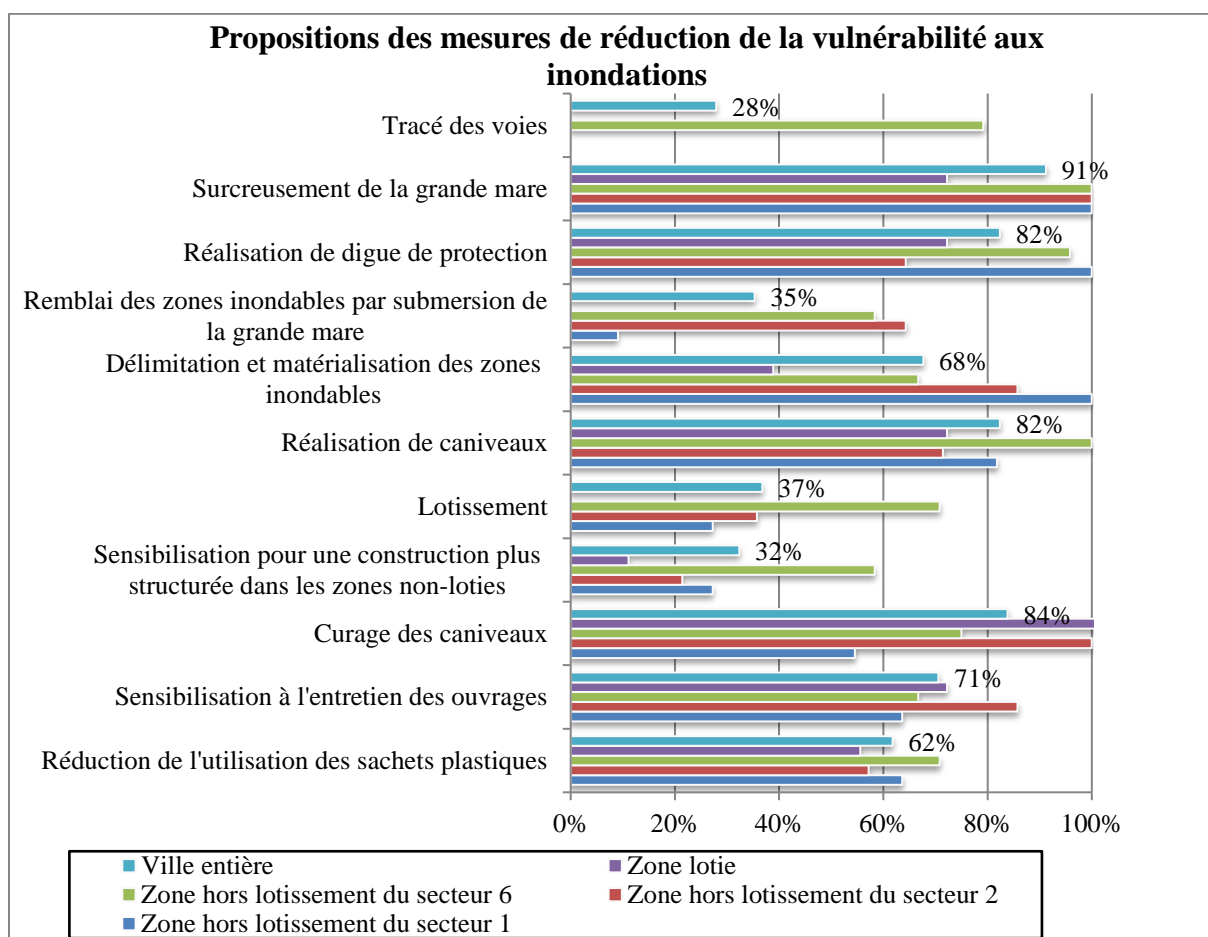
De plus, la Commune de Dori, à travers le projet d’amélioration et d’accès à l’eau potable et à l’assainissement Dori/Tera et le projet d’aménagement des mares intérieures de la ville de Dori, a aménagé cinq (5) mares intérieures connectées entre elles en cascade par des canaux de grandes sections afin de bien drainer les eaux pluviales de l’intérieur de la ville vers la grande mare.

Toutes ces mesures ont contribué à réduire le risque d’inondation à l’intérieur de la ville de Dori.

### 4.3.3 Stratégies de réduction de la vulnérabilité proposées pour la ville de Dori par les populations

Les propositions de réduction de la vulnérabilité face aux risques d’inondation formulées au niveau de la communauté toute entière sont de grandes envergures et nécessitent de gros moyens financiers. Ces mesures émanant des populations lors de la première phase des

enquêtes ont été confirmées par des entretiens en focus groups lors du déroulement des outils BRAPA avec le seul indicateur d'acceptabilité du risque résiduel d'inondation mentionné qui implique qu'elles ne seront plus vulnérables aux inondations est que : « *les habitants de la ville de Dori ne subiront plus jamais les inondations à l'avenir dans la ville de Dori* ». Cet indicateur traduit le seuil d'acceptabilité sociale du risque d'inondation dans la ville. Pour arriver à ce seuil d'acceptabilité, les populations ont fait des propositions de mesures de réduction de leur vulnérabilité aux inondations. La figure 24 reflète lesdites propositions qui sont beaucoup liées aux expériences vécues et à la perception des causes des inondations dans la ville. Le surcreusement de la grande mare (91%), la réalisation d'une digue de protection (82%), le curage des caniveaux (84%), la réalisation des caniveaux (82%), la sensibilisation à l'entretien des ouvrages par les populations (71%), la réduction de l'utilisation des déchets plastiques (62%) pour limiter le bouchage des caniveaux et les dégrilleurs placés à l'entrée des mares intérieures aménagées et la délimitation des zones inondables (68%) à interdire pour la construction sont des propositions majeures formulées par les populations de la ville de Dori pour réduire considérablement leur vulnérabilité aux inondations.



**Figure 24:** Propositions de mesures de réduction de la vulnérabilité aux inondations dans la ville de Dori par les populations

#### 4.3.4 Stratégies de réduction de la vulnérabilité proposées par les autorités et les organismes de la ville de Dori

La mairie de Dori, à travers son premier adjoint au maire, Monsieur Bokoum Bouréima affirme que : « *dans le souci de compléter le dispositif de drainage des eaux existant, la grande mare qui est l'exutoire de toutes les mares intérieures doit être surcreusée pour*



*augmenter sa capacité de stockage d'eau afin de réduire les risques de son débordement. De plus la délimitation de son périmètre par une digue de protection matérialisant la limite des habitations vers la grande mare. Etant donné que le budget communal ne peut supporter de tels investissements d'envergure, la mairie de Dori est actuellement en train de rechercher les financements pour la réalisation de ces travaux structurants qui pourraient régler définitivement le problème des risques d'inondations par débordement de cette mare. Ces aménagements vont nécessiter le déplacement de certaines personnes et nous espérons réinstaller toutes les personnes qui seront touchées dans les zones non inondables ».*

Monsieur Sinini Amédé, responsable eau et assainissement du projet Eau et Croissance Economique Durable au Sahel (ECED/Sahel), quant à lui met l'accent sur les mesures de prévention : *« Il est vrai que les mares intérieures aménagées et la construction des caniveaux bien qu'insuffisants ont réduit fortement les risques d'inondations à l'intérieur de la ville mais la périurbanisation qui s'étend vers la grande mare mettra à rude épreuve les efforts fournis par la mairie dans la réduction de la vulnérabilité de la ville aux inondations. Pour réduire donc cette vulnérabilité, il est important de mener certaines actions telles que :*

- renforcer les services de la météorologie de la ville en les orientant vers la problématique de gestion des risques d'inondation ;*
- entretenir les caniveaux existant et renforcer le réseau de drainage des eaux pluviales ;*
- renforcer la communication sur les impacts de l'occupation anarchique du sol ;*
- sensibiliser pour la promotion des constructions en semi dur ou en dur ;*
- déplacer les habitants des zones inondables et délimiter la grande mare par une digue de protection ;*
- élaborer un plan de contingence comme faisant suite aux différentes recommandations issues des rencontres avec le gouverneur de la région du Sahel lors des inondations passées des années 2011 et 2012 ».*

Monsieur Tchalla Kodjo, expert du génie rural du Programme de Croissance Economique dans le Secteur Agricole (PCESA) pour la région du Sahel, aborde dans le même sens que monsieur Sinini mais en s'attaquant non seulement, à d'autres aspects de la prévention, mais également, de protection contre les risques d'inondation. Ainsi dit-il: *« Pour lutter contre les formes résiduelles d'inondations dans la ville de Dori, il faut mettre en œuvre les mesures suivantes :*

- réquisitionner dans la mesure du possible les zones inondables non encore occupées pour prévenir les aléas ultérieurs de déguerpissement avec leurs incidences financières et sociales ;*
- faire arrêter si ce n'est déjà fait l'excavation béante en face de la salle polyvalente en taxant de pénalités les contrevenants à l'interdiction par délibération du Conseil municipal ;*
- envisager éventuellement les aménagements confortatifs dont il faudrait compléter le dispositif existant ;*
- étudier le dimensionnement des ouvrages utiles pour les pluies à durée de retour rare et l'échéance de leur faisabilité technico-économique pour les inscrire le moment opportun dans le plan de développement communal ;*
- sensibiliser les habitants à s'installer en dehors des rives du lit majeur de la mare ;*
- valoriser les zones inondables autour de la mare en culture maraichère de contre saison en lieu et place d'un éventuel peuplement par les habitants. Des forages de*

*puits y seront largement positifs et il est quasiment certain que même en période sèche, la profondeur de la nappe soit inférieure à cinq mètres ; ce qui a l'avantage d'avoir à réaliser des puits de très petites profondeurs et ce en terrain très meuble ;*

- *remblayer certaines zones de dépressions si nécessaire. En effet, les zones de dépression à proximité des domiciles peuvent être remblayées à travers les travaux communautaires, la région toute entière regorgeant à foison de sable. Mais cette option nécessite un appui technique en vue d'une bonne circonscription de la topographie pour prévenir que les matériaux d'apport ne soient éconduits par les eaux de ruissellement ».*

Pour l'ancien secrétaire général de la commune de Dori entre 2007 et 2013, Monsieur Sanou Siaka : *« La sensibilisation des populations sur les risques liés à l'occupation des axes d'évacuation des eaux de pluies et le rejet des ordures dans les collecteurs d'eau pluviale. L'aménagement de la grande mare en augmentant sa capacité de rétention et la protection des habitants des zones périphériques longeant la grande mare par une digue contribueront à réduire également les risques d'inondation par débordement ».*

Les populations, les autorités et les organismes ont bien connaissance de la majeure partie des causes des inondations à Dori et proposent des solutions de prévention contextualisées basées sur les différents comportements des habitants de la ville. D'autres mesures de protection sont également formulées pour contribuer à réduire la vulnérabilité des populations aux inondations.

## 5 Discussions

### 5.1 Origine des inondations à Dori

Les hauteurs de précipitations enregistrées à la station de Dori ont été analysées pour apprécier la relation existant entre les pluies et la survenue des inondations afin de comprendre le caractère de ces pluies. A l'analyse, seule la pluie très exceptionnelle de 117.7 mm à la date du 25 juin 2008 a causé les inondations par contre les hauteurs de pluies enregistrées de 108 mm de pluie le 3 août 1994 et de 112.7 mm de pluie le 6 août 2005 de type exceptionnelle n'ont pas causé d'inondations dans la ville. Les événements pluvieux rapportés ayant causé des inondations ne sont pas de type exceptionnel. Ainsi, 61 mm de pluie le 22 août 1988 et 60.5 mm de pluie du 15 septembre 2011 de pluies étant respectivement les pluies maximales journalières enregistrées au cours des années 1988 et 2011 sont supposées engendrer les inondations faute de précision sur les dates précises des inondations mais rapportées par les populations. L'inondation du 4 juin 2005 avec une pluie de 16.5 mm a été précédée par une pluie de 55 mm le jour précédent (3 juin 2005) qui reste aussi une pluie de type normal. L'inondation de 21 août 2012 qui a beaucoup marqué la mémoire des populations à Dori engendrant la destruction de plusieurs maisons n'est causée que par une pluie normale de 34.6 mm relevée à la station de Dori mais la quantité d'eau de submersion observée par débordement de la grande mare (photo 3) dépasse de loin les données de la station météorologique de Dori. Une baisse très significative des pluies totales annuelles est observée (Fig. 6) et malgré une reprise légère des pluies annuelles à partir des années 2010 (Fig. 5), les inondations à Dori sont survenues en majeure partie lorsque les pluies sont de type normal.

Au regard de l'analyse faite entre la relation pluies et inondations et sur la base des données pluviométriques de la seule station synoptique de Dori sur son bassin versant, les événements pluvieux extrêmes ne sont pas à l'origine des inondations à Dori.



**Photo 3:** Inondation du 21 août 2012 à Dori

Cette situation laisse entrevoir que la crue a été engendrée par les eaux de pluies venant en amont du bassin versant et que la seule station de Dori de coordonnées géographiques 0°2' W et 14°2' se situant en aval de son bassin versant ne suffit pas pour apprécier les quantités de pluies tombées sur tout le bassin. La mauvaise répartition des pluies dans le sahel serait la source de cette montée des eaux de la grande mare.

Certaines études antérieures (Sow, 1996 ; Taupin *et al.*, 1998 ; Taupin 2003) mettent en évidence cette mauvaise répartition de la pluviométrie dans le sahel et une grande variabilité

spatiale et temporelle. Ainsi, les précipitations peuvent subvenir à quelques distances de la ville dans le bassin versant sans qu'il n'y ait de pluie constatée dans la ville et par conséquent la station météorologique dans la ville n'enregistrera pas de pluie. Une densification de réseau de mesure de pluie à l'échelle du bassin versant mettrait en exergue cette corrélation.

Par ailleurs, les inondations à l'intérieur de la ville survenues pendant les évènements pluvieux de type normal sont dues essentiellement aux manques du réseau d'assainissement pluvial. Ainsi, avant l'année 2006, la ville ne comptait que 2550 ml de caniveaux de très petites sections (Betsigui, 2007). Ces caniveaux sont souvent obstrués par le sable et les déchets plastiques empêchant le drainage des eaux en saison des pluies. Avant l'aménagement des mares intérieures, les évènements pluvieux normaux entraînent une stagnation d'eau dans la ville rendant les voies qui étaient pour la plupart en terre impraticables. Les inondations à Dori sont issues, d'une part, de la difficulté d'évacuation des eaux de l'intérieur de la ville due à des pentes très faibles, à la compacité du sol et à une urbanisation insuffisamment planifiée et, d'autre part, du débordement des eaux de la grande mare qui entourent la ville menaçant surtout les quartiers périurbains spontanés et en pleine expansion.

Les enquêtes sur le terrain révèlent que les inondations dues à la stagnation des eaux ont été fortement réduites dans le centre urbain de la ville de Dori après l'année 2013 où la ville a aménagé cinq mares intérieures, construit les voies bitumées et réalisé des caniveaux. En 2016, selon le service technique de la mairie de Dori, la ville de Dori compte 24.88 km de caniveaux essentiellement réalisés dans le cadre des préparatifs des festivités de la 53<sup>ème</sup> anniversaire de l'accession à l'indépendance du Burkina Faso prévues à Dori le 11 décembre 2013, des projets d'assainissement pluvial financés par l'Union Européenne, la Coopération Suisse, la banque africaine de développement dans le cadre du Programme de Réduction de la Pauvreté au niveau Communal (PRPC) ainsi que la réalisation des caniveaux en marge de l'exécution de la voie Dori-Seytenga-frontière du Niger.

En outre, la présence des sols hydromorphes occupant 28 % de la superficie de la ville (SDAU, 2012) limite l'infiltration des eaux de la ville surtout dans les quartiers périphériques proches de la grande mare entraînant une stagnation prolongée des eaux et la faible pente de la topographie de la ville ralentit l'écoulement des eaux pluviales. Les zones hors lotissement se densifient en termes de population et en construction de maisons en Banco constamment exposées aux risques d'inondation par débordement de la mare. Entre les périodes 1996 – 2006 et 2006 - 2016, la superficie de la partie bâtie de la ville de Dori a respectivement doublé et triplé passant de 1.81 km<sup>2</sup> à 3.72 km<sup>2</sup> pour la première période et de 3.72 km<sup>2</sup> à 10.57 km<sup>2</sup> pour la seconde période. En revanche, sur les mêmes périodes considérées, on constate une régression dans la densification de la population passant de 13 158 habitants/km<sup>2</sup> à 5670 habitants/km<sup>2</sup> pour la période de 1996 à 2006 et de 5670 habitants/km<sup>2</sup> à 2657 habitants/km<sup>2</sup> pour la période de 2006 à 2016. La ville est constituée de deux blocs (bloc Ouest et bloc Est) séparée par la grande mare mais c'est le bloc Est qui est souvent menacé de risques d'inondation. Dans ce bloc, l'étalement de l'habitat s'est opéré en direction de la grande mare du côté Sud entre les routes menant vers Sebba et Ouagadougou et également du côté Nord et Est de ce bloc (Fig.14). Ces zones sont essentiellement des zones hors lotissement avec des constructions anarchiques dans les zones inondables ne bénéficiant d'aucun suivi dans l'installation des populations par les autorités locales, manquent des infrastructures routières et de drainage et par conséquent sont plus exposées aux risques d'inondation. Les zones hors lotissement des secteurs 1 et 6 qui n'étaient pas assez habitées avant 2010 ont évolué considérablement suite à l'annonce des autorités de leur intention de faire des lotissements

dans la ville. C'est donc une occasion pour les populations pauvres de se voir attribuer une parcelle d'habitation à l'issue du lotissement en occupant les zones vulnérables.

Une autre cause perçue par la population est l'ensablement de la mare (79 % des réponses des enquêtés). En effet, l'ensablement de la grande mare réduit la capacité de rétention des eaux. Cette réduction du volume de rétention d'eau diminue la fonction de régulation des débits de crue de la grande mare. Plusieurs travaux de recherche ont mis en exergue ce phénomène d'ensablement des retenues d'eau au Burkina Faso. Le tableau 7 montre que le taux de dégradation spécifique varie de 0.03 à 8.4 t/ha/an dans les bassins versants.

**Tableau 7: Mesure du taux spécifique des sédiments à partir de la charge de sédiments en suspension ou de l'étude des réservoirs au Burkina Faso**

Etude de cas et auteurs	Nom du bassin versant, province ou région	Zone climatique et pluviométrie annuelle	Superficie du bassin versant (km <sup>2</sup> )	Taux spécifique de sédimentation (t /ha/ an)
<b>Lamachère (2000)</b>	Gourma (Province de Yatenga) region du nord, Burkina Faso	Zone Soudano-Sahelienne, 460 mm;	44	0.4
<b>Karambiri et al. (2005)</b>	Katchari (Province de Séno); Région du Sahel, Burkina Faso	Zone Sahelienne 512 mm	0.01	4.0-8.4
<b>Dumas et Claude (1977)</b>	Volta Blanc, Région Central, Burkina Faso	Zone Sudano-Sahelienne 400-800 mm	30200	0.07
<b>HER (1981)</b>	Kompienga (Province de Gourma), Region de l'Est, Burkina Faso	Zone Soudano-Sahelienne, 720 – 905 mm	6000	0.7
<b>Gresillon and Reeb (1981)</b>	Bogandé (Gnagna), Ténado (Sanguié), Boromo (Balé), Région de l'Est et du Centre – Ouest, Burkina Faso	Zone Sahélo-Soudanienne et Soudanienne; 724 mm; 900mm; 1000 mm	92	0.6
			38	1.9
			148	3.1
<b>Mietton (1986)</b>	Boulbi (proche de Ouagadougou), Région du Centre, Burkina Faso	Zone Soudano-Sahelienne, 896 mm	102	0.8
<b>Schemengler</b>	Dano, Wahable et Fafo; (province de Ioba), Région du Sud-Ouest, Burkina Faso	Zone Soudanienne, 956 mm	8	4.4
			15	0.8
			24	0.3

Source: Extrait de Schmengler, 2010.

Les études de Guyon *et al.*, (2013) sur d'autres retenues d'eau au Burkina Faso ont également montré que le taux de dégradation spécifique se situe également dans le même ordre de grandeur et que ces sédiments se retrouvent dans les cuvettes des retenues d'eau réduisant ainsi leur capacité de stockage d'eau.

L'estimation de l'érosion hydrique dans les bassins versants par des formules empiriques simplifiées peut être entachée d'erreur considérable au regard de l'estimation faite de certains facteurs. De ce fait, les mesures effectuées sur divers bassins versants au Burkina Faso ne peuvent être généralisées au regard de la large plage des résultats obtenus du taux de sédimentation annuelle (tableau 7). Par conséquent chaque bassin versant doit faire l'objet d'une étude spécifique afin d'obtenir les résultats fiables propres à la dynamique contextuelle du milieu.

A cet effet, une méthode plus précise de l'estimation des pertes de sol par érosion dans le bassin versant et la mesure de la sédimentation dans la cuvette de la grande mare est plus que jamais nécessaire pour estimer adéquatement le niveau de réduction annuelle de sa capacité de stockage afin de mieux évaluer son impact sur les risques d'inondation ainsi que le devenir de la grande mare dans le futur. Il faut un temps relativement long pour mieux apprécier la sédimentation annuelle des cuvettes car, selon Vanmaercke *et al.* (2012) et Vanmaercke *et al.* (2014), il peut résulter une sous-évaluation du taux de sédimentation annuelle si la période de mesure est inférieure à 5 ans. Cette recherche considèrera également l'érosion éolienne tout en prenant en considération l'influence de la dune de sable se trouvant au nord de la mare.

En aval de la grande mare, le chenal d'évacuation de l'exutoire vers le fleuve Niger de la grande mare est restreint et partiellement obstrué par le sable réduisant le débit de transit en période de crue. Cette réduction contribuerait à limiter le débit d'évacuation en période de crue.

De plus, la perception sur les causes des inondations par les populations et les déclarations des autorités locales et organismes à Dori sont en étroite relation avec les études quantitatives menées notamment sur la dynamique spatiale de la modification rapide du sol. Par contre, les pluies extrêmes ne sont pas à l'origine des inondations à Dori mais 71 % des populations estiment que les inondations sont dues aux fortes pluies. Cette perception des populations pourrait être due au fait qu'elles n'observent des inondations que quand il y a des pluies en saison pluvieuse.

La synthèse de ces analyses montre qu'une combinaison de facteurs environnemental, anthropique et climatique est à l'origine des inondations à Dori : la localisation géographique de la ville qui est dans le lit majeur de la grande mare, la faible infiltration de l'eau dans le sol, la faible pente topographique du terrain naturel, l'ensablement de la mare, la non-maîtrise de la périurbanisation et de son assainissement pluvial et la variabilité pluviométrique spatiale et temporelle.

## **5.2 Nature et facteurs de la vulnérabilité de la ville face aux risques d'inondation**

L'indice de la vulnérabilité totale aux inondations de la ville est resté le même en 2006 et en 2016 avec une valeur de 1. Selon la classification de la vulnérabilité d'un système aux inondations (Balica, 2012), la vulnérabilité aux inondations est très élevée pour la ville de Dori.

Les sous-indices de vulnérabilité sociale, économique, environnementale et physique calculés pour la ville de Dori permettent d'expliquer cet indice de vulnérabilité totale. Ces différents sous-indices montrent une analyse globale sans prendre en compte les spécificités des différentes zones vulnérables identifiées. Ces spécificités concernant la nature de la vulnérabilité sont explorées par les enquêtes et le déroulement des outils BRAPA sur le terrain.

### 5.2.1 Vulnérabilité sociale

Sur le plan de la ville toute entière, l'indice de vulnérabilité sociale calculé à partir de l'équation 3 montre une vulnérabilité sociale élevée en 2016 ainsi qu'en 2006. En effet, en analysant les indicateurs utilisés pour ce calcul, il est à remarquer que la densité de la population est plus élevée en 2016 qu'en 2006 respectivement de 630 habitants/km<sup>2</sup> et de 472 habitants/km<sup>2</sup>. Il y a donc une grande variation de 33.47% de cet indicateur entre 2006 et 2016. Cette densité calculée sur la superficie totale de la ville (44.61 km<sup>2</sup>) croit mais en se rapportant sur les espaces bâtis de la ville en 2006 et en 2016, la densité de la population décroît fortement de 5670 habitants/km<sup>2</sup> en 2006 à 2657 habitants/km<sup>2</sup> en 2016 soit une diminution de moitié. Par contre la superficie urbaine a plus que triplé passant de 3.51 km<sup>2</sup> en 2006 à 10.57 km<sup>2</sup> en 2016. Le dénombrement des personnes sur la base de ces densités sur l'espace bâti montre que les populations vivant dans les zones inondables sont de 3447 personnes en 2016 et habitant surtout dans les zones hors lotissement du secteur 1, 2 et 6 de la ville contre 2124 personnes en 2006 habitant surtout dans la zone hors lotissement du secteur 2 et les abords des dépressions naturelles se trouvant à l'intérieure de la ville (mares intérieures non aménagées).

Par ailleurs, la croissance démographique est estimée à 2.9% entre 2006 et 2016 contre une croissance en baisse de 1.19% entre 1996 et 2006 est aussi un autre indicateur de facteur d'exposition qui montre que la ville est plus exposée sur le plan social en 2016 qu'en 2006. Ces deux indicateurs sont des facteurs d'exposition aggravant la vulnérabilité. Par contre, les indicateurs de la susceptibilité tels que le pourcentage des personnes handicapées y compris les personnes de moins de 15 ans et de plus de 65 ans, l'indice du développement humain et la mortalité infantile ont peu varié entre 2006 et 2016.

En se focalisant sur les zones à risque d'inondations à travers les résultats des enquêtes, des interviews et de l'approche BRAPA déroulée sur le terrain, l'élément principal vulnérable à risque d'inondations est la population qui vit dans ces zones (Fig. 19 (a) ; Fig. 19 (b) ; Fig.20). En effet, les populations habitant dans les zones hors lotissement du secteur 1, du secteur 2 et du secteur 6 sont plus vulnérables et sont exposées aux conséquences les plus atroces des risques d'inondations. Le caractère intrinsèque du positionnement géographique de ces zones en bordure de la mare avec une topographie basse en altitude expose leurs habitants aux risques d'inondation par débordement de la mare que ceux qui habitent en zone lotie en altitude plus haute. Cette exposition est plus accentuée si l'inondation survient la nuit dans ce contexte d'inégale répartition spatiale des précipitations qui pourrait drainer les eaux de pluie intense de l'amont du bassin versant vers la ville sans qu'il n'y ait véritablement une pluie intense perceptible dans la ville. Pour cela, plusieurs modes de comportement des populations exposées aux risques d'inondations explorés par enquête terrain à travers l'expérience vécue des inondations passées (Fig.21) montrent la nature de la vulnérabilité sociale des différentes zones vulnérables de la ville. Ainsi, les épisodes d'inondations, considérés par 49 % des enquêtés comme une fatalité, affectent sérieusement le psychique des populations se manifestant par un sentiment de désolation et des séparations temporaires de certains ménages affectés dans la recherche d'abris soit dans les salles de classe ou dans les familles d'accueil. Les populations de la zone hors lotissement du secteur 6, même si parfois leurs maisons sont hors de l'eau à travers de multiples remblais effectués par les ménages, elles sont contraintes à marcher dans l'eau avant de rejoindre le centre-ville par manque de voies de circulation dégagées et englouties sous les eaux dans cette zone. Elles sont donc exposées aux multiples dangers que peut présenter le fond de l'eau boueuse stagnée.

Les populations de la zone hors lotissement du secteur 2 sont véritablement attachées à leur zone malgré leur exposition aux risques d'inondations. Elles attachent de la valeur culturelle et historique à cette zone car la ville de Dori signifiant « *de l'autre côté de la mare* » naissait par l'installation des ancêtres installés au secteur 2 non loin du palais royal (SDAU Dori, 2012). Ces facteurs socio-culturels, qualifiés par Thouret et D'Ercole (1996) d'ordres cognitifs et perceptifs permettent de comprendre le comportement individuel et collectif des populations de la zone hors lotissement du secteur 2 face aux risques d'inondation qui souhaitent une restructuration de leur zone que de la quitter pour une réinstallation ailleurs dans la ville en luttant constamment contre les inondations au moyen des mesures endogènes (Fig.22 et 23) . Par ailleurs, le secteur 2, étant saturé depuis 1996 et limité par la grande mare ne connaît plus d'expansion spatiale mais sa densification augmente sa vulnérabilité sociale. Certains habitants des zones hors lotissement du secteur 6 et du secteur 1 viennent du secteur 2. Ces habitants affirment avoir quitté le centre-ville (zone lotie) à cause de sa densification et aussi de pouvoir être indépendant vis-à-vis de la grande famille afin d'éviter d'éventuels problèmes familiaux d'habitation. En outre, la collectivité territoriale de Dori avait annoncé en 2009, avant la suspension provisoire des opérations de lotissement de mener des opérations de lotissement dans la zone hors lotissement du secteur 6 en vue de sa viabilisation. Conscient de l'enjeu et des opportunités que cette opération présente pour les plus pauvres, la construction des maisons en banco dans ces zones inondables s'est accélérée (Fig.14) afin d'être recensées pour pouvoir bénéficier d'une parcelle. Le critère d'attribution privilégie les premiers occupants qui vivent dans la zone. Cette situation a conduit à l'accélération de l'occupation des terrains dans les zones hors lotissement du secteur 6. Ce système social d'attribution de parcelle a contribué à exposer certains groupes à une situation de vulnérabilité plus élevée. Ainsi, comme le souligne Cannon (1994), le système social et les relations de pouvoirs inhérents peuvent conduire à une distribution inégale de l'exposition aux risques et un accès inégal d'opportunité. Cette inégale exposition et d'opportunité contraint les populations pauvres à s'installer dans les zones les plus exposées aux risques.

La dynamique démographique, les relations entre les communautés, l'attachement aux valeurs socio-culturelles, la qualité de la vie et le statut socio-économique permettent de comprendre la spécificité de la nature de la vulnérabilité sociale des populations exposées aux inondations dans les zones à risque dans la ville de Dori. D'autres études (Rufat *et al*, 2015 ; Scheuer *et al*, 2010 ; Mara 2010) ont également démontré la pertinence de l'utilisation de ces indicateurs sociaux les plus importants et leurs interrelations dans l'analyse et la compréhension de la vulnérabilité sociale dans les villes à travers diverses méthodes au regard de la spécificité des différents contextes mais ils doivent être complétés par les enquêtes terrains pour mieux percevoir la dynamique évolutive de la vulnérabilité aux inondations.

### **5.2.2 Vulnérabilité économique**

L'indice de la vulnérabilité économique de la ville de Dori calculé à partir de l'équation 4 est de 1 en 2006 comme en 2016 et se traduit par une vulnérabilité économique très élevée de la ville de Dori. En effet, la pauvreté qui est une donnée implicite dans l'indicateur de l'indice du développement humain à travers le produit intérieur brut est la première cause de la vulnérabilité économique du Burkina Faso avec 46.4 % des populations qui vivent en dessous du seuil de pauvreté évalué à 165 \$ US en 2004 pour un PIB par habitant de 350\$ US (PANA Burkina, 2007).

La ville de Dori, avec l'appui financier des partenaires internationaux et du gouvernement du Burkina Faso, a réussi à augmenter ses investissements entre 2009 et 2013 dans la réalisation des ouvrages de retenues d'eau à l'intérieur de la ville. Ce qui a permis d'aménager cinq mares intérieures mises en cascade augmentant la capacité de stockage d'eau et participant à



la régulation des débits en jouant un rôle de tampon avant d'évacuer l'excédent vers la grande mare. Il y a eu également durant cette même période une densification du réseau de drainage et de voirie (voies bitumées) à l'intérieur de la ville. Ce qui a contribué à réduire sa vulnérabilité économique. En revanche cette réduction de la vulnérabilité économique à l'intérieur de la ville a été contre balancée par les besoins plus importants d'ouvrages d'assainissement de grande envergure au regard de sa rapide périurbanisation à partir de 2010 qui maintient toujours la vulnérabilité économique de la ville dans une situation toujours alarmante. Le contact de la ville à la mare qui n'était que de 6.7 km en 2006 a évolué à 10.22 km en 2016. Toute cette distance de contact nécessite une protection contre le risque de débordement des eaux de la mare avec un budget bien plus élevé en 2016 qu'en 2006. De ce fait, la ville a plus besoin de financement pour faire face à cette rapide croissance urbaine qui met beaucoup plus en contact les populations avec les risques de débordement des eaux de la grande mare les exposant davantage aux risques d'inondation. La ville est devenue très vulnérable économiquement car cet élan d'investissement s'est ralenti considérablement en fin de l'année 2014. Cela est dû à une conjonction de facteurs à savoir la disparition du maire de la ville de Dori, très dévoué au développement de la ville ; le départ des agents qualifiés du service technique de la mairie ; la situation politique globale du Burkina Faso marquée par l'insurrection populaire des 30 et 31 octobre 2014 avec le départ du président Blaise Compaoré et le putsch manqué de septembre 2015.

En ce qui concerne les spécificités des zones à risque d'inondation identifiées dans la ville, la plupart des habitants dans ces zones inondables sont pauvres. Leur situation de pauvreté économique, caractérisée essentiellement par le sous-emploi constaté dans la plupart des villes au Burkina Faso (Filmer et Fox, 2014 ; PNDES, 2016), ne les permet pas d'avoir accès aux zones hors lotissement et non inondables pour achat car ces dernières coûtent plus chères que les zones hors lotissement inondables. L'inégale répartition des richesses accentue cet état de pauvreté entre les ménages. De plus, l'avènement de l'exploitation des ressources minières notamment l'or dans le sahel a transformé la ville de Dori en une ville chère dans laquelle les pauvres s'appauvrissent davantage et ne peuvent quasiment plus s'offrir des parcelles dans les zones loties qui sont souvent achetées à fort coût par les travailleurs des mines ou les orpailleurs. Cette situation amène la majeure partie des populations pauvres à se replier sur les zones hors lotissement avec des constructions en banco espérant un jour bénéficier des parcelles que la commune leur attribuera au cours des éventuelles opérations de lotissement. Les maisons en banco et leurs contenus (vivres, matériels et meubles) sont les éléments à risque les plus exposés économiquement dans ces zones hors lotissement. La pauvreté est donc un autre facteur aggravant cette exposition des populations aux inondations dans leur incapacité économique et financière à trouver une parcelle d'habitation et un logement en matériaux définitifs ou semi dur dans les zones non inondables de la ville.

### **5.2.3 Vulnérabilité environnementale**

Le sous-indice de vulnérabilité environnementale calculé à partir de l'équation 5 montre que la vulnérabilité environnementale est faible à Dori mais la valeur de ce sous-indice caractéristique de la ville de Dori en 2016 (0.02) est légèrement plus élevée que celle caractérisant la ville de Dori en 2006 (0.013). En effet, cette faible vulnérabilité environnementale est due à une faible pluviométrie et une évaporation élevée.

La valeur du sous-indice de la vulnérabilité environnementale légèrement supérieure pour l'année 2016 est due à la croissance urbaine de 11% l'année entre 2006 et 2016 contre une croissance urbaine de 7.4% l'année plus faible entre 1996 et 2006. La valeur élevée de cet indicateur est un facteur d'exposition accentuant la vulnérabilité environnementale de la ville en 2016. Cette expansion non maîtrisée a conduit à l'occupation irrationnelle des terrains ainsi

que les modifications d'écoulement par les constructions anarchiques du bâti accentuant la vulnérabilité environnementale des zones hors lotissement de la ville de Dori notamment la zone hors lotissement du secteur 6. De nombreuses études ont également mis en évidence l'impact des modifications dans l'occupation du sol (Beckers *et al.*, 2013 ; Metzger *et al.*, 2006 ; Tang *et al.*, 2005) sur la vulnérabilité environnementale et de la périurbanisation spontanée et densifiée (Tchékoté et Ngouanet, 2015 ; Guigma *et al.*, 2015) comme facteur aggravant la vulnérabilité environnementale des villes face aux risques d'inondation.

Sur le plan sanitaire, la contamination des eaux de la mare par des boues de vidange issues des latrines traditionnelles des ménages de ces zones hors lotissement expose ces populations aux risques des maladies d'origine hydrique au regard du contact permanent que ces populations entretiennent avec ces eaux contaminées par les matières fécales pendant les inondations.

#### **5.2.4 Vulnérabilité physique**

Sur le plan physique, le sous-indice de la vulnérabilité physique (Eq.6) mettant en relation les indicateurs physiques montre qu'il est de 0.602 en 2006 et de 0.851 en 2016. La vulnérabilité physique de la ville est élevée en 2006 et très élevée en 2016.

En effet, parmi les indicateurs physiques pris en considération dans le sous-indice de la vulnérabilité, seul le contact de la ville avec la grande mare a significativement évolué de 6.7 km en 2006 à 10.22 km en 2016. Cela est dû à l'évolution de la ville vers le côté Ouest de la grande mare. Bien que ce bloc Ouest de la ville soit en contact avec la grande mare, il a l'avantage d'être un peu plus en hauteur par rapport au bloc de l'Est limitant ainsi sa submersion par débordement des eaux de la grande mare.

Les aménagements des mares intérieures de la ville ont contribué à augmenter la capacité de rétention des eaux à l'intérieur de la ville réduisant ainsi la vulnérabilité physique mais le rapportant à l'immense quantité de rétention de volume d'eau par la grande mare, ces aménagements s'avèrent insuffisants. Pour cela l'indicateur mettant en évidence le volume d'eau retenu par les mares sur le volume d'eau ruisselé a très peu évolué de 0.63 en 2006 à 0.68 en 2016. Tout l'enjeu se situe donc dans l'augmentation de la capacité de la grande mare et la protection de son périmètre pour réduire la vulnérabilité physique de la ville de Dori.

En ce qui concerne, la zone hors lotissement du secteur 6 qui est une zone où l'eau après avoir débordé par une montée lente des eaux de la grande mare demeure pour longtemps pendant la saison pluvieuse. L'évacuation des eaux est assez lente à cause de la faible pente topographique et la faible infiltration des eaux dans le sol liée par des intermittences temporelles des précipitations au sahel (Desconnets *et al.*, 1996) accentueraient la persistance de cette stagnation des eaux. Au niveau de la zone du secteur 1, le débordement de la mare inonde cette zone à travers les brèches entraînant des stagnations d'eau pendant longtemps dans les zones à faible altimétrie par rapport au niveau de la côte de ces brèches. Seuls les phénomènes d'infiltration et surtout de l'évaporation assèchent ces eaux.

### **5.3 Proposition des mesures de réduction de la vulnérabilité aux risques d'inondation**

Au regard de l'analyse faite des origines des inondations, de la vulnérabilité de la ville de Dori face aux risques d'inondation et malgré les efforts entrepris par les autorités locales dans l'aménagement des mares intérieures et la réalisation des caniveaux pour réduire les risques d'inondation dus à la stagnation des eaux dans la ville, la survenue d'inondations par débordement de la grande mare dans le futur est de toute évidence possible. Les mesures nécessaires de mitigations par des approches mixtes intégrant à la fois la sensibilisation,

l'évitement, l'atténuation et l'assistance (Serre, 2011) sont à entreprendre tant au niveau individuel qu'au niveau communautaire en tenant compte du contexte et des spécificités de la ville de Dori. En d'autres termes, il s'agit d'une combinaison d'actions de préparation, de prévention et de protection. Les mesures de mitigations intègrent, non seulement, la réduction des risques d'inondation, mais aussi, la valorisation de la grande mare en termes de ressources naturelles au regard des multiples usages importants (Fig.3) qu'elle offre à la ville. En prenant en compte les propositions formulées par les populations, les autorités locales et les organismes présents dans la ville et en se référant aux analyses faites sur les causes des inondations dans la ville de Dori lors de cette étude ainsi qu'à l'importance de la grande mare, nous encourageons le renforcement des bonnes mesures endogènes et nous formulons des propositions de mesures structurelles et non-structurelles pour réduire la vulnérabilité aux risques d'inondation dans la ville de Dori.

### **5.3.1 Les mesures endogènes**

Les mesures endogènes sont des mesures déjà développées au niveau individuel ou ménage par les populations locales leur permettant de faire face aux inondations (Fig.22). En effet, les bonnes mesures sont à valoriser et à encourager en attendant la mise en place des mesures structurelles de grande envergure venant de la collectivité locale et ses partenaires qui pourraient prendre du temps pour la mobilisation des ressources financières. Il s'agit de :

- la protection des maisons par le remblai de la cour et par des petits endiguements au moyen de sacs remplis de sable aux alentours des maisons ;
- l'entraide et le maintien d'une bonne cohésion sociale pour se porter assistance et pour organiser les implantations des maisons afin de dégager les voies pour l'évacuation des eaux dans les zones hors lotissement ;
- le recours des ménages en cas d'inondations aux abris déjà utilisés (écoles et familles d'accueil) ;

### **5.3.2 Mesures non structurelles**

Ces mesures rassemblent tous les grands ensembles de mesures de prévention et de préparation des populations :

- matérialiser la limite des habitations à ne pas franchir vers la grande mare ;
- élaborer un plan de réinstallation pour les ménages qui se trouveraient au-delà de la limite matérialisée par la digue de protection ;
- encadrer les activités de pêches, de fabrication de brique en terre, de maraichage, de pâturage et d'abreuvement des animaux utilisant les ressources naturelles de la grande mare par des textes règlementaires pour une utilisation efficace ;
- faire appliquer la loi sur la construction des habitations dans la ville ;
- sensibiliser la population à coopérer, à adhérer et à participer aux efforts de réduction de la vulnérabilité aux risques d'inondation ;
- sensibiliser les populations à adopter les constructions durables et moins vulnérables aux inondations dans les zones dédiées ;
- renforcer les capacités du service technique municipal en personnel qualifié, en équipement et en formation en relation avec la gestion des risques d'inondation ;
- augmenter la ligne budgétaire assainissement de la commune afin de permettre un curage régulier des caniveaux pour un meilleur fonctionnement pendant les saisons des pluies.

### 5.3.3 Mesures structurelles

Ces mesures regroupent toutes les mesures de protection et les mesures mettant en valeur les atouts de la grande mare afin de préserver son importance dans la vie des populations de Dori. Il s'agit de :

- surcreuser le lit mineur de la grande mare sur environ une largeur de 100 m pour augmenter sa capacité de rétention. Les abords de la partie excavée seront protégés par des diguettes filtrantes pour limiter son envasement. Les talus seront stabilisés par des perrés maçonnés et le fond sera imperméabilisé si la couche d'assise n'assure pas l'imperméabilité ;
- réaliser une digue de protection autour de la grande mare pour protéger les habitants vivant à ses abords contre son débordement ;
- faire le remblai des zones inondables en fonction de la topographie du terrain naturel par les déblais issus de l'opération de l'excavation de la grande mare ;
- réaliser des caniveaux pour compléter le dispositif de drainage existant ;
- canaliser les entrées d'eau dans la grande mare. Ces canaux d'entrée d'eau seront munis des bassins de piège à sable à leurs entrées afin de limiter le comblement de la grande mare par charriage d'éléments solides. Ces bassins de piège à sable seront curés en saison sèche quand ils seront remplis de sédiments.
- élargir le chenal en aval de la grande mare en excavant le sable qui a obstrué son lit mineur afin de faciliter l'écoulement rapide d'un débit important des eaux en temps de crue.

De plus, les abreuvoirs, les couloirs d'accès aux animaux à la grande mare, les plateformes de pêche et de lessive ainsi que les espaces de maraichage devront être bien délimités et aménagés pour faciliter l'utilisation des ressources de la grande mare par les populations et les animaux.

Toutes les actions proposées contribuant à accroître la résilience de la ville permettront de réduire la vulnérabilité de la ville aux inondations. Ainsi, la ville assurera mieux sa fonction de transition démographique tout en ajustant les mesures en fonction des nouveaux défis qui apparaîtront dans l'avenir dans ce contexte rapide de croissance urbaine et démographique. L'accompagnement et l'engagement de la population est aussi nécessaire afin de garantir une appropriation des ouvrages à réaliser.

## 6 Conclusions et perspectives

---

L'étude de l'évolution des précipitations sur la période de 1950 à 2013 de la station de Dori mettant en relation les pluies et les inondations à Dori montre que les inondations ne sont pas créées par les pluies extrêmes. Elles sont dues à une combinaison des causes environnementale, climatique et particulièrement anthropique à la lumière du spectre des événements engendrant les inondations. La localisation géographique de la ville se situant dans le lit majeur de la grande mare, la faible infiltration de l'eau dans le sol, la faible pente topographique du terrain naturel, l'ensablement de la grande mare réduisant sa capacité de stockage, la non-maîtrise de la croissance urbaine et surtout de la périurbanisation et de son assainissement pluvial ainsi que la variabilité spatio-temporelle des précipitations sont des principaux facteurs qui expliquent les causes des inondations dans la ville de Dori.

La connaissance des causes des inondations et des éléments explicatifs de la vulnérabilité des différents éléments à risque dans la ville est très fondamentale pour réduire efficacement la vulnérabilité à travers des mesures appropriées. Les composantes sociale, économique, environnementale et physique de la vulnérabilité ont été analysées avec une attention particulière afin d'apporter une réponse contextuelle et adéquate qui puisse préserver les grands enjeux bénéfiques de la ville.

Le couplage de plus d'une méthode dans l'analyse de la vulnérabilité donne un avantage de comprendre, au-delà des indicateurs globaux entrant dans la détermination de l'indice de la vulnérabilité de la ville, les spécificités des zones à risque et les stratégies individuelles et collectives de réponses face aux inondations.

La perception du risque d'inondation par les populations met en évidence une réduction de la vulnérabilité à l'intérieur de la ville (zone lotie) mais les efforts entrepris par les autorités pour faire des aménagements bien qu'importants ne sont pas proportionnels à l'accroissement démographique galopant et à la croissance urbaine rapide de la ville de Dori accentuée par une rapide périurbanisation ces dernières années pour une réduction conséquente de la vulnérabilité aux risques d'inondation. L'effort de réduction de la vulnérabilité à l'intérieur de la ville s'est confronté à un accroissement de la vulnérabilité à sa périphérie par le développement accru des zones d'habitation hors lotissement à risque d'inondations par débordement de la grande mare.

Bien qu'il soit important de distinguer les composantes sociale, économique, environnementale et physique pour une analyse fine de la vulnérabilité d'un système, leur interdépendance et leur influence mutuelle sur les différents éléments à risque d'inondations montrent qu'il faut comprendre la vulnérabilité des villes aux inondations dans une approche systémique. L'indice de vulnérabilité donne une orientation aux décideurs pour des actions de résilience à mener mais ne les informe pas des spécificités de la vulnérabilité des zones les plus exposées. Les enquêtes et l'approche BRAPA adaptée aux risques d'inondation menées sur le terrain ont mieux exploré ces spécificités afin de cibler les interventions qui seront appropriées pour les populations à risque tout en sauvegardant leurs différents intérêts d'utilisation de la ressource en eau de la grande mare.

Les villes moyennes manquent de données en particulier sur les inondations et cela a été constaté lors de cette étude où les cas d'inondations rapportés n'ont pas été suffisamment documentés. De plus, certaines données utilisées pour les indicateurs entrant dans le calcul de l'indice de la vulnérabilité ont été approximatives car faute de données disponibles pour la ville, les données relatives à sa province ou à sa région ont été utilisées. Il est, par conséquent,

plus qu'important de prendre en considération ces insuffisances en créant dans chaque ville une base de données relatant les évènements d'inondations.

L'analyse présentée dans cette étude pourrait encore être plus enrichie par une analyse plus fine du phénomène de comblement de la grande mare afin de déterminer son impact sur le risque d'inondation dans la ville de Dori. Une analyse simultanée de l'évolution des pluies à des pas de temps horaires sur l'ensemble du bassin versant avec un réseau de pluviomètres plus dense et l'influence de l'inégale répartition spatio-temporelle des précipitations sur le bassin versant pourrait permettre d'aboutir à une pluviométrie seuil pour laquelle les crues provoqueraient les inondations par débordement dans la ville de Dori. Ainsi un système d'alerte précoce pourrait être envisagé si nécessaire pour gérer les risques résiduels d'inondations après la mise en œuvre des mesures de réduction de la vulnérabilité.

## Références bibliographiques

---

- Abou A., 1999. Variabilité de l'évapotranspiration en Afrique de l'Ouest. Mémoire de fin d'étude ; Ecole Inter Etat de l'Equipement Rural, Burkina Faso. 80 p.
- Adger V., 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change* 16. 268–281.
- Adhikari P., De Beurs K.M., 2017. Growth in urban extent and allometric analysis of West African cities. *Journal of Land Use Science*, 12 (2-3). 105-124.
- Ardoin-Bardin S., 2004. Variabilité hydro climatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne, Thèse de doctorat en sciences de la terre et de l'eau de l'université Montpellier II, 440 p.
- Balica S.F, Wright N.G., 2009. A network of knowledge on applying an indicator based methodology for minimizing flood vulnerability. *HydrolProc* 23. 2983-2986.
- Balica S.F. 2007. Development and Application of Flood Vulnerability Indices for Various Spatial Scales. MSc Thesis. UNESCO-IHE. Institute for Water Education.
- Balica S.F. 2012. Applying the flood vulnerability index as a knowledge base for flood risk assessment, Doctorate thesis. Delft University. 170 p.
- Balica S.F., Wright N.G., 2010. Reducing the complexity of the flood vulnerability index, *Environmental Hazards*, 9:4, 321-339. <http://dx.doi.org/10.3763/ehaz.2010.0043>.
- Barroca B., Hubert G., 2008. « Urbaniser les zones inondables, est-ce concevable ? », *Développement durable et territoires*. Catastrophes et territoires. Dossier 11 | 2008.
- Beckers A., Dewals B., Erpicum S., Dujardin S., Detrembleur S., Teller J., Piroton M., Archambeau P., 2013. Contribution of land use changes to future flood damage along the river Meuse in the Walloon region. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 13, 2301–2318.
- Betsigui M. B., 2007. Assainissement pluvial utilitaire de la ville de Dori : Prise en compte des techniques alternatives, des usages de l'eau et des potentialités écologiques des mares existantes dans la gestion des eaux pluviales : mémoire de fin d'étude, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement. 104 p.
- Birkmann J. (ed.), 2006a. Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies. United Nations University Press, New York.
- Boyer J.F. 1998. Khronostat-Statistical time series analyses software, Montpellier, UMR, Hydrosiences, IRD-Maison des Sciences de l'Eau. <http://www.hydrosiences.org/spip.php?article1000>.
- Brahy V., S. Lange, 2007. Les débits, les crues et les étiages des cours d'eau. Rapport analytique sur l'état de l'environnement Wallon 2006-2007. Cellule Etat de l'environnement Wallon, MRW-DGRNE-NAMUR, 2007, 433-445. <http://environnement.wallonie.be>
- Cannon T., 1994. Vulnerability Analysis and The Explanation Of 'Natural' Disasters. University of Greenwich, London.

Canon T., 2000. Vulnerability Analysis and Disasters In Parker D.J (Ed.), Flood, Routledge, New York. 45-55.

Cardona O. D., 2003. A need for rethinking the concept of vulnerability and risk from a holistic perspective: A necessary review and criticism for effective risk management. In G. Bankoff, G. Frerks, & D. Hilhorst, Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People (p. Chapter 3). London: Earthscan Publishers.

Casse C., Gosset M., Peugeot C., Pedinotti V., Boone A., Tanimoun B.A., Decharme B., 2015. Potential of satellite rainfall products to predict Niger River flood events in Niamey. Atmospheric Research, 163. 162-176.

Casse C., Gosset M., Vischel T., Quantin G., Tanimoun B.A., 2016. Model-based study of the role of rainfall and land use-land cover in the changes in the occurrence and intensity of Niger red floods in Niamey between 1953 and 2012. Hydrology and Earth System Sciences, 20 (7). 2841-2859.

Chastan B., Gilard O., Givone P., Oberlin G., 1995. La prise en compte du risque d'inondation. Ing\_eneries - E A T, IRSTEA \_edition 1995. 13 - 20. <hal-00468043>.

Cutter S. L., 1996. Vulnerability to environmental hazards. Progress in Human Geography. 529-539.

De Leon V., 2006. Vulnerability, a conceptual and methodological review, UNU-EHS, SOURCE no4/2006. Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies, Chapter 3, J. Birkmann (ed.). United Nations University Press, New York.

D'Ercole R., Thouret J.-C., Dollfus O., Asté J.-P., 1994. Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse. In: Revue de géographie alpine, tome 82, n°4. 87-96.

Desconnets J.C., Galle S., Leduc C., Peugeot C., 1996. Les processus de redistribution des eaux en région sahélienne: l'hydrologie dans l'expérience Hapex-Sahel. L'hydrologie tropicale: géoscience et outil pour le développement (Actes de la conférence de Paris, mai 1995) IAHS Publ. no. 238, 125-137.

Dinh Q., Balica S., Popescu I., Jonoski A., 2012. Climate change impact on flood hazard vulnerability and risk of the Long Xuyen Quadrangle in the Mekong Delta. International Journal of River Basin Management 10:1, 103 - 120.

Diop A., Agossou S.A.N., Nyassogbo K.G ; 2010. Systèmes spatiaux et structures régionales en Afrique. Vol. 9 de collection maîtrise de l'espace et développement. Editions Karthala. pp 198. ISBN 2811103732, 9782811103736.

Dumas R., Claude J., 1977. Mesures des transports solides de la Volta Blanche au site de Niaogho. Campagne 1977, ORSTROM, Ouagadougou.

Enquête Intégrale sur les Conditions de Vie des Ménages-EICVM, INSD 2009-2010. Burkina Faso



Fekete A., Tzavella K., Baumhauer R., 2017. Spatial exposure aspects contributing to vulnerability and resilience assessments of urban critical infrastructure in a flood and blackout context. *Natural Hazards* 86:S151–S176.

Filmer D., Fox L., 2014. L'emploi des jeunes en Afrique subsaharienne. Série Forum pour le Développement de l'Afrique. Washington, DC : Banque mondiale. Licence : Creative Commons Attribution CC BY 3.0.

Folke C., Carpenter S.R., Elmqvist T., Gunderson L., Holling C.S., Walker B., 2002. Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformation, *Ambio*, 31, 5, 437-440.

Fuchs S., 2009. Susceptibility versus resilience to mountain hazards in Austria—paradigms of vulnerability revisited. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 9. 337–352.

Gresillon J. M., Reeb J., 1981. Contribution à l'étude des petits barrages. Eléments pour l'appréciation des dépôts solides dans les barrages de Haute-Volta. In *Bulletin technique n°5 de l'EIER*. Ouagadougou, Burkina Faso. Vol. 6p.

Guigma L., D'Hautefeuille B.M., Pierre Louis L., 2015. Gestion de l'étalement urbain informel à Ouagadougou : le renoncement des politiques publiques? In *Territoires périurbains. Développement, enjeux et perspectives dans les pays du Sud*. Presses agronomiques de Gembloux : 2015. 271-280.

Gumbel E.J., 1958. *Statistics of extremes*, Columbia University Press, New York, 371 p.

Guyon F., Hallot E., De Thysebaert D., Diarra B.G., Zangré B.V.C.A, 2013. Estimation de la sédimentation des retenues de Kierma, Wedbila et Mogtedo.

Hangnon H., De Longueville F., Ozer P., 2015. Précipitations extrêmes et inondations à Ouagadougou : Quand le développement urbain est mal maîtrisé...XXVIII<sup>e</sup> colloque de l'association internationale de climatologie, Liège 2015.

Hebb A., Mortsch L., 2007. *Floods: Mapping Vulnerability in the Upper Thames Watershed under a Changing Climate*. CFCAS.

H.E.R. Service Hydrologie, 1981. *Etude hydrologique de la Kompienga*. Campagne de mesures.

Houghton J, Y., Ding T., Griggs D.J., Noguer M., Van der, Linden P.J, Xiaosu D., Johnson C.A., 2001. The Scientific Basis, Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of IPCC. *Climat Change 2001*. Cambridge, Cambridge University press, UK, 94 p.

Hountondji Y.C., De Longueville F., Ozer P., 2011. Trends in extreme rainfall events in Benin (West Africa), 1960-2000. *Proceedings of the 1st International Conference on Energy, Environment and Climate Change*, 26-27 August 2011, Ho Chi Minh City, Vietnam. <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/96112>.

Karambiri H., Ribolzi O., 2005. Identification of sediment sources in a small grazed Sahelian catchment, Burkina Faso. In: Walling DE, Horowitz A (eds) *Sediment Budgets 1*. IAHS Press, Wallingford, IAHS-AISH P 291. 93-101.

Karmaoui A., Balica S.F., Messouli M., 2016. Analysis of applicability of flood vulnerability index in Pre-Saharan region, a pilot study to assess flood in Southern Morocco. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*, doi:10.5194/nhess-2016-96, 2016.

Manuscript under review for journal *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*

Kha D.D., Anh T.N., Son T.N., 2011. Flood vulnerability assessment of downstream area in Thach Han river basin, Quang Tri province. Hanoi University of Science, Vietnam National University, Hanoi.

Lall S.-V., Deichmann U., 2010. *Density and disasters : Economics of urban hazard risk*. Published by Oxford University Press on behalf of International Bank for Reconstruction and Development/ The World Bank, 27: 74-105.

Lamachere J. M., 2000. Transport solide à l'échelle d'un bassin versant sahélien, Région de Bidi, Burkina Faso : MSE Hydrologie IRD. Vol. 112p.

Léone F., Vine F., Meschinet De Richemond N., 2010. *Aléas naturels et gestion des risques*. 1<sup>ère</sup> édition. Paris: Presse universitaire de France, 284p.

Lhomme S., 2009. Systemic approach to model urban environment and urban linear Infrastructures. Use of safety methods to assess the vulnerability of the urban system and sub-systems Paris: M.Sc. student, Ecole Nationale des Sciences Géographiques, Marne la Vallée, France.

Luers A.L., 2005. The surface of vulnerability: an analytical framework for examining environmental change. *Global Environmental Change* 15, 214-223.

Luers A.L., Lobell D.B., Sklar L.S., Addams C.L., Matson P.A., 2003. A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico. *Global Environmental Change* 13. 255–267.

Mara F., 2010. Développement et analyse des critères de vulnérabilité des populations sahéliennes face à la variabilité du climat : le cas de la ressource en eau dans la vallée de la Sirba au Burkina Faso. Thèse de doctorat, Université de Québec à Montréal.

McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, 17–22 January 1993. Boston, American Meteorological Society, 179–184 in *Une méthodologie pour caractériser le climat et la sécheresse d'une région*, Editions Le manuscrit, ISBN 9782748151671.

Messner F., Meyer V., 2006. Flood damage, vulnerability and risk perception—challenges for flood damage research. In: Schanze J, Zeman E, Marsalek J (eds) *Flood risk management—hazards, vulnerability and mitigation measures*. Springer, 149–167.

Metzger M.J., Rounsevell M.D.A., Acosta-Michlik L., Leemans R., Schröter D., 2006. The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114. 69–85.

Mietton M., 1988. Dynamique de l'interface lithosphère-atmosphère au Burkina Faso: l'érosion en zone de savane. Thèse d'Etat de Géographie. Grenoble.

- Mohymont B., Demarée G.-R., 2006. Courbes intensité–durée–fréquence des précipitations à Yangambi, Congo, au moyen de différents modèles de type Montana. *Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques*, 51. 239-253.
- Niang D., 2006. Fonctionnement hydrique de différents types de placages sableux dans le sahel burkinabé. Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. Suisse.
- O'Keefe P., Westgate K., Wisner B., 1976. «Taking the Naturalness out of Disasters». *Nature*, vol. 260 no 5552. 566-567.
- Ould Sidi Cheikh M.A., Ozer P., Ozer A., 2007. Risques d'inondations dans la ville de Nouakchott (Mauritanie). *Geo-Eco-Trop*, 31 (1). 19-42.
- Ozer P., Laminou M.O., Tidjani A.D., Djaby B., De Longueville F., 2016. Evolution récente des extrêmes pluviométriques au Niger (1950-2014). Université de Liège.
- Ozer P., Perrin D., 2014. Eau et changement climatique. Tendances et perceptions en Afrique de l'Ouest. Colloque international en hommage à Gérard Moguedet, presse universitaire d'Angers, p. 227. Infrastructures <http://hdl.handle.net/2268/156390>
- Pettitt A.N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, 28.126-135.
- Plan Communal de Développement de la commune de Dori, 2016.
- Plan National de Développement Economique et Social/PNDES 2016-2020 - Burkina Faso
- Plan national multi risques de préparation et de réponse aux catastrophes, 2008. Gouvernement du Burkina Faso
- Programme d'Action National d'Adaptation à la variabilité et aux changements climatiques /PANA Du Burkina Faso, 2007. Ministère de l'Environnement et de Cadre de Vie.
- 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. 470-486. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.
- Salami R.O., Von Meding J.K., Giggins H., 2017. Urban settlements' vulnerability to flood risks in African cities: A conceptual framework, *Jàmá: Journal of Disaster Risk Studies* 9(1), a370. <https://doi.org/10.4102/jamba.v9i1.370>.
- Samuels P., Gouldby B., Klijn F., Messner F., van Os A., Sayers P., Schanze J., Udale-Clarke H., 2009. Language of risk—project definitions. Floodsite project report T32-04-01, second edition.
- Schéma Directeur d'Aménagement et de l'Urbanisme/SDAU, 2012.
- Scheuer S., Haase D., Meyer V., 2010. Exploring multicriteria flood vulnerability by integrating economic, social and ecological dimensions of flood risk and coping capacity: from a starting point view towards an end point view of vulnerability. *Nat Hazards* (2011) 58:731–751. DOI 10.1007/s11069-010-9666-7.

Schmengler A.C., 2010. Modeling soil erosion and reservoir sedimentation at hillslope and catchment scale in semi-arid Burkina Faso. Doctorate thesis. Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn.

Sene S., Ozer P., 2002. Evolution pluviométrique et relation inondations-événements pluvieux aux sénégal, Bulletin de la Société géographique de Liège, 42, 2002, 27-33.

Serre D., 2011. La ville résiliente aux inondations méthodes et outils d'évaluation. Architecture, aménagement de l'espace. Université Paris-Est.

Sighomnou D., Descroix, L., Genthon, P., Mahé, G., Moussa, I.B., Gautier, E., Mamadou, I., Sow, C.S., 1996. Study of the spatial variability of rainfall in the Sahelian region [Etude de la variabilité spatiale de la pluviométrie en région sahélienne]. IAHS-AISH Publication, 238. 67-75.

Smit, B., Wandel, J., 2006. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change* 16 (3), 282-292.

Spinoni J., Naumann G., Carrao H., Barbosa P., Vogt J., 2013. World drought frequency, duration, and severity for 1951-2010. *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.3875.

Tang Z., Engel B.A, Pijanowski B.C., Lim K.J., 2005. Forecasting land use change and its environmental impact at a watershed scale. *Journal of Environmental Management* 76. 35-45

Taupin J.D, Amani A., Lebel T., 1998. variabilité spatiale des pluies au Sahel: une question d'échelles. *Water Resources Variability in Africa during the XXth Century* (Proceedings of the Abidjan'98 Conference held at Abidjan, Cote d'Ivoire, November 1998).

Taupin J.D., 2003. Précision de l'estimation des précipitations au Sahel selon la densité du réseau d'observation pluviométrique. *C. R. Geoscience* 335. 215-225.

Tchékoté H. et Ngouanet C., 2015. Périurbanisation anarchique et problématique de l'aménagement du territoire dans le périurbain de Yaoundé. In *Territoires périurbains. Développement, enjeux et perspectives dans les pays du Sud*. Presses agronomiques de Gembloux : 2015. 259-270.

Thouret J.-C, D'Ercole R., 1996. Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain : effets, facteurs et réponses sociales. *Cahiers des sciences humaines*. ORSTOM, 1996, 32 (2).407-422.

UNISDR, 2009. Hydro-climatic disasters in water resources management Post Disaster Needs Assessment/PDNA - Burkina Faso, floods September 2009, GFDRR.

Vandervaere J.-P., Bachir T., Coulibaly B., Rajot J.-L., Issa O.M., Abdou M.M., Dessay N., Delaitre E., Maiga O.F., Diedhiou A., Panthou G., Vischel T., Yacouba H., Karambiri H., Paturel J.-E., Diello P., Mougin E., Kergoat L., Hiernaux P., 2013. The Niger River Niamey flood of 2012: The paroxysm of the Sahelian paradox? *Science et Changements Planétaires - Secheresse*, 24 (1). 3-13.

- Vanmaercke M., Poesen J., Broeckx J., Nyssen J., 2014. Sediment Yield in Africa. *Earth-Science Reviews* 136. 350-368 (+ Appendix).
- Vanmaercke M., Radoane M., Poesen J., Govers G., Ocakoglu F., Arabkhedri M., 2012. How long should we measure? An explanation of factors controlling the inter-annual variation of catchment sediment yield. *Journal of Soils and Sediments* 12. 603-619.
- Walker B.H., Carpenter S.R., Anderies J.M., Abel N., Cumming G.S., Janssen M.A., Lebel L., Norberg J., Peterson G.D., Pritchard R., 2002. Resilience management in social-ecological systems: a working hypothesis for a participatory approach, *Conservation Ecology*, 6, 1,14 (<http://www.consecol.org/vol6/iss1/art14>).
- Villagrán de León, J. C., 2006. Vulnerability: a conceptual and methodological review. Bonn: UNU-EHS.
- White P., Pelling M., Sen K., Seddon D., Russell S., Few R., 2005. Disaster Risk Reduction. A Development Concern, DFID.
- World Food Programme/WFP, 2010. Seasonal and hazards calendar. Emergency Preparedness and Response Branch.
- Yougbaré W.J., Datooumbeye C., 2017. Multi-criteria analysis for flood risk runoff in Ouagadougou. *Far East Journal of Mathematical Sciences*, 101 (5). 1049-1072.
- Zachos L.G., Swan C. T., Altinakar M.S., McGrath M. Z., Thomas D., 2016. Flood vulnerability indices and emergency management planning in the Yazoo Basin, Mississippi. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 18. 89–99.
- Zida Y., Kambou S.H., 2014. Cartographie de la pauvreté et des inégalités au Burkina Faso. Programme des Nations Unies pour le Développement au Burkina Faso.

## **Annexes**

## **Annexe 1: Questionnaire pour les enquêtes de terrain à Dori dans le cadre du travail de fin d'étude**

Par Yaovi Djivénou Tomety

Ce questionnaire est administré pour rechercher, dans la ville de Dori, les causes et les conséquences des inondations, les perceptions des populations face au risque d'inondation, l'analyse de la vulnérabilité des populations et des biens auprès, d'une part, des personnes qui ont au moins une fois subi les effets des inondations dans la ville, et d'autre part, auprès de la mairie, des services déconcentrés et des organismes susceptibles d'intervenir dans le domaine.

### **Identité de l'enquêté**

Numéro fiche d'enquête : .....

Sexe : ..... Age : ..... Profession : .....

### **A. Questionnaires administrés aux habitants de la ville de Dori victimes des inondations**

#### Remarque :

*Questionnaires A.1 à A.4 sont à administrer individuellement*

*Questionnaire A.5 est à administrer en 4 focus groupes de 12 personnes si possible*

*Questionnaire B est à administrer aux services déconcentrer de l'Etat, la mairie et certains organismes ou ONGs.*

#### **A.1 Question de contrôle (identification des personnes victimes d'inondation)**

1. Depuis combien de temps habitez-vous dans la ville de Dori ?
2. Quelles sont les catastrophes naturelles auxquelles vous êtes le plus souvent confronté ?  
.....
3. Quelles sont les années où la ville a été fortement inondée ?  
.....
4. Votre maison a été inondée ?  
.....
5. Quelle(s) année(s) ?  
.....

### **Classement**

<p><b>A enquêter</b> SI les réponses <u>correspondent</u> aux critères :</p> <p>1&gt; 6 ans ET 3= au moins une année d'inondation rappelée et renseignée ET 4= oui)</p>	<p><b>A ne pas enquêter</b> SI l'une des trois réponses <u>ne correspond pas</u> aux critères :</p> <p>1&gt; 6 ans ET 3= au moins une année d'inondation rappelée et renseignée ET 4= oui</p>

Si toutes les 3 questions (1, 3 et 4) sont répondues d'une manière favorable, continuer à administrer les autres questions.

Dans le cas échéant, clôturer l'administration du questionnaire et chercher quelqu'un d'autre.

**A.2 Causes de l'inondation dans la ville de Dori**

1. Selon vous, qu'est ce qui aurait causé ces inondations ?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

2. Pensez-vous que les pluies des cinq dernières années (à partir de 2013) sont plus intenses que les années antérieures ?

Oui :.....

Non :.....

Pourquoi ? :.....

3. Depuis que la ville est soumise aux inondations, est-ce que l'occupation des espaces par les habitants (construction de maison) a contribué à créer les inondations (à barrer la voie à l'eau) ?

Oui :.....

Non :.....

Si oui, quelles sont les zones concernées ?.....

.....

4. Est-ce qu'il y a des constructions qui ont évolué vers la grande mare ?

Oui :.....

Non :.....

Si oui, quelles sont les zones concernées ?.....



5. Pensez-vous que les activités de maraichage autour de la grande mare ont contribué à la survenue des inondations ?  
 Oui : .....  
 Non : .....  
 Si oui, pourquoi ?.....
  
6. Pensez-vous que la grande mare a connu un comblement par les apports de terres ?  
 Oui : .....  
 Non : .....  
 Si oui, selon vous, ce comblement de la grande mare contribue-t-il à provoquer les inondations ?.....  
 .....
  
7. Pensez-vous que la ville a suffisamment de caniveaux pour drainer les eaux vers les mares ?  
 Oui : .....  
 Non : .....
  
8. Est-ce que ces caniveaux fonctionnent normalement en temps de pluie ?  
 Oui : .....  
 Non : .....  
 Si non, pourquoi ?

**A.3 Perception des risques d'inondation par les populations dans la ville**

1. Quel est, selon vous, l'importance de la grande mare dans la vie de la population de Dori ?  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....
  
2. Comment avez-vous vécu ces d'inondations ?  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....
  
3. Pensez-vous que les inondations sont une fatalité à Dori ?  
 Oui : .....  
 Non : .....  
 Si non, pourquoi ?.....
  
4. Avez-vous une fois été prévenu qu'il y aura inondation ?

Oui :.....

Non :.....

Si oui, par qui?.....

Qu'est-ce que la structure ou la personne qui vous a informé de la survenue imminente de l'inondation vous a dit de faire ? .....

Et comment vous êtes-vous comporté pour réduire le risque d'inondation ?

.....  
.....

5. Depuis la réalisation des dernières mares intérieures en 2013 par la mairie, avez-vous eu encore des inondations dans votre quartier ?

Oui :.....

Non :.....

6. Pensez-vous que ces mesures sont suffisantes pour lutter efficacement contre les risques d'inondation dans la ville ?

Oui :.....

Non :.....

7. Qui devrait mettre en œuvre les stratégies pour lutter contre les inondations dans la ville ?

.....  
.....  
.....

8. Que proposeriez-vous pour lutter contre les inondations dans la ville ?

.....  
.....  
.....

9. Que pourriez-vous faire à votre niveau pour contribuer à lutter contre les risques d'inondation dans la ville de Dori ?

.....  
.....  
.....  
.....

10. Et que faites-vous actuellement à votre niveau pour contribuer à lutter contre les risques d'inondation dans la ville de Dori ?

.....  
.....  
.....  
.....

11. Sur une échelle de 1 à 5 (1 = risque très élevé, 2= risque élevé, risque moyen, 4 = risque faible, 5 = risque très faible), A combien classeriez-vous actuellement le risque d'inondation dans votre quartier :

- Avant les aménagements des mares intérieures ;
- Après les aménagements des mares intérieures.

12. Pensez-vous que l'aménagement de la grande mare (dans le futur) pourra résoudre définitivement les questions d'inondation à Dori ?

Oui,.....

Pourquoi ?.....  
 .....

Non,.....

pourquoi ?.....  
 .....

13. Quelle est votre niveau de sensibilisation par rapport aux risques d'inondation ? Notez de 1 (niveau faible) à 10 (niveau élevé)

**A.4 Les impacts des risques d'inondations vécus dans la ville**

1. Quelles sont les dégâts que ces inondations ont occasionnés ?

Impact des inondations sur les éléments à risque	Nature de l'élément à risque	Caractéristique de l'élément à risque (dimensions)	Quantité	Cout unitaire	Temps mis pour réparer/reconstruire la maison

2. Les inondations ont-ils affectés vos activités ?

Oui :.....

Non :.....

Si oui, comment ?

.....  
 .....  
 .....

3. Quelle était la hauteur d'eau de l'inondation qui vous a beaucoup marqué ? (trouver un marquage du niveau d'eau sur le mur ou un arbre pour estimer la hauteur à mesurer)  
 .....

4. Est-ce que les inondations ont entraîné une séparation de votre famille ?

Oui : .....

Non : .....

Si oui, quels sont les effets de cette séparation sur votre famille ?

.....  
 .....  
 .....

**A.5 Analyse de la vulnérabilité des populations face aux risques d'inondation dans la ville de Dori : Approche BRAPA adaptée aux risques d'inondation**

***1. Profil historique :***

***Principaux faits marquants en lien avec les inondations dans la ville***

Période	Faits/événements marquants	Impact sur la communauté	Stratégie d'adaptation

***2. Cartographie des zones inondables dans la ville de Dori***

(Imprimer une carte de la ville sur laquelle les populations vont indiquer les zones inondables et après faire un parcours sur le terrain pour la géolocalisation de la limite atteinte par l'inondation la plus marquante)

### 3. Calendrier saisonnier

Activités/Èvènements (indicatif)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D

### 4. Classification des risques d'inondation en fonction de l'ampleur des dégâts

Année d'occurrence de risque d'inondation	Score Homme (6x10)	Score Femme (6x10)	% H	Rang H	% F	Rang F	Score moyen (12x10)	Rang Moyen	% moyen
	0	0							
	0	0							
	0	0							
	0	0							
	0	0							
	0	0							
	60	60							

### 5. Arbre à problème

Causes	Risque	Conséquences
	Inondation	

## 6. Analyse de la vulnérabilité

Elément a risque ou cible n.1 la plus affectée par le risque d'inondation :

Elément a risque ou cible la plus affectée par le risque	Degré de vulnérabilité					Nature de la vulnérabilité	Conséquences (de l'arbre à problème)
	Très élevé	Elevé	moyen	faible	Très faible		
<b>Mesure de la vulnérabilité: Ce qui rend ce groupe vulnérable?</b>							
<b>Capacité d'analyse: Quelles sont les capacités qui existent au sein de ceux qui ne sont pas classés comme vulnérables?</b>							

NB : Répéter cette analyse pour autant d'éléments à risque que chaque groupe identifiera

1= Vulnérabilité très élevée ; 2= Vulnérabilité élevée ; 3= Vulnérabilité moyenne ; 4= Vulnérabilité faible ; 5= Vulnérabilité très faibles

## 7. Analyse des parties prenantes (diagramme de Venn)

N*	Nom organisation / personne ressources	Ordre d'importance	Ordre d'influence

NB : 3=Plus important ou plus influent ; 2= Moyennement important ou moyennement influent ; 1= faiblement important ou faiblement influent.

## 8. Discussion en Focus Groupe

Thèmes	Résultats
Expérience sur les inondations	Changement qui a eu l'impact le plus important sur votre vie et les moyens de subsistance face au risque d'inondation
	indicateurs locaux que vous utilisez pour prévoir le risque d'inondation et leur degré de fiabilité (*, **, ***)
Les services techniques	Types d'information déjà reçu en relation avec les inondations dans la ville
	Types d'information souhaitée pour réduire les risques d'inondation
L'information	Type de media le plus utilise dans la zone
	Radio la plus écoutée dans la zone
	L'émission la plus écoutée
	Le(s) réseaux téléphoniques les plus accessibles dans la zone
	Meilleur moyen de communication de l'information souhaité
	Langue souhaitée pour les émissions et le téléphone

## 9. Le plan d'action pour lutter contre le risque d'inondation

Actions proposées par éléments à risque	Actions de mitigation / Contribution des ressources			priorité	Indicateur de résultats de résilience
	communauté	Autorité locale	Autres sources (NGOs)		

### Explication des différents outils BRAPA

Outils BRAPA adaptés	Description/importance
1. Cartographie des zones inondables	Présentation de l'image Google Earth à haute résolution de la ville pour identifier : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les zones inondables</li> <li>- Les éléments à risques d'inondation (Type de bâtiments, les infrastructures routières, les différents réseaux, etc.)</li> <li>- Etc.</li> </ul>
2. Profil historique des inondations	Identifier les évènements d'inondation les plus sévères et qui ont laissé des impacts majeurs sur la ville afin de discuter des stratégies de mitigation et d'adaptations précédentes.
3. Calendrier saisonnier	Une liste des activités majeures se déroulant sur une période d'une année et qui prend en compte d'autres évènements importants et des risques d'inondation qui peuvent se produire sur la même période.
4. Classification des risques d'inondation	Classer les différents évènements d'inondation vécus par ordre d'importance ou d'ampleur.
5. Arbre à problème	Type de diagramme de flux qui permet d'identifier les causes et les conséquences d'inondation. Il peut aider à construire une image de l'inondation sur ces différentes causes ainsi que les interactions existantes entre les causes et les conséquences liées aux inondations. Il permet d'obtenir des informations plus détaillées sur leurs analyses des risques d'inondations.
6. Diagramme de Venn	C'est un diagramme établi par la population pour montrer les organisations, les groupes et les personnes ressources au sein de la ville. Leur proximité avec le centre du diagramme indique l'importance que les populations leur accorde ou comment ils influencent les populations. Son but est de fournir des informations sur les acteurs clés qui sont dans la ville, comment ils sont perçus et comment les populations évaluent leur pouvoir, leur influence et leur capacité d'influencer sur les questions des risques d'inondation.
7. Analyse de la	C'est une autoanalyse permettant aux populations de déterminer

vulnérabilité	les éléments à risques dans leur communauté, de donner la nature de la vulnérabilité par rapport à chaque élément à risque et d'évaluer sur une échelle de cotation le degré de leur vulnérabilité. Ensuite, le lien entre cette vulnérabilité et les mesures de réduction de la vulnérabilité déjà pratiqué dans la communauté et celle à prévoir en fonction des contraintes et réalités liées à leur milieu de vie.
8. Focus groupe par genre	Il est utilisé pour clarifier les zones d'ombre et les questions restées en suspens
9. Plan d'action	Il se base sur le processus et les outils déjà utilisés pour définir les actions de protection, la prévention et la préparation. Il renseigne également sur le degré d'acceptabilité du risque d'inondation dans la ville.

**B. Questionnaires administrés aux autorités locales, services techniques, organismes et ONG.**

1. Quelles sont selon vous les causes des inondations dans la ville de Dori ?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

2. Quelles actions préconiserez-vous pour réduire les risques d'inondations dans la ville ?

Type d'action de réduction de risque d'inondation	Description des actions	Apport de votre structure	
		Ressources humaines en compétence technique	Ressources financières
Action de prévention			
Action de protection			
Action de préparation			



**Annexe 2: Relation entre les indicateurs, les composantes et les facteurs de la vulnérabilité au niveau des sous-bassins versants, des vallées des rivières et urbains**

<b>Vulnérabilité aux inondations</b>	<b>Exposition</b>		<b>Susceptibilité</b>		<b>Résilience</b>	
<b>Composante sociale</b>	Densité de population	R.S. U	Expérience passée	R.S. U	Système d'alerte précoce	R.S. U
	Population habitant dans les zones inondables	R.S. U	Education (taux d'alphabétisation)	R.S. U	Voies d'évacuation	R.S. U
	Proximité de la zone d'inondation	R.S. U	Préparation	R.S. U	Capacité institutionnelle	R.S. U
	Population proche de la ligne de côte	R.S. U	Sensibilisation	R.S. U	Service d'urgence	R.S. U
	Population en dessous de la pauvreté	R.S. U	Confiance aux institutions	R.S. U	Abri de protection	R.S. U
	% des zones urbaines	R.S. U	Taux de pénétration de la communication	R.S. U		
	Enquête sur le cadastre	S.U	Centre de santé	R.S. U		
	Héritage culturel	S.U	Population ayant accès à l'assainissement	R.S. U		
	% des jeunes et des personnes âgées	S.U	Qualité de l'approvisionnement en eau	S.U		
	Zone hors lotissement	U	Qualité de l'approvisionnement en énergie	S.U		
			Croissance démographique	S.U		
			Santé humaine	S.U		
			Aménagement urbain	S.U		

<b>Composante économique</b>	Utilisation des terres	R.S. U	Chômage	R.S. U	Investissement dans les mesures de mitigation	R.S. U
	proximité d'un cours d'eau	R.S. U	Revenu	R.S. U	Gestion des infrastructures	R.S. U
	Proximité de la zone d'inondation	R.S. U	Inégalité	R.S. U	Capacité de stockage de la retenue d'eau	R.S. U
	Enquête sur le cadastre	S.U	Qualité des infrastructures	R.S. U	Assurance inondation	R.S. U
			Espérance de vie	R.S. U	Temps de relèvement	R.S. U
			croissance urbaine	S.U	Expérience passée	S.U
			Mortalité infantile	S.U	Digue de protection	S.U
<b>Composante environnementale</b>	Niveau des eaux souterraines	R.S. U	Réserve naturelle	R.S. U	Temps de relèvement des inondations	R.S. U
	Utilisation du sol	R.S. U	Espérance de vie	R.S. U	Impact environnemental	R.S. U
	Zone surexploitée (densifiée)	R.S. U	Qualité des infrastructures	R.S. U		
	Zone dégradée	R.S. U	Santé humaine	S.U		
			Croissance urbaine	S.U		
			Mortalité infantile	S.U		
<b>Composante physique</b>	Topographie (pente)	R.S. U	Code d'adressage	U	Capacité de stockage de la retenue d'eau	R.S. U
	Géographie	R.S. U			Voirie	R.S. U
	Géologie	R.S. U			Digue de protection	S.U

Pluie extrême	R.S. U			
Durée d'inondation	R.S. U			
période de retour	R.S. U			
Proximité d'un cours d'eau	R.S. U			
Humidité du sol	R.S. U			
Taux d'évaporation	R.S. U			
Température moyenne annuelle	R.S. U			
Débit du cours d'eau	R.S. U			
Fréquence d'occurrence des inondations	R.S. U			
Vitesse d'écoulement	S.U			
Onde de tempête	S.U			
Marée	S.U			
Profondeur d'eau des inondations	S.U			
Charge de sédimentation	S.U			
Trait de côte	S.U			
Bathymétrie côtière	S.U			

Source : Extrait de Balica *et al*, 2009 ; Balica *et al*, 2012 ; Karmaoui *et al*, 2016

**Annexe 3: Les indicateurs, leurs définitions et les sources de données pour le calcul de l'indice de la vulnérabilité aux inondations dans la ville de Dori**

Indicateurs	Acronyme	sous- indice	Facteur FVI	Définitions	Unité	Relation fonctionnelle avec la vulnérabilité	Sources ou références
<b>Densité de population</b>	<b>Pd</b>	FVIs	E	Il existe une exposition importante à un risque donné si la population est concentrée	personne/ km <sup>2</sup>	Densité élevée, vulnérabilité élevée	INSD du Burkina Faso, SDAU Dori (2012), calculé
<b>Population habitant dans les zones inondables</b>	<b>Pfa</b>	FVIs	E	Nombre de personnes vivant dans une zone exposée aux inondations	personne	Nombre de personne élevée, vulnérabilité élevée	Calculé
<b>Héritage culturel</b>	<b>Ch</b>	FVIs	E	Nombre de bâtiments historiques, musées, etc., en danger lors de l'inondation, si aucun prendre 1	-	Nombre important d'héritage culturel, vulnérabilité élevée	Mairie de Dori
<b>Croissance démographique</b>	<b>Pg</b>	FVIs	E	% 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 logements	INSD du Burkina Faso
<b>Personne vivant avec handicap</b>	<b>%disable</b>	FVIs	E	% de la population ayant un handicap quelconque, aussi les personnes de moins de 15 ans et plus de 65 ans	%	% élevé, vulnérabilité élevée	INSD du Burkina Faso
<b>Indice de développement humain</b>	<b>HDI</b>	FVIs,ec	S	$HDI = 1/3(LEI) + 1/3(EI) + 1/3(GI)$	-	Valeur élevée, faible vulnérabilité	<a href="https://fr.actualitix.com/pays/bfa/burkina-faso-indice-de-developpement-humain.php#tableau-de-">https://fr.actualitix.com/pays/bfa/burkina-faso-indice-de-developpement-humain.php#tableau-de-</a>

<b>Mortalité infantile</b>	<b>Cm</b>	FVIs	S	Nombre d'enfants de moins de 1 an décédés par 1000 naissances		Nombre d'enfants décédés élevé, vulnérabilité élevée	INSD du Burkina Faso
<b>Expérience du passé</b>	<b>Pe</b>	FVIs	R	Nombre de personnes touchées au cours des 10 dernières années à cause des inondations	personne	Valeur élevée, faible vulnérabilité	Mairie de Dori
<b>Sensibilisation et préparation</b>	<b>A/P</b>	FVIs	R	Classer de 1 à 10	-	10 signifie faible vulnérabilité	Enquête
<b>Taux de pénétration de la communication</b>	<b>Cpr</b>	FVIs	R	% de ménages ayant des sources d'information	%	% élevé signifie faible vulnérabilité	Mairie de Dori
<b>Abris et centres de santé</b>	<b>S</b>	FVIs	R	Nombre d'abris par km <sup>2</sup> , y compris les hôpitaux	#/km <sup>2</sup>	Nombre d'abris élevé, faible vulnérabilité	Mairie de Dori
<b>Système d'alerte précoce</b>	<b>Ws</b>	FVIs	R	Si aucun système d'alerte précoce alors valeur égal à 1, si existence de système d'alerte précoce alors la valeur est 10	-	Avoir un système d'alerte précoce réduit la vulnérabilité	Mairie de Dori
<b>Service d'urgence</b>	<b>Es</b>	FVIs	R	Nombre de personnes travaillant dans ce service	#	Nombre de personne élevé, vulnérabilité faible	SDAU Dori (2012)
<b>Voies d'évacuation</b>	<b>Er</b>	FVIs	R	% des routes bitumées	%	Grande quantité et qualité de voie, faible vulnérabilité	Direction régionale des infrastructures du Sahel au Burkina Faso
<b>Industries</b>	<b>Ind</b>	FVIec	E	Nombre d'industries ou de types d'activités économiques en zone urbaine	-	% élevé, vulnérabilité élevée	Mairie de Dori
<b>Contact de la ville avec le cours d'eau</b>	<b>Cr</b>	FVIec	E	Distance de la ville le long du cours d'eau	km	très proche du cours d'eau, vulnérabilité élevée	Google Earth

<b>Chômage (Sans emploi)</b>	<b>Um</b>	FVIec	S	Um= (Nombre de personne sans emploi/nombre total de personne apte à travailler)*100	%	% élevé, vulnérabilité élevée	INSD du Burkina Faso, SDAU Dori (2012)
<b>Inégalité</b>	<b>Ineq</b>	FVIec	S	Coefficient de Gini pour l'inégalité de la richesse, entre 0 et 1	-	1 signifie faible vulnérabilité	Zida et Kambou (2014)
<b>Assurance contre inondation</b>	<b>Fi</b>	FVIec	R	Le nombre d'assurance contre les inondations pour 100 habitants, si 0, prendre 1	-	nombre d'assurance d'inondation élevé, faible vulnérabilité	enquête
<b>Montant sur investissement</b>	<b>AmInv</b>	FVIec	R	Ratio de l'investissement sur le PIB total	-	investissement élevé, faible vulnérabilité	Calculé
<b>Digue de protection</b>	<b>D_L</b>	FVph	R	Nombre de km de digue de protection	km	Grande longueur de digue, faible vulnérabilité	Mairie de Dori
<b>Capacité de stockage des eaux</b>	<b>D_Sc</b>	FVIec	R	Volume d'eau stocké dans les barrages en amont de la ville	m3	Grand volume stocké, vulnérabilité élevée	CACI-Conseils
<b>Temps de relèvement</b>	<b>Rt</b>	FVIec	R	Temps nécessaire à la ville pour se remettre à une opération fonctionnelle après les événements d'inondation	jours	Temps très long, vulnérabilité élevée	enquêtes
<b>Pluviométrie</b>	<b>Rainfall</b>	FVIen	E	Pluviométrie moyenne annuelle	m/an	pluviométrie élevée, vulnérabilité élevée	Service météorologique du Burkina Faso
<b>Espace vert</b>	<b>Lu</b>	FVIen	E	Superficie réservée pour espace vert à l'intérieur de la ville.	%	% élevé, faible vulnérabilité	Google Earth

<b>Croissance urbaine</b>	<b>Ug</b>	FVIen	S	% d'augmentation de la superficie urbaine au cours des 10 dernières années;	%	La croissance urbaine rapide peut entraîner un logement de mauvaise qualité et donc rendre les gens plus vulnérables	Analyse diachronique
<b>Evaporation</b>	<b>Ev</b>	FVIen	S	Diminution annuelle du niveau d'eau souterraine	m/an	niveau d'eau souterraine élevé, vulnérabilité élevée	Service météorologique du Burkina Faso
<b>Topographie</b>	<b>T</b>	FVIph	E	Pente moyenne de la ville	-	Pente raide, vulnérabilité élevée	SDAU Dori (2012)
<b>Débit du cours d'eau</b>	<b>Rd</b>	FVIph	E	Débit maximal enregistrée au cours des 10 dernières années	m3/s	Débit maximum, vulnérabilité élevée	CACI-Conseils
<b>Evaporation/précipitation</b>	<b>Ev/Rainfall</b>	FVIph	E	Rapport moyen de l'évaporation annuelle sur la précipitation annuelle	-	Evaporation élevé, vulnérabilité faible	calculé (La valeur maximale considérée par l'outil de calcul sur le site <a href="http://www.unesco-ihe-fvi.org">www.unesco-ihe-fvi.org</a> est 5)
<b>Capacité de stockage des eaux</b>	<b>D_Sc</b>	FVIph	R	Le volume total d'eau qui peut être stocké par des barrages, des polders, etc.	m3	Quantité de stockage élevée, vulnérabilité élevée	CACI-Conseils
<b>Système de drainage</b>	<b>D</b>	FVIec	R	longueur de canalisation dans la ville	km	Réseau faible, vulnérabilité élevée	Betsigui (2007); Mairie de Dori; SDAU Dori (2012)
<b>Débit moyen du cours d'eau</b>	<b>AvRd</b>	FVIph	E	Débit moyen du cours d'eau à l'exutoire	m3/s	Débit maximum, vulnérabilité élevée	CACI-Conseils
<b>Rapport du volume stocké sur le volume d'eau annuel ruisselé</b>	<b>Sc/Vyear</b>	FVIph	R	rapport de la capacité de stockage sur le volume de ruissellement annuel moyen	-	ruissellement élevé, vulnérabilité élevée	CACI-Conseils et Calculé

E= Exposition, S= Susceptibilité, R= Résilience

#### **Annexe 4: Données ayant servi au calcul de l'indice de la vulnérabilité aux inondations à Dori**

<b>Indicateurs</b>	<b>Acronyme</b>	<b>Unité</b>	<b>Données d'entrée pour le calcul de FVI de la ville de Dori en 2006</b>	<b>Données d'entrée pour le calcul de FVI de la ville de Dori en 2016</b>
<b>Densité de population</b>	Pd	personne/km <sup>2</sup>	472.494	630
<b>Population habitant dans les zones inondables</b>	Pfa	personne	2124	3447
<b>Héritage culturel</b>	Ch	-	2	2
<b>Croissance démographique</b>	Pg	%	1.19	2.9
<b>Personne vivant avec handicap</b>	% disable	%	51.6	41.27
<b>Indice de développement humain</b>	HDI	-	0.32	0.402
<b>Mortalité infantile</b>	Cm	‰	122	119
<b>Expérience du passé</b>	Pe	personne	7026	766
<b>Sensibilisation et préparation</b>	A/P	-	1.57	2
<b>Taux de pénétration de la communication</b>	Cpr	%	39	77.31
<b>Abris et centres de santé</b>	S	#/km <sup>2</sup>	0.56	0.628
<b>Système d'alerte précoce</b>	Ws	-	1	1
<b>Service d'urgence</b>	Es	#	129	135
<b>Voies d'évacuation</b>	Er	%	12.3	41.3
<b>Industries</b>	Ind	-	56	173
<b>Contact de la ville avec le cours d'eau</b>	Cr	km	6.7	10.22
<b>Chômage (Sans emploi)</b>	Um	%	1.9	1.9



<b>Inégalité</b>	Ineq	-	0.395	0.377
<b>Assurance contre inondation</b>	Fi	-	1	1
<b>Montant sur investissement</b>	AmInv	-	1.48421E-05	0.00048
<b>Digue de protection</b>	D_L	km	0.01	0.01
<b>Capacité de stockage des eaux</b>	D_Sc	m3	1	1
<b>Temps de relèvement</b>	Rt	jours	171.428	171
<b>Pluviométrie</b>	Rainfall	m/an	0.4735	0.4982
<b>Espace vert</b>	Lu	%	0.02	0.02
<b>Croissance urbaine</b>	Ug	%	7.5	11
<b>Evaporation</b>	Ev	m/an	3.17225	3.116
<b>Topographie</b>	T	-	1.07	1.07
<b>Débit du cours d'eau</b>	Rd	m3/s	118	118
<b>Evaporation/précipitation</b>	Ev/Rainfall	-	5	5
<b>Capacité de stockage des eaux</b>	D_Sc	m3	1843240	2012477
<b>Système de drainage</b>	D	km	2.55	24.88
<b>Débit moyen du cours d'eau</b>	AvRd	m3/s	0.09	0.09
<b>Rapport du volume stocké sur le volume d'eau annuel ruisselé</b>	Sc/Vyear	-	0.63	0.68