EUROPEAN COMMISSION
DIRECTORATE-GENERAL
HUMANITARIAN AID AND CIVIL PROTECTION - ECHO
ECHO A - Strategy, Policy and International Co-operation
Unit A.5 - Civil Protection Policy
Brussels, ECHO.A.5 (2016) 3129102

UD-RASP- Résilience aux catastrophes urbaines par l'évaluation des risques et la planification durable

Ref. No. ECHO/SUB/2016/740186/PREV19

D3.2 - Évaluation de la vulnérabilité et des risques (conditions actuelles)

(31. October 2018)

Coordonné par

IABG mbH Geodaten Factory
Einsteinstraße 20
D-85521 Ottobrunn
GERMANY

En coopération avec:

United Nations University
Institute pour l'environnement et la sécurité humaine (UNU-EHS)
Platz der Vereinten Nationen 1,
53113 Bonn, Germany

Municipality of Monastir
Avenue Habib Bourguiba,
5019 Monastir, Tunisia

D3.2 – Évaluation de la vulnérabilité et des risques

Tâche	T3	
Action	A3.2, A3.3, A3.4	
Niveau de diffusion	✓ Publique ○ Réservé aux autres partenaires du programme (y compris la DG ECHO) ○ Limité à un groupe spécifié par le consortium (y compris la DG ECHO) ○ Confidentiel, uniquement pour les membres du consortium (y compris la DG ECHO)	
Date de publication	Octobre 2018	
Chef de tâche / activité	Tâche: UNU-EHS	Activité: UNU-EHS
Personnne à contacter	Michael Hagenlocher (hagenlocher@ehs.unu.edu)	
Contributeurs	Davide Cotti, Mostapha Harb, Matthias Garschagen, Konstanze Fila, Sonia Ayed, Anis Ben Fradji, Bouraoui Chebil, Hayet Baccouche, Karem Ben Khaled, Felicitas Bellert, Rainer Malmberg	
Court résumé	Évaluation et cartographie du risque de crues éclair en milieu urbain (conditions actuelles) à l'échelle des sous-villes de Monastir, intégrant des données sur les risques de crues éclair pour une période de retour de 100 ans, des données démographiques à échelle réduite et des informations sur les modèles de vulnérabilité sociale. En outre, le rapport présente les résultats de l'évaluation des risques d'érosion côtière.	
Mots clés	vulnérabilité, risque de catastrophe, urbain, multirisques, drivers,	

Les recherches qui ont abouti à ces résultats ont reçu un financement de la Direction générale de l'aide humanitaire et de la protection civile (ECHO) de la Commission européenne dans le cadre de la convention de subvention n° ECHO/SUB/2016/740186/PREV19.
Cette publication n'engage que son auteur et l'Union européenne ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qu'elle contient.

Tous droits réservés

Ce document ne peut être copié, reproduit ou modifié en tout ou en partie à quelque fin que ce soit sans l'autorisation écrite du Consortium UD-RASP. En plus de l'autorisation écrite de copier, reproduire ou modifier ce document en tout ou en partie, une mention des auteurs du document et de toutes les parties applicables du copyright doit être clairement indiquée.

Table des matières

Table des matières 2
1 Introduction 4
2 Cadre conceptuel 4
3 Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité et des risques à l'échelle des sous-villes 5
3.1 Évaluation et simulation des zones exposées aux aléas naturels 5
3.1.1 Crues éclair 5
3.1.2 Érosion côtière 6
3.2 Analyse de l'exposition 7
3.2.1 Crues éclair 7
3.2.2 Érosion côtière 8
3.3 Vulnérabilité sociale et risque de crues éclair 8
3.3.1 Indicateurs de vulnérabilité 8
3.3.2 Enquête sur les ménages 9
3.3.3 Indice de vulnérabilité 12
4 Résultats 13
4.1 Risques 13
4.2 Exposition 15
4.3 Vulnérabilité sociale aux crues éclair 17
4.3.1 Indicateurs 17
4.3.2 Indice de vulnérabilité sociale (crues éclair) 19
4.3.3 Risque de crues éclair 20
Références 22

Liste des figures

Figure 1: Cadre conceptuel de l'analyse des risques (GIEC 2014) 5
Figure 2: Flux de travail de l'analyse de l'exposition (érosion côtière) 8
Figure 3: Localisation des ménages interrogés 10
Figure 4: Répartition des interviews selon le sexe, les groupes d'âge, la taille du ménage, le niveau d'éducation et le revenu après traitement des données (n = 696) 12
Figure 5: Risque d'inondation éclair à Monastir (période de récurrence de 100 ans) 13
Figure 6: Analyse de l'érosion côtière dans la partie 2 14
Figure 7: Partie 2 - 1) Les digues 2) Les enrochements 3) Les canaux de drainage 15
Figure 8: Exposition de la population aux crues éclair (période de récurrence de 100 ans, niveau des blocs de construction) 16
Figure 9: Exposition de la population aux crues éclair (période de récurrence de 100 ans, niveau des blocs de construction) 16
Figure 10: Vulnérabilité sociale liée aux crues éclair à Monastir 19
Figure 11: Profils de vulnérabilité des 15 sous-unités échantillonnées 20
Figure 12: Risque de crues éclairs à Monastir 21

Liste des tableaux

Tableau 1: Classification des risques de crues éclair 6
Tableau 2: Classe en fonction de la densité de population telle que définie par Urban Atlas 7
Tableau 3: Répartition des interviews dans les 15 sous-unités 11
Tableau 4: Indicateurs de vulnérabilité 18
Tableau 5: Scores de risque d'inondation subite pour les 15 sous-unités 21

1 Introduction

Le risque de catastrophes urbaines est un problème croissant qui est dû à deux grandes tendances du changement mondial : l'urbanisation et l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes extrêmes liés au climat. Les villes côtières sont en outre confrontées à l'élévation du niveau de la mer, au glissement de terrain et à l'érosion côtière. Conjuguées à des niveaux élevés de vulnérabilité sociétale, ces tendances augmentent les risques de catastrophes et les pertes en vies humaines et les dommages économiques qui en découlent. La Tunisie est confrontée à des risques majeurs parmi les pays voisins de l'UE, étant donné sa croissance démographique rapide et le fait que près de 80% de ses zones urbaines sont concentrées le long de la mer Méditerranée.

Dans ce contexte, le “Ministère tunisien de l'Equipement de l'Habitat et de l'Aménagement du Territoire“ prévoit de développer un système national d'information et d'analyse des risques urbains pour évaluer l'impact de ces risques et réduire leurs effets. Toutefois, sa mise en œuvre se heurte à plusieurs difficultés majeures, notamment l'absence de données géospatiales pertinentes pour l'analyse des risques urbains, ainsi qu'une compréhension insuffisante des facteurs sous-jacents, des zones à risques actuels et des scénarios futurs possibles des risques de catastrophes urbaines. Pour soutenir ce processus, le projet UD-RASP utilise la ville de Monastir comme cas pilote, représentatif des zones urbaines côtières tunisiennes confrontées à des risques environnementaux similaires.

Suite à l'identification des facteurs de risque de catastrophe (livrable 3.1), une évaluation des risques a été menée à l'échelle des unité en se concentrant sur les conditions actuelles. Les évaluations intègrent l'analyse spatiale et la modélisation (1) des aléas (crues éclairs, érosion côtière), (2) de l'exposition aux crues éclair, et (3) de la vulnérabilité sociale dans le contexte des crues éclair.

2 Cadre conceptuel

Selon le Cinquième rapport d'évaluation (RE5) du GIEC, le risque de catastrophe est défini comme la probabilité, sur une période donnée, de graves altérations du fonctionnement normal d'une communauté ou d'une société entraînant des effets négatifs généralisés qui nécessitent une intervention d'urgence immédiate pour satisfaire des besoins humains critiques et qui peuvent exiger un soutien externe pour la recouvrement (GIEC 2014).

Comme le montre la Figure 1, elle résulte de l'interaction d'un ou de plusieurs *dangers* (un événement physique naturel ou anthropique), de *l'exposition* (le chevauchement physique entre l'étendue du danger et les éléments qui pourraient en subir les conséquences), de la *vulnérabilité* (la prédisposition à subir une influence négative). La vulnérabilité est souvent divisée en trois sous-éléments, à savoir la *susceptibilité*, la *capacité de réaction* à court terme et la *capacité d'adaptation* à long terme.

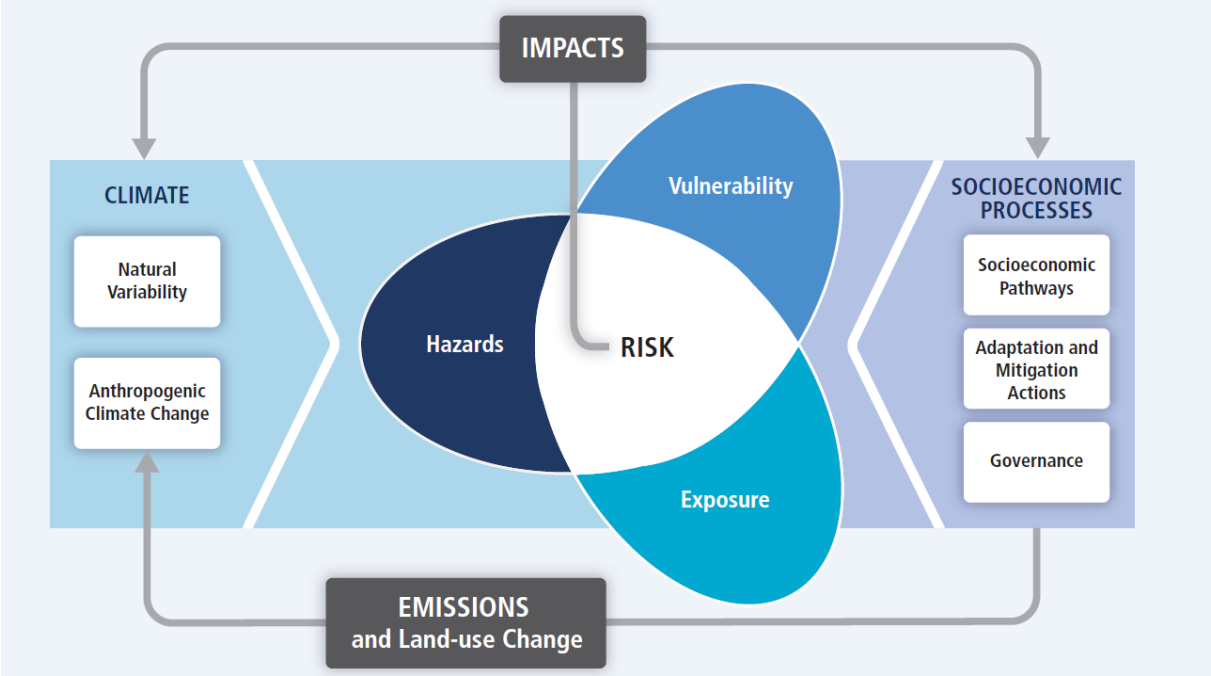

Figure 1: Cadre conceptuel de l'analyse des risques (GIEC 2014)

3 Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité et des risques à l'échelle sous-urbain

Pour évaluer les risques d'inondation subite à l'échelle des unités, on a adopté une approche à plusieurs étapes et à méthodes mixtes qui intègre l'analyse qualitative participative à la collecte de données empiriques, à la modélisation quantitative et à l'analyse spatiale. Les chapitres suivants sont structurés selon les trois composantes du risque (danger, exposition, vulnérabilité) et décrivent les analyses respectives qui ont été effectuées.

3.1 Évaluation et simulation des zones exposées aux aléas naturels

3.1.1 Crues éclair

Pour analyser les risques d'inondation éclair, une modélisation basée sur un logiciel relativement au ruissellement de surface et aux voies d'écoulement a été réalisée à l'aide de la modélisation basée sur le processus MIKE FLOOD[1]. Sur la base d'images satellitaires optiques à haute résolution (World View 3), un MNT d'une résolution spatiale de 1 mètre a été dérivé et, à des fins de modélisation, redimensionné à 5 mètres de résolution. L'information sur la hauteur des bâtiments et des routes a été ajoutée afin de générer une base pour la modélisation du ruissellement. Différentes valeurs de rugosité sont attribuées aux éléments principaux comme les réseaux routiers ou les zones naturelles

[1] MIKE FLOOD – Modelling Software *MIKE21* (source: DHI – Wasy)

en fonction de leurs caractéristiques de drainage pour tenir compte des différences dans les vitesses de ruissellement en surface (Engman 1986). En outre, des paramètres tels que les valeurs d'infiltration du sol, la porosité, la profondeur des nappes phréatiques et la saturation sont pris en compte dans le modèle.

Dans une étape ultérieure, les données de précipitations de 1982 à 2016 ont été intégrées au modèle. Les zones sujettes aux aléas d'un événement extrême passé et présent ont été modélisées à l'aide de données provenant d'événements pluvieux de forte intensité en 1982 et 2016. De plus, les événements extrêmes passés ont été extraits et classés par ordre de priorité en fonction de leurs valeurs de précipitations afin d'extrapoler une inondation sur 100 ans. Pour simuler le scénario HQ100 à Monastir, une pluie de 12 heures selon la distribution EULER II a été appliquée sur la zone d'étude.

Dans une étape suivante, une classification des risques de crues éclair a été calculée par DEFRA (2006), qui combine la **profondeur de l'eau**, la **vélocité du débit** et un **facteur de débris**. La couche de danger générée a été classée en catégories correspondant à des niveaux de danger croissants (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Tableau 1: Classification des risques de crues éclair

Classe de risque	Rang
Modéré	0.75 - 1.5
Significatif	1.6 - 2.5
Extrême	>2.5

3.1.2 Érosion côtière

L'érosion côtière a été analysée basé sur l'imagerie satellite World View 3 et le modèle numérique de terrain. L'extension de la zone à risque a été définie en fonction de la pente et des vitesses d'écoulement maximales qui ont été modélisées au cours de l'analyse des crues éclair (HQ100). L'utilisation des terres à l'intérieur de la zone dangereuse a été classée en cinq grandes catégories d'utilisation des terres (voir la figure 2) afin de fournir des informations concernant l'exposition de la zone. Chaque objet a également été assigné à un secteur côtier, qui différait en termes de phase d'investigation où, dans le cadre du programme national de protection côtière, de multiples littoraux sont examinés chaque année par l'APAL, et l'extension de la protection côtière. Cette valeur est exprimée en fonction de l'état d'avancement du projet (d'après les rapports de l'APAL et les entretiens avec l'APAL et la municipalité) :

- Entièrement développé : toutes les activités de protection côtière sont terminées.
- Partiellement développé : structures de protection du littoral disponibles, mais non achevées.
- Examiné mais non développé : l'examen initial par l'APAL est terminé, les structures de protection n'ont pas encore commencé.
- Non inspecté : pas d'éxamination par l'APAL ni d'activités de protection

3.2 Analyse de l'exposition

3.2.1 Crues éclair

Le modèle HQ100 relatif au risque de crues éclair a été utilisé pour identifier et quantifier les zones urbaines résidentielles exposées, la population ainsi que les zones de transport. Les données de recensement fournies par l'Institut national de la statistique (INS) ont été ramenées de l'échelle de l'unité à l'échelle des blocs de construction pour obtenir des informations détaillées sur la répartition de la population et, dans une prochaine étape, identifier la population totale exposée par bloc de construction. La population totale a été calculée pour chaque bloc de construction, selon la classe de tissu urbain (voir le livrable 1.2) et la taille du bloc de construction. Un facteur de classe a été attribué à chaque classe de "tissu urbain" pour tenir compte des différentes densités de population (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Tableau 2: Classe en fonction de la densité de population telle que définie par Urban Atlas

Classe de tissu urbain	Facteur de classe
tissu urbain continu	1
Tissu urbain dense discontinu	0.8
Tissu urbain discontinu de densité moyenne	0.5
Tissu urbain discontinu à faible densité	0.3
Tissu urbain discontinu à très faible densité	0.1

Pour évaluer l'exposition aux crues éclair à Monastir, les éléments constitutifs et les zones de transport ont été croisés avec la couche de risque du scénario de précipitations HQ100. Le résultat final a été la détermination de la population exposée en valeur absolue ainsi que des zones de transport exposées. Pour une description détaillée du déroulement des opérations d'évaluation des dangers et de l'exposition liés aux crues éclair, voir les produits livrables 1.1 et 2.2.

3.2.2 Érosion côtière

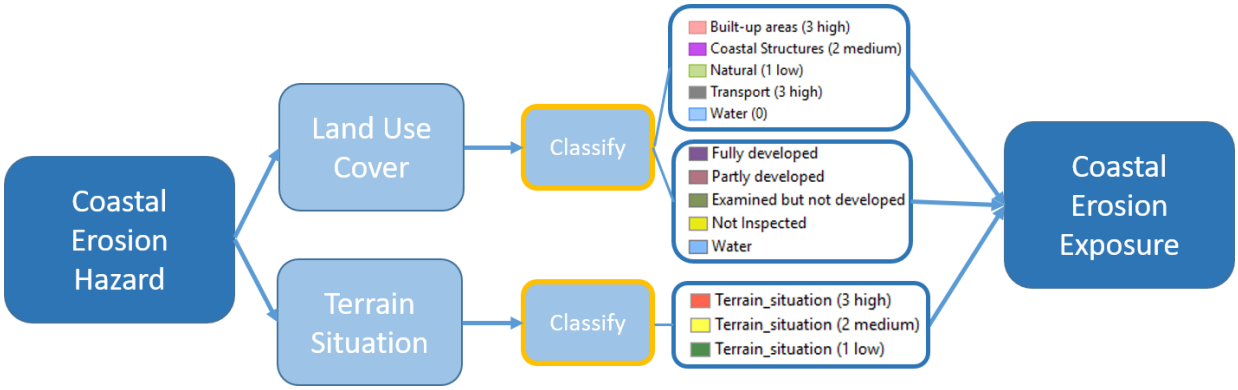

Figure 2: Flux de travail de l'analyse de l'exposition (érosion côtière)

L'exposition de la zone côtière a été examinée et décrite en tenant compte des conditions du terrain, de l'occupation du sol et de l'état de développement (Figure 2). Les conditions du terrain sont classées en 3 catégories:

- élevée (pente > 15°),
- moyenne (pente 5°- 15°)
- faible (pente < 5°)

Les résultats des analyses SIG sont ensuite combinés aux résultats des rapports des autorités locales. De plus, les résultats d'une enquête sur le terrain sont interprétés pour mieux comprendre les processus d'érosion côtière dans la zone d'étude. Pour une description détaillée du déroulement des opérations d'évaluation des dangers et de l'exposition liés à l'érosion côtière, voir les rapports des livrables 1.1 et 2.2.

3.3 Vulnérabilité sociale et risque de crues éclair

Pour l'évaluation de la vulnérabilité sociale et du risque, un cadre de modélisation itératif, fondé sur une approche indicielle traditionnelle (OCDE 2008 ; Hagenlocher et al. 2018) a été appliqué. Les phases de modélisation pertinentes comprennent : (1) définition du cadre conceptuel du risque (Fig. 1), (2) identification des facteurs potentiels de risque et des indicateurs associés sur la base d'un examen systématique de la littérature, d'une consultation d'experts (voir livrable 3.1) ; (3) acquisition et prétraitement des données ; (4) analyse et imputation des données manquantes ; (5) détection et traitement des cas extrêmes ; (6) évaluation et réduction des multicollinéarités existantes ; (7) normalisation ; (8) pondération selon les compétences ; et (9) agrégation pondérée. Dans les sections suivantes, les étapes les plus récentes de l'évaluation de la vulnérabilité et des risques sont décrites.

3.3.1 Indicateurs de vulnérabilité

Les indicateurs de l'indice de vulnérabilité ont été tirés d'une analyse documentaire systématique, d'entretiens avec des experts et d'une enquête en ligne auprès des parties prenantes locales (voir deliverable 3.1). Les 24 indicateurs ainsi identifiés ont ensuite été triés selon les sous-composantes de

la vulnérabilité, telles que décrites dans le 5ème rapport du GIEC (GIEC, 2014) : susceptibilité, manque de capacité d'adaptation à court terme et manque de capacité adaptative à long terme. Le recensement Tunisien général de la population et de l'habitat 2014 était initialement prévu comme principale source de données pour les indicateurs. Toutefois, les données relatives à trois indicateurs seulement (éducation, chômage, taux de dépendance) ont finalement été mises à disposition à l'échelle des sous-unités. Pour faire face à ce défi, l'équipe du projet a décidé de mener une enquête de ménage (EM) afin de recueillir des données primaires pertinentes pour l'évaluation de la vulnérabilité proposée[2]. Un indicateur de susceptibilité - *les maisons résidentielles construites illégalement (%)* - a été tiré de l'analyse des données de télédétection et de la réglementation d'urbanisme en vigueur. Cinq indicateurs non spatiaux (*disponibilité d'un Système d'alerte précoce SAP ; nombre de camions/pompes/ambulances pour 1000 habitants ; nombre de médecins pour 1000 habitants ; budget de récupération par habitant ; disponibilité d'un plan d'adaptation pour Monastir ; planification urbaine tenant compte du risque*) ont été écartés car les données provenant de sources officielles fiables sont indisponibles ; deux indicateurs géographiques (*ménage avec accès radio/ télévision/intranet, ménages accessibles en cas d'inondations*) ne sont pas pris en considération en raison des incertitudes dans la collecte et le traitement des données. La liste finale des 17 indicateurs était structurée comme suit : 6 indicateurs de *susceptibilité*, 9 *absence* d'indicateurs de *capacité d'adaptation*, 2 *absence* d'indicateurs de *capacité d'adaptation à long terme.*

3.3.2 Enquête sur les ménages

Afin de recueillir des données socio-économiques pertinentes pour l'évaluation de la vulnérabilité, une enquête de ménages a été menée à Monastir entre le 8 et le 12 mai 2018. Afin d'obtenir un échantillonnage équilibré, une réunion de consultation avec des experts locaux a été organisée avant le début de l'enquête dans le but d'identifier des zones représentatives de l'éventail des conditions socio-économiques des résidents. Les participants à la consultation (qui comprenaient des membres de l'équipe de projet locale et des membres de différentes organisations de la société civile) ont été invités à classer chacune des 78 sous-unités de recensement de la ville (dont les données étaient disponibles pour le recensement de 2014) en quatre catégories différentes: 1) *Faible revenu*, 2) *Revenu moyen*, 3) *Revenu élevé* et 4) *Revenu très élevé*. Des informations complémentaires ont également été fournies sur le taux d'immigration récente et la période d'urbanisation de chaque sous-unité. Les résultats de la consultation ont éclairé le choix de 15 sous-unités de recensement ciblées par l'enquête et considérées comme représentatives des autres sous-unités de la ville (voir Figure 3).

[2] Note: cette activité n'était pas initialement prévue dans la proposition..

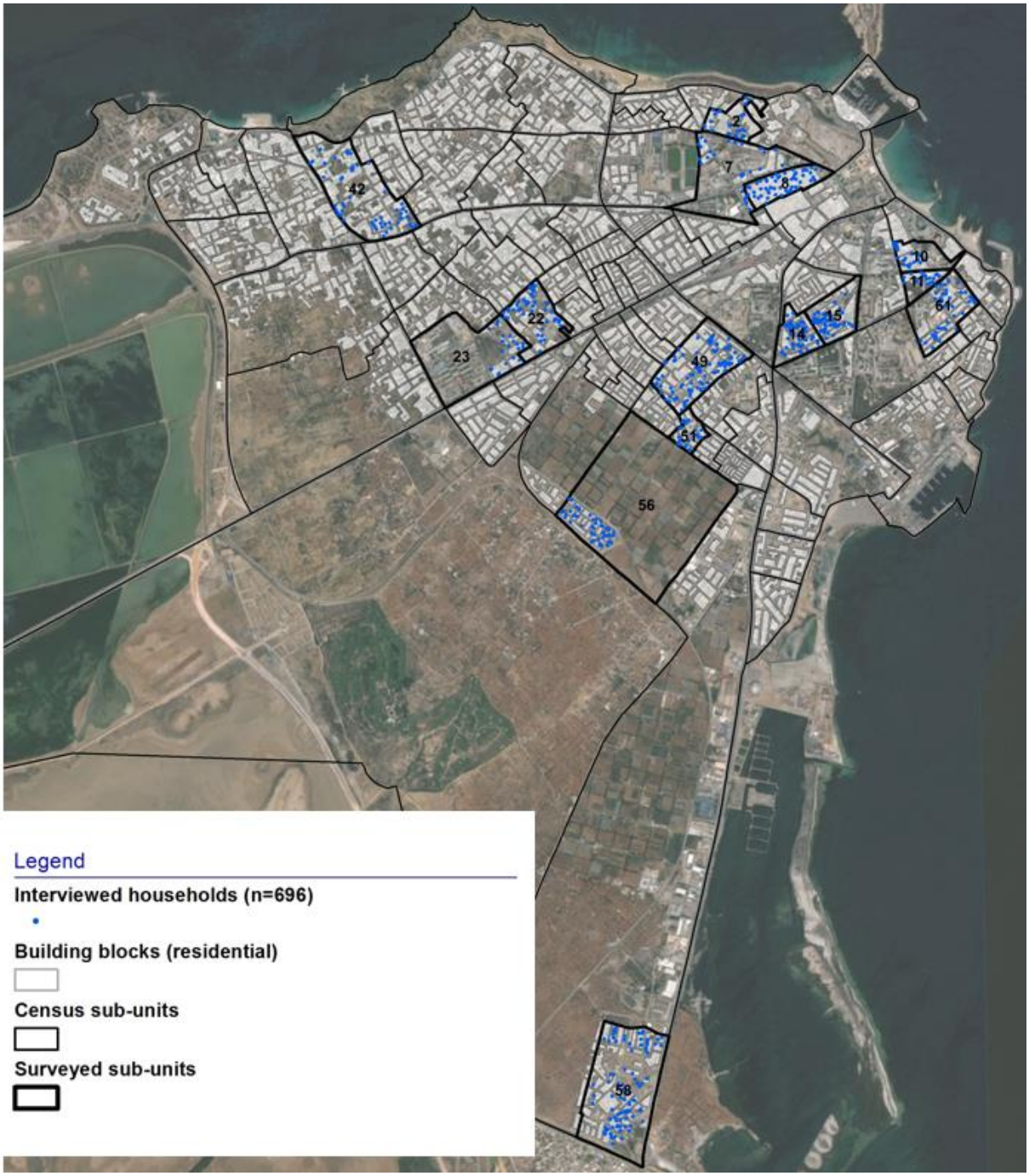

Figure 3: Localisation des ménages interrogés

Étant donné l'accent mis sur les crues éclair, on a choisi n'enquêter que les ménages situés au rez-de-chaussée. 15 enquêteurs locaux recrutés ont suivi une formation pour se familiariser avec la portée du projet, le questionnaire et les techniques d'enquête génériques. Le questionnaire était divisé en quatre parties différentes:

a) Connaissance des paramètres de risque (11 questions)

b) Prévention et préparation (21 questions)

c) Caractéristiques du ménage (13 questions)

d) Composition et besoins du ménage (46 questions)

Chaque enquêteur a été ensuite affecté à des immeubles résidentiels individuels choisis dans les 15 sous-unités de recensement ciblées. Au cours de l'enquête, 727 interviews ont été réalisées (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Tableau 3: Répartition des interviews dans les 15 sous-unités

Sous-unité de recensement	Nombre d'interviews réalisées	Pourcentage des ménages interrogés (estimation)
2	29	17 %
7	31	19 %
8	56	15 %
10	22	14 %
11	21	18 %
14	56	17 %
15	53	18 %
22	51	20 %
23	25	18 %
42	55	26 %
49	117	14 %
51	24	11 %
56	47	12 %
58	94	13 %
61	46	11 %
TOTAL	**727**	**15** %

L'estimation du nombre de ménages dans chaque unité a été obtenue en divisant la population totale (disponible grâce aux données du recensement) pour un ménage moyen de 4,5 personnes (d'après l'analyse des 150 premières interviews). Les questionnaires ont ensuite été numérisés par un groupe d'énumérateurs sélectionnés. Après le nettoyage des données, 696 questionnaires ont été conservés, en fonction du pourcentage de données manquantes.

La Figure 4 montre la répartition des interviews selon le sexe et les différents groupes d'âge, la taille des ménages, ainsi que le niveau de scolarité et le revenu.

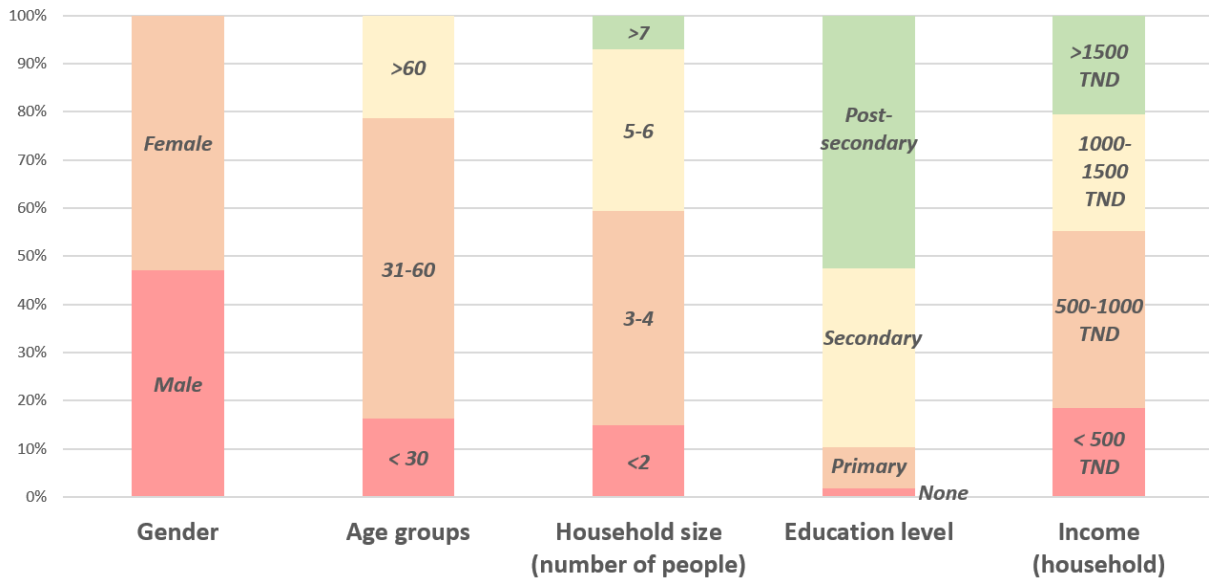

Figure 4: Répartition des interviews selon le sexe, les groupes d'âge, la taille du ménage, le niveau d'éducation et le revenu après traitement des données (n = 696)

3.3.3 Indice de vulnérabilité

Étant donné que tous les indicateurs de vulnérabilité représentent des pourcentages (par exemple, le pourcentage de ménages vivant en dessous du seuil national de pauvreté, etc.), il n'a pas été nécessaire de normaliser les données pour ces indicateurs. Cependant, pour certains indicateurs (par exemple, le pourcentage de ménages ayant des économies, le pourcentage de ménages bénéficiaires des fonds, etc.), la direction de l'indicateur a dû être modifiée pour garantir que des scores élevés contribuent toujours à une augmentation de la vulnérabilité. Avant d'agréger les indicateurs individuels de vulnérabilité sous forme d'indice, une enquête en ligne a été envoyée aux acteurs locaux sélectionnés entre le 15 et le 31 août 2018 afin d'évaluer la pertinence de chaque indicateur de vulnérabilité sociale face aux crues éclair. Dans le sondage en ligne, on a demandé aux participants d'indiquer le poids relatif (sur une échelle de 0 à 4) que chaque indicateur devrait avoir dans l'indice final, en fonction de leur perception et connaissance du contexte local. Sept experts locaux ont participé à l'enquête. Pour chaque indicateur, les pondérations moyennes exprimées par les parties prenantes ont été prises en compte lors de l'élaboration de l'indice. En outre, l'écart-type a été analysé afin d'évaluer le niveau d'accord ou de désaccord des experts sur les poids des indicateurs. Les indicateurs pondérés ont ensuite été agrégés en un indice de vulnérabilité sociale pour chacune des 15 sous-unités échantillonnées en utilisant l'agrégation arithmétique pondérée :

$$Social\ vulnerability = \sum_{i=1}^{n} w_i x_i$$

où n est égal au nombre d'indicateurs de vulnérabilité, w_i sont les pondérations pour chaque ensemble de données normalisé x_i. Un score de risque final pour chacune des 15 sous-unités a ensuite été calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$Risk = flash\ flood\ exposure * social\ vulnerability$$

4 Résultats

4.1 Risques

La Figure 5 montre les résultats du modèle de crue éclair pour le scénario HQ100, où le bleu clair représente un risque modéré, le bleu moyen un risque important et le bleu foncé un risque extrême de crue éclair. En cas de crue éclair, les eaux de ruissellement sont canalisées le long des routes principales, qui suivent leur cours jusqu'à ce que l'eau s'accumule aux zones à risque de la ville. Au cours d'un événement pluvieux durant 100 ans, la partie Est de la ville est particulièrement influencée par les crues éclair.

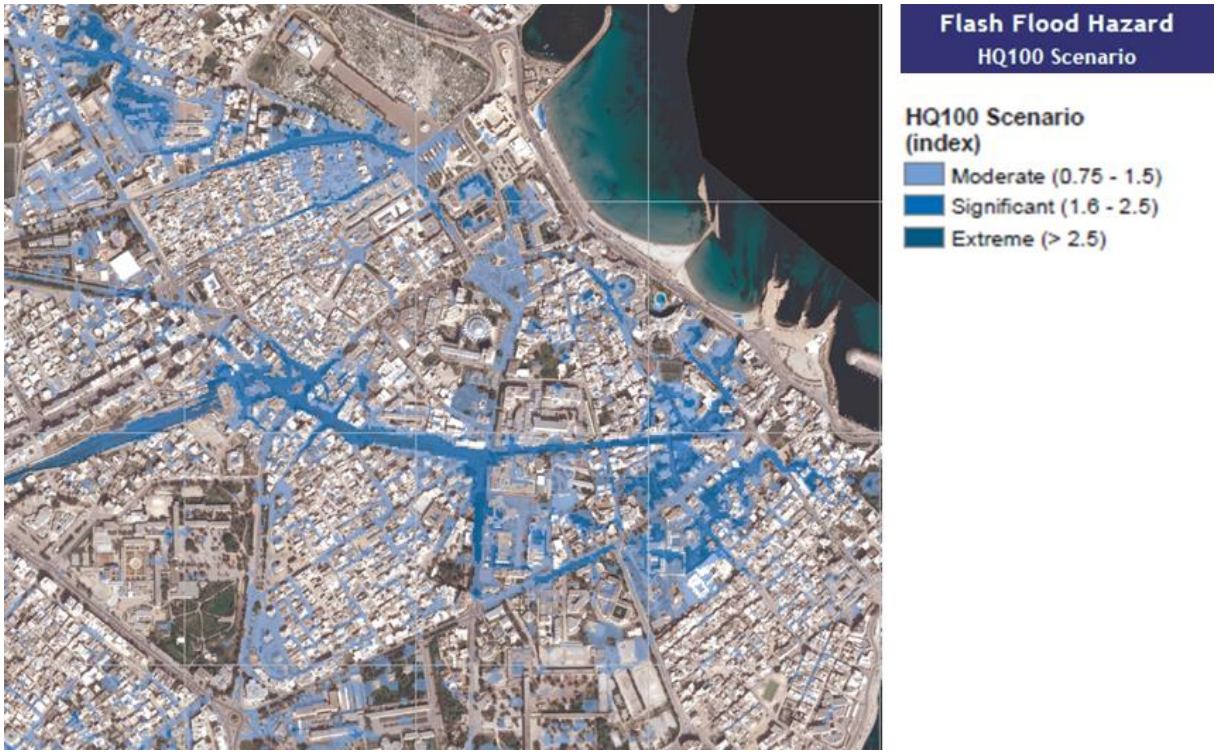

Figure 5: Risque d'inondation éclair à Monastir (période de récurrence de 100 ans)

Pour l'analyse de l'érosion côtière, le littoral de Monastir a été divisé en 6 segments côtiers qui ont été analysés en conséquence. La Figure 6 montre l'analyse de l'érosion côtière qui a été réalisée pour la partie 2 de la côte de Monastir. La région est dominée par un terrain escarpé avec des pentes plus douces à l'Est. L'ensemble de la section a été entièrement développé en termes de mesures de protection.

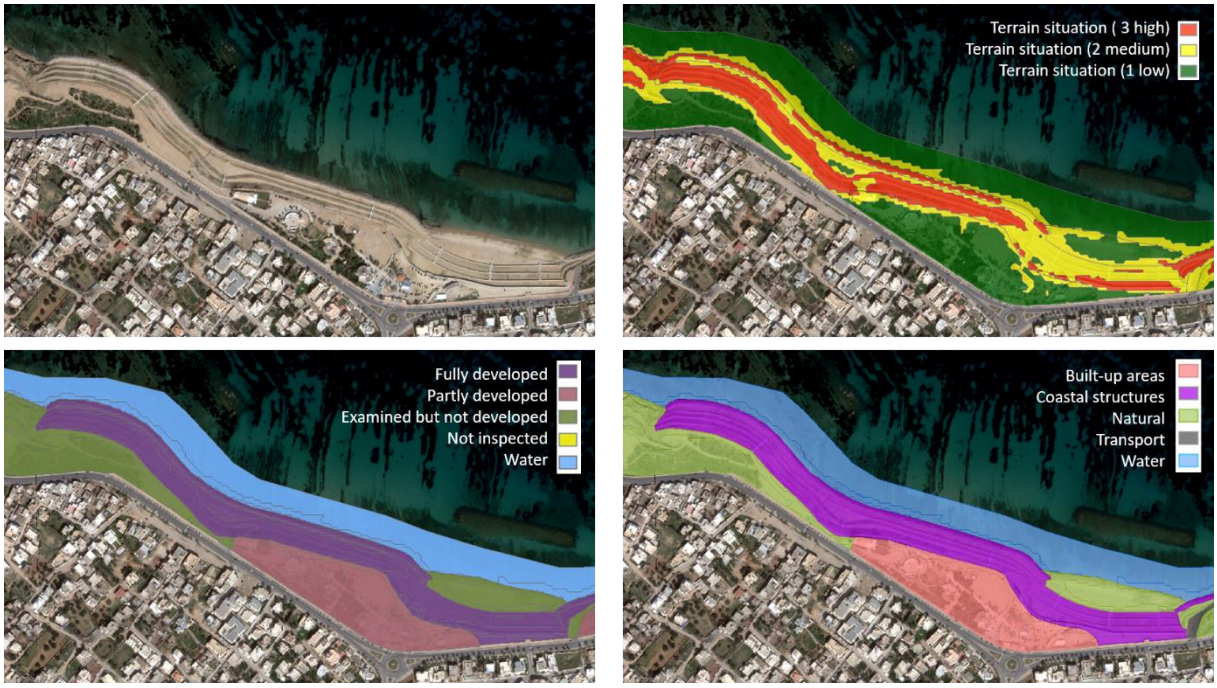

Figure 6: Analyse de l'érosion côtière dans la partie 2

Dans la partie Est, des digues avec des canaux de drainage ainsi que des promontoires brise-lames ont été installés (Figure 7.1). Dans la partie Ouest, des enrochements en combinaison avec des canaux de drainage verticaux et horizontaux ont été construits (Figure 7.2, Figure 7.3). Selon les experts de la municipalité, les mesures mises en œuvre ont permis de réduire l'érosion antérieure dans la zone.

Figure 7: Partie 2 - 1) Les digues 2) Les enrochements 3) Les canaux de drainage

Pour une description des autres sections de la côte de Monastir et une illustration plus détaillée du flux de travail pour l'analyse de l'érosion côtière, voir les rapports des livrables 1.1 et 2.2.

4.2 Exposition

L'exposition de la population à une crue éclair de la période de récurrence de 100 ans est représentée en pourcentage de la population totale dans chaque sous-unité de recensement. Au total, 8 871 personnes (9,53 % de la population totale) pourraient être touchées par un événement d'une telle envergure. L'analyse a été effectuée à l'échelle sous-urbain (Figure 8) et à l'échelle du bloc de construction (Figure 9).

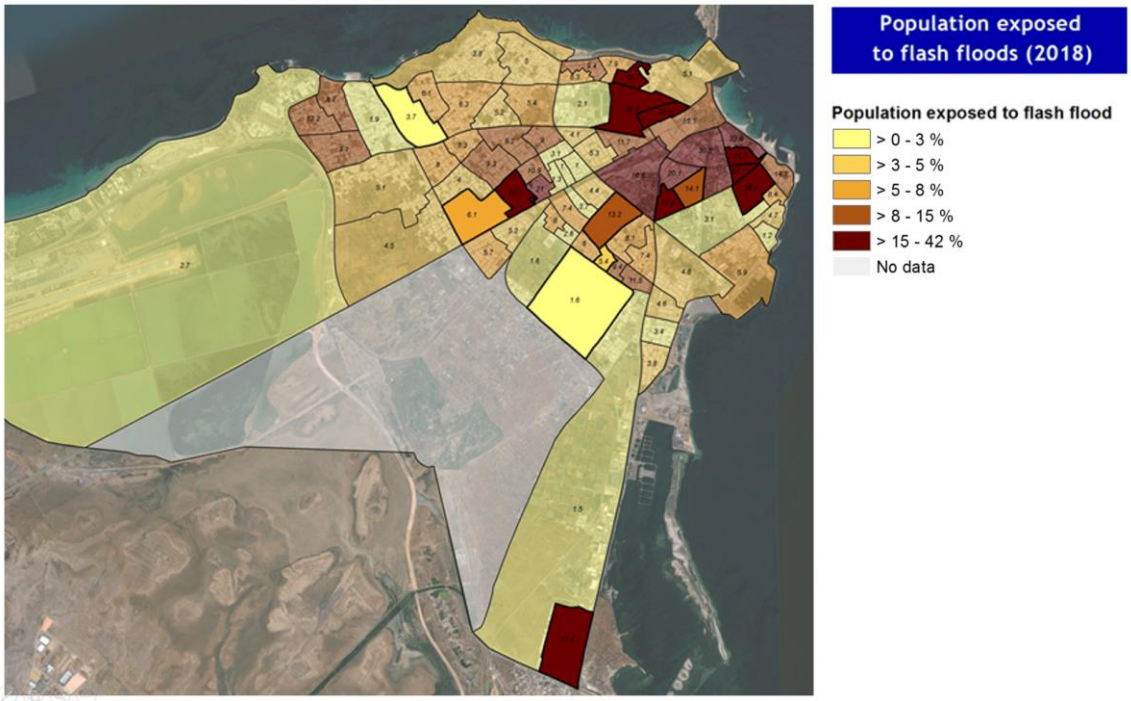

Figure 8: Exposition de la population aux crues éclair (période de récurrence de 100 ans, niveau des blocs de construction)

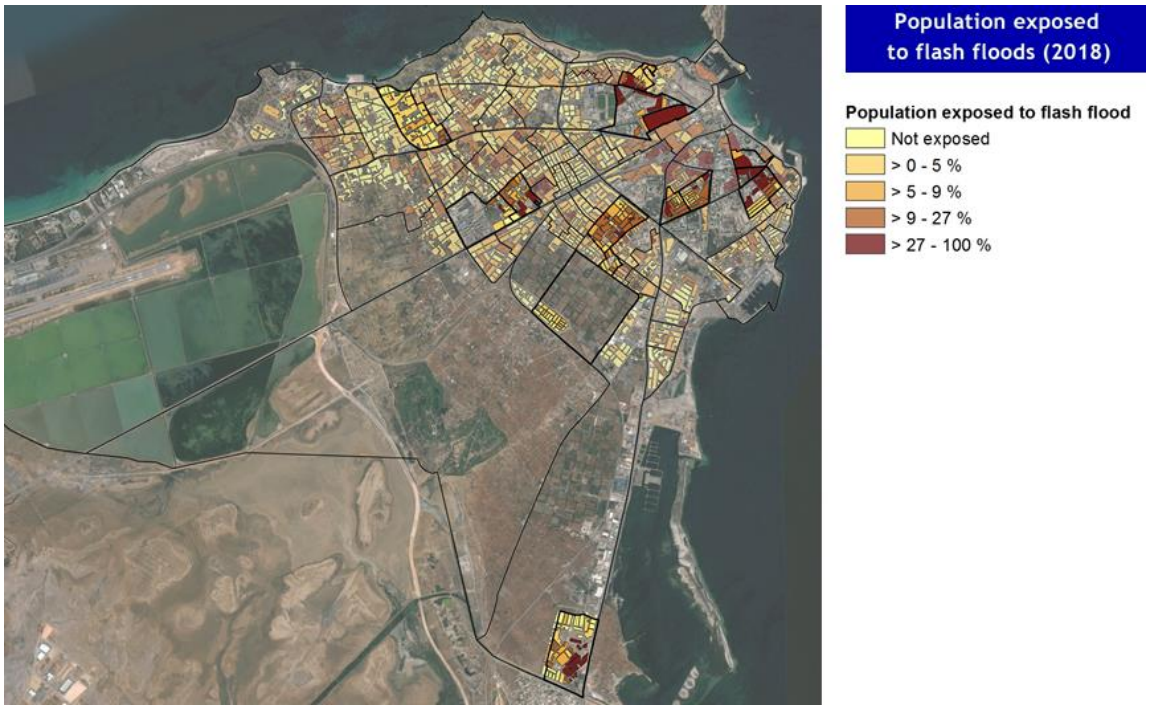

Figure 9: Exposition de la population aux crues éclair (période de récurrence de 100 ans, niveau des blocs de construction)

L'analyse montre que l'exposition de la population est généralement plus élevée dans les quartiers les plus anciens de la ville (*la Médina*), avec 36,5 % des personnes exposées, et dans la partie orientale du centre-ville, de construction plus récente, où elle varie de 16,6 à 57,1 % sur différentes subdivisions contiguës. Ces résultats sont cohérents avec la densité résidentielle de ces zones, qui sont en même temps fortement affectées par le risque d'inondation, aggravé par les mauvaises conditions du le réseau d'approvisionnement en eau.

4.3 Vulnérabilité sociale aux crues éclair

4.3.1 Indicateurs

Le Tableau 4 présente une vue d'ensemble des principaux indicateurs de vulnérabilité sociale pertinents dans le contexte des crues éclairs, répartis selon leurs principales composantes : vulnérabilité, manque de capacité d'adaptation à court terme et manque de capacité d'adaptation à long terme. Il énumère les indicateurs finaux, leur source de données, la pondération attribuée par les experts locaux, leur couverture géographique et l'impact positif ou négatif qu'ils ont sur la vulnérabilité sociale aux crues éclair (" direction ").

Tableau 4: Indicateurs de vulnérabilité

INDICATEURS DE VULNÉRABILITÉ (CRUES ÉCLAIR)

Catégorie		Indicateurs (consultation d'experts et revue littéraire)	Code	Jeux de données / proxy disponibles	Direction*	Poids (0-1)**	Source de données	Couverture
Susceptibilité	Pauvreté et revenu	Ménages sous le seuil de pauvreté national (%)	SUS_POV	Personnes avec moins de 120 TND / mois (%)	+	0.79	EM	15 sous-unités
		Taux de chômage (%)	SUS_UNE	Personnes âgées de plus de 15 ans (qui ne fréquentent pas actuellement l'école) au chômage (%)	+	0.54	EM *Recensement*	15 sous-unités *Ville entière*
		Ratio de dépendance (%)	SUS_DEP	Population <15 &> 60 ans divisée par la population en âge de travailler (15-60 ans)	+	0.39	EM *Recensement*	15 sous-unités *Ville entière*
	État de santé	Personnes handicapées (%)	SUS_DIS	Personnes à mobilité réduite et nécessitant une assistance spéciale (%)	+	0.61	EM	15 sous-unités
	Développement urbain anarchique	Maisons résidentielles construites illégalement (%)	SUS_LEG	Maisons résidentielles construites illégalement (%)	+	0.82	Télédétection	Ville entière
	Perception du risque	Perception des risques de la population locale (catégorique)	SUS_PER	Ménages qui sont situés dans des zones sujettes aux inondations mais qui ne le pensent pas (%)	+	0.75	EM	15 sous-unités
Manque de capacité d'endurance	Système d'Alerte Précoce (SAP)	Disponibilité d'un SAP (oui / non)	n/a	n/a	-	n/a	n/a	n/a
		Ménage ayant accès à la radio, à la télévision ou à Internet (%)	n/a	n/a	-	n/a	n/a	n/a
	Accessibilité (évacuation et intervention d'urgence)	Ménages accessibles en cas d'inondation (%)	n/a	n/a	-	n/a	n/a	n/a
		Nombre de personnes formées à la gestion de crise par 1 000	CC_CRI	Personnes formées aux premiers secours (%)	-	0.46	EM	15 sous-unités
		Nombre de camions / pompes / ambulances par 1 000	n/a	n/a	-	n/a	n/a	n/a
		Nombre de médecins pour 1000	n/a	n/a	-	n/a	n/a	n/a
	État du bâtiment	Maisons à plus d'un étage (%)	CC_STO	Ménages avec accès à l'étage supérieur (%)	-	0.46	EM	15 sous-unités
	capital financier	Ménages ayant des épargnes (%)	CC_FIN	Ménages disposant d'une épargne d'une valeur égale à un mois de revenu (%)	-	0.50	EM	15 sous-unités
		Ménages ayant accès à des crédits / prêts (%)	CC_CRE	Ménages qui peuvent prêter suffisamment d'argent d'une personne privée OU obtenir un crédit d'une banque pour soutenir le ménage et surmonter une urgence (%)	-	0.46	EM	15 sous-unités
		Ménages recevant des fonds (%)	CC_REM	HHs recevant des transferts de fonds (%)	-	0.17	EM	15 sous-unités
	Assurance	Ménages avec assurance inondation (%)	CC_INS	Ménages sans assurance inondation (%)	+	0.50	EM	15 sous-unités
	Fonds pour imprévus	Budget de recouvrement par habitant (DT)	n/a	n/a	-	n/a	n/a	n/a
	Capital social	Ménages disposant d'un soutien social / d'une aide extérieure (%)	CC_SOC	Ménages pouvant compter sur une aide extérieure (%)	-	0.46	EM	15 sous-unités
	Aide gouvernementale	Ménages ayant souscrit à l'aide publique (%)	CC_AS1 / CC_AS2	Ménages ont souscrit à une aide gouvernementale (%)	+	0.61	EM	15 sous-unités
Manque de capacité d'adaptation	Education	Population ayant un niveau d'études postsecondaires (%)	AC_EDU	Population ayant un niveau d'études postsecondaires (%)	-	0.32	EM *Recensement*	15 sous-unités *Ville entière*
	Propriété du logement	Locataires (%)	AC_OWN	Locataires (%)	-	0.54	EM	15 sous-unités
	Plans et strategies	Disponibilité d'un plan d'adaptation pour Monastir	n/a	n/a	-	n/a	n/a	n/a
		Planification urbaine tenant compte du risque (intégration de l'information sur les risques dans le Plan d'aménagement)	n/a	n/a	-	n/a	n/a	n/a

** Les scores élevés des indicateurs augmentent [+] ou diminuent [-] la vulnérabilité ; **selon l'avis d'experts locaux (n = 7) - pour la construction de l'indice, les pondérations sont rééchelonnées jusqu'à concurrence de 1*

4.3.2 Indice de vulnérabilité sociale (crues éclair)

La Figure 10 montre la variation spatiale de l'indice de vulnérabilité entre les sous-unités enquêtées (les scores sont libellés en pourcentages pour faciliter la comparaison). Un indice égal à zéro n'indique aucune vulnérabilité, tandis qu'un indice égal à 100 représente une vulnérabilité extrêmement élevée. Les résultats montrent que la vulnérabilité sociale est moyenne à élever dans les 15 sous-unités avec une très faible variabilité (note minimale: 38; note maximale: 53).

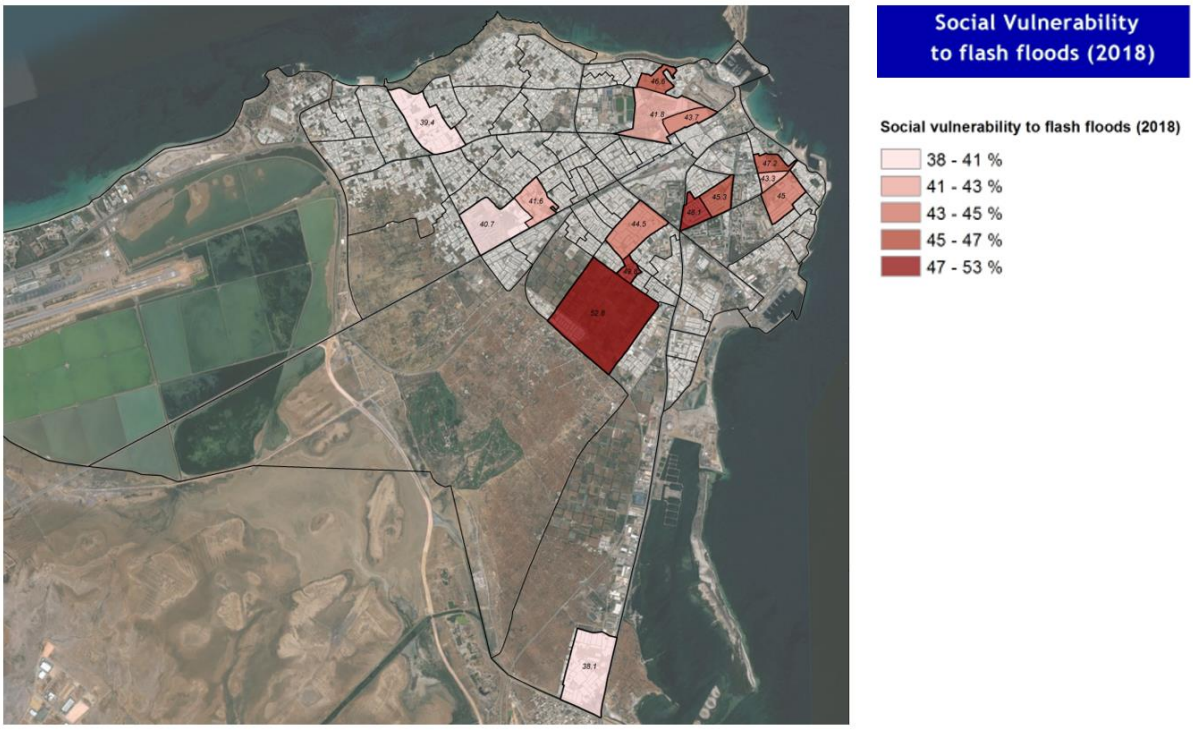

Figure 10: Vulnérabilité sociale liée aux crues éclair à Monastir

La Figure 11 montre la contribution de chaque indicateur à la valeur finale de l'indice pour chacune des 15 sous-unités échantillonnées et fournit ainsi des points d'entrée pour réduire la vulnérabilité. Le graphique montre clairement que si certains indicateurs contribuent de manière presque égale à la vulnérabilité sociale dans l'ensemble des 15 sous-unités (par exemple, l'absence d'assurance inondation), d'autres indicateurs sont plus variables dans l'espace (par exemple, le pourcentage des ménages vivant en dessous du seuil de pauvreté), ce qui justifie des solutions ciblées et adaptées au milieu.

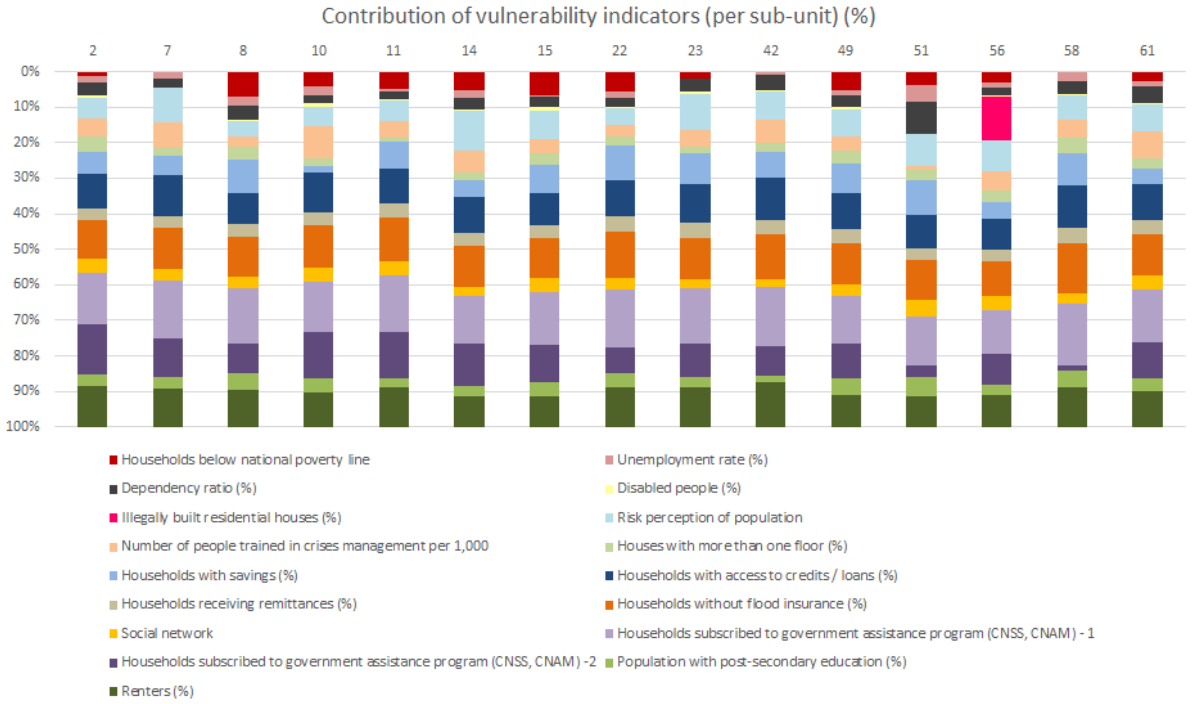

Figure 11: Profils de vulnérabilité des 15 sous-unités échantillonnées

4.3.3 Risque de crues éclair

La Figure 12 montre le risque de crue éclair à Monastir en fonction des données sur les risques, l'exposition et la vulnérabilité décrites ci-dessus. En ce qui concerne l'indice de vulnérabilité sociale, un score de zéro indique l'absence de risque, tandis qu'un score de 100 représente un risque très élevé. Les résultats montrent que le risque de crue éclair est faible à moyen selon le quartier (note minimale : 0 ; note maximale : 24). Toutefois, étant donné que la vulnérabilité sociale aux crues éclair est de moyenne à élever dans l'ensemble de la ville, le risque pourrait augmenter considérablement si les crues éclair devenaient plus fréquentes à l'avenir en raison du changement climatique et de l'imperméabilisation des surfaces.

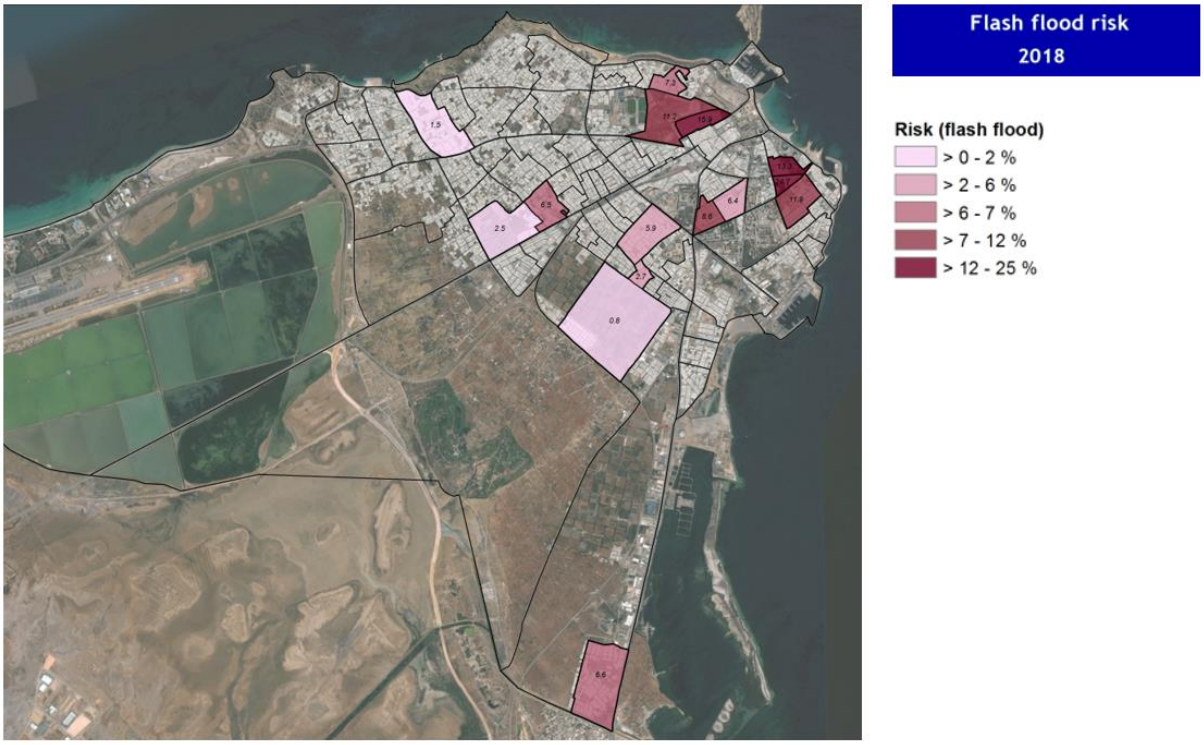

Figure 12: Risque de crues éclairs à Monastir

Le Tableau 5 résume les Scores finaux pour les dangers (en termes de superficie touchée), l'exposition (en termes de population), la vulnérabilité sociale et le risque global de crues éclair pour les 15 sous unités ciblées par l'enquête.

Tableau 5: Scores de risque d'inondation subite pour les 15 sous-unités

Sous-unité de recensement	Risque de crue éclair	Exposition de la population	Vulnérabilité sociale	Risque de crue éclair
2	0.27	0.16	0.47	0.07
7	0.42	0.27	0.42	0.11
8	0.47	0.36	0.44	0.16
10	0.43	0.28	0.47	0.13
11	0.68	0.57	0.43	0.25
14	0.35	0.18	0.48	0.09
15	0.31	0.14	0.45	0.06
22	0.26	0.16	0.42	0.07
23	0.10	0.06	0.41	0.02
42	0.08	0.04	0.39	0.01
49	0.20	0.13	0.44	0.06
51	0.16	0.05	0.50	0.03
56	0.05	0.02	0.53	0.01
58	0.30	0.17	0.38	0.07

61	0.47	0.26	0.45	0.12

Références

DEFRA. (2006). Flood risks to people. Phase 2: Defra Environment Agency.

Engman, E.T. (1986). Roughness coefficients for routing surface runoff. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 112 (1):39-53.

Hagenlocher, M., Renaud, F.G., Haas, S. & Sebesvari, Z. (2018). Vulnerability and risk of deltaic social-ecological systems exposed to multiple hazards. *The Science of the total environment*, 631-632, pp. 71–80.

IPCC (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds Field et al. (Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA).