

THESE

En vue de l'obtention du : **DOCTORAT**

Centre de Recherche : CNRE2D

Structure de Recherche : Géosciences, Eau et Environnement

Discipline : Sciences de la Terre

Spécialité : Géorisques, Géostatistiques, Géosciences et Environnement

Présentée et soutenue le 12/03/2022 par :

Narjiss SATOUR

Approches multidimensionnelles pour l'évaluation de la résilience urbaine face aux inondations : Cas des Communes urbaines M'diq-Fnideq et Martil (Nord-Maroc)

JURY

Ilias KACIMI	PES, Université Mohammed V, Faculté des Sciences - Rabat	Président / Rapporteur
Mustapha MAÂTOUK	PES, Université Abdelmalek ESSAADI, Faculté des Sciences et Techniques -Tanger	Rapporteur/ Examineur
Vincent VALLES	PES, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse- France	Rapporteur/Examineur
Saida NIAZI	PES, Université Mohammed V, Faculté des Sciences - Rabat	Rapporteur/Examineur
Otmane RAJI	PA, Université Mohammed VI Polytechnique - Ben Guérir	Invité
Badreddine BENYACOUB	PA, Institut National de Statistique et d'Economie Appliquée- Rabat	Invité
Nabil EL MOÇAYD	PA, Ecole Centrale-Casablanca	Invité
Nadia KASSOU	PES, Université Mohammed V, Faculté des Sciences - Rabat	Directeur de Thèse

Année Universitaire : 2021/2022

« Si nous ne changeons pas notre façon de penser, nous ne serons pas capables de résoudre les problèmes que nous créons avec nos modes actuels de pensée »

Albert Einstein

Remerciements

Ce travail de thèse de Doctorat a été effectué dans le cadre des recherches effectuées au Laboratoire Géosciences, Eau et Environnement (LGEE), à la Faculté des sciences de Rabat, Centre de Recherche en Eau, Ressources Naturelles, Environnement et Développement Durable (CERNE2D) de l'Université Mohamed V.

Cette thèse n'aurait pas vu le jour sans le soutien, l'aide et les encouragements de plusieurs personnes auxquelles je tiens absolument à exprimer mes sincères remerciements.

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma plus profonde gratitude à **Nadia KASSOU**, Professeure à la Faculté des Sciences de Rabat, qui a accepté de diriger ce travail avec beaucoup d'intérêt. Merci encore pour m'avoir fait confiance tout au long de cette thèse.

Mes remerciements vont également au **Pr. Ilias KACIMI**, le Chef du Laboratoire Géosciences, Eau et Environnement, pour m'avoir accueilli au sien de son équipe de recherche en 2015. Je tiens à le remercier pour le temps qu'il m'a accordé en dépit de toutes ses responsabilités et préoccupations, et pour codiriger cette thèse. Merci pour vos encouragements permanents Monsieur Ilias et votre soutien inestimable tout au long de ces années de recherche. Vous m'avez également impliqué dans de nombreuses manifestations scientifiques, et activités pédagogiques. Merci aussi à la confiance que vous m'avez accordé pour entamer des collaborations externes avec d'autres laboratoires de recherche, notamment avec le Laboratoire des Mathématiques, Informatique et Applications - Sécurité de l'Information à la Faculté des Sciences de Rabat ; le Laboratoire des Mathématiques, Recherche opérationnelle et informatique de la Faculté des sciences de Fès, ainsi qu'à l'Université Mohamed VI Polytechniques de Bengurir.

Je remercie, **Pr. Mustapha MAATOUK**, Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Tanger, pour avoir accepté d'examiner ma thèse malgré toutes ses responsabilités, pour son soutien et pour ses encouragements.

Je souhaiterais exprimer ma gratitude à Monsieur **Vincent VALLES**, PES, Professeur à Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse pour avoir participer à ce jury de thèse en s'engageant à être examinateur.

Pr. Saïda NIAZI, Professeure à la Faculté des Sciences de Rabat, Université Mohammed V, Rabat (Maroc) pour avoir accepté de juger ce travail et être rapporteur de ma thèse. Merci ma très chère, pour le temps que tu m'as accordé, ta gentillesse, ton esprit ouvert, tes encouragements permanents tout au long de ces années. J'ai appris beaucoup de ta vivacité, de

l'amour que tu portes pour ton métier et tes étudiants. Je t'exprime toute ma gratitude et mes respectueux remerciements pour ton aide et ta patience durant les corrections de cette thèse.

Je tiens à remercier aussi :

Pr. Otmane RAJI, enseignant chercheur à l'Université Mohammed VI Polytechnique, pour m'avoir soutenu, orienter par ses nombreux conseils, ses qualités humaines et son aide amicale durant mes premiers pas au vif du sujet, pour sa patience, pour sa disponibilité constante malgré ses nombreuses préoccupations et responsabilités, je lui suis reconnaissante pour tout son soutien et sa rigueur au travail est un exemple pour moi.

Pr. Badreddine BEN YACOUB, Professeur à l'Institut National de statistique et d'économie appliquée de Rabat. Je le remercie très chaleureusement pour son soutien, ses conseils, sa contribution à la réussite de ce travail, son assistance, à la phase de la deuxième et la troisième approche, son esprit de partage, sa patience et sa disponibilité m'ont été d'une grande aide. Merci pour avoir partagé avec moi beaucoup de meilleurs et aussi difficiles moments durant les dernières années de thèse.

Pr. Zakaria ENNAIMANI, Professeur de l'enseignement supérieur à l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Oujda. Il a grandement contribué à ce travail par son assistance à l'utilisation des réseaux de neurones artificiels et sa contribution à la réussite de ce travail. Merci pour votre esprit d'écoute, et votre dynamisme.

Je remercie très chaleureusement **Pr. Nabil EL MOCAYD**, enseignant chercheur à l'Université Mohammed VI Polytechnique, qui m'a bien accueilli dans son unité de recherche, en portant un intérêt très particulier à ce travail. Je le remercie vivement pour son aide, sa patience et ses précieux conseils.

Mes remerciements s'adressent aussi aux représentants de la préfecture de M'diq Fnideq **Mr. Abdelkhalek HADRAOUI** et **Mr. Lahbib ZARYOUH** pour leur accueil chaleureux, leur disponibilité, le sens de partage et surtout pour l'intérêt qu'ils accordent à ce travail.

Pr. EL HAJJAJI Souad, directrice du Centre Eau, Ressources Naturelles, Environnement et Développement Durable (CRENE2D) et la vice Doyenne chargée de la recherche à la Faculté des Sciences de Rabat, Université Mohammed V, Rabat (Maroc) pour m'avoir accueilli dans son centre et pour la confiance accordée à l'organisation et au suivi de l'évènement du Centre Water Energy-Nexus 2019.

Je remercie très chaleureusement **Professeure Aicha ABBAD** pour son atelier de *mind mapping*, où j'ai pu dresser les premières lignes du plan de cette thèse. Ses précieux conseils,

sa motivation et son esprit jeune m'en beaucoup inspiré lors des moments difficiles de la rédaction de cette thèse.

Je suis gré à **Mr. Khalid MERGAA, Directeur Régional de l'environnement de la région Tanger-Tétouan-Al Hoceima** pour son accueil et sa disponibilité. Merci pour les conseils et les suggestions durant les fructueuses discussions que nous avons eu.

Je tiens aussi à remercier tous mes professeurs, notamment **Pr. Lina TAZI** pour ses encouragements permanents, son implication à l'expérience « **Ma Thèse en 180 secondes** », et son encadrement durant la période de cette très belle expérience. Un grand merci aussi pour tout le corps administratif de la Faculté des Sciences de Rabat en particulier le vice Doyen chargé des affaires académique et pédagogiques **Pr. Mohamed TABYAOUI**, pour tous les services rendus et pour leur disponibilité.

Un remerciement très particulier à **Mme Rachida BOUJRADA**, la secrétaire du département de géologie et **Mme Karima ECHTIOUI** la secrétaire du Cedoc pour leur disponibilité permanente et toutes les facilités présentées, pour leur soutien et le temps qu'elles m'ont accordé.

Je tiens aussi à remercier tous mes collègues et amies/amis, **Loubna Terhzaz, Aicha Erafiq, Manare Adnani, Ahlam Elhassan, Mounir Ouzir, Ismail Mohsine** pour toutes les services et aides qu'ils m'ont offerts tout au long de ce parcours, pour leur soutien moral, leurs encouragements et le temps consacré en dépit de leurs préoccupations. A mes **Toasties du Club Rabat, les Toastmasters** avec qui j'ai passé des moments chargés d'émotion et de positivité, je dis un grand Merci pour cet environnement convivial d'apprentissage.

Cette thèse a été rendu possible **grâce au soutien moral et matériel** de ma famille : **ma très chère mère HSSAIN Najima, mon très cher papa SATOUR Abdesslam, et mes deux sœurs Insaf et Sanae**. Je ne les remercierais jamais assez pour leur amour, affection, encouragement, patience, et tout ce qu'ils m'ont donné, sans oublier aussi toute ma grande famille dont ma très chère tante **Khadija** qui m'a beaucoup soutenue moralement et financièrement.

Je garde en mémoire des moments inoubliables ayant marqué ces années de recherche en recevant des prises en charge de mobilité ; Merci à :

- **American Geophysical Union -AGU-** pour avoir fourni une prise en charge totale de ma participation au Meeting « AGU-JPGU Joint meeting à Makuhari Messe - Japan en 2017 ».
- **Blue Mission Training**, organisé par the Euro-Mediterranean University (EMUNI University), 2017 Slovenia.

- **The Regional Sciences Association International (RSAI)** Nurturing talent workshop-application 2020.
- **Copernicus- NHESS journal** pour la prise en charge de la première publication issue de ce travail.
- **Academic Writing course** offert par the Regional English Language Office at the U.S Ambassade Rabat.

Enfin, je reste très reconnaissante à **ceux qui m'ont dit NON**, un jour ou l'autre pour une aide, un conseil, un suivi ...c'est grâce à eux que je l'ai fait par moi-même.

Merci

Résumé

Dans un contexte du changement climatique et face à l'aléa inondation, la recherche sur l'évaluation de la résilience aux inondations urbaines est novatrice au Maroc. L'objectif de ce travail est de fournir des orientations opérationnelles sur la méthode adoptée pour évaluer la résilience des communes urbaines de la préfecture M'diq-Fnideq au Nord du Maroc face à des inondations récurrentes. Trois indices composites *Flood Résilience Index (FRI)* ont été utilisés en utilisant l'approche Top-Down et le Maching Learning : (i) FRI (1) élaboré par une normalisation simple et une pondération égale, (ii) FRI (2) défini par l'analyse en composantes principales (ACP) et (iii) FRI (3) déterminé par les réseaux de neurones artificiels (ANN). Les résultats montrent globalement, une faible résilience aux inondations sur ce territoire, particulièrement au niveau de plusieurs quartiers des deux communes de Fnideq et Martil, notamment au niveau des berges de l'Oued Fnideq, de la gare routière, du projet résidentiel Almassira, Rass Louta, et Aghattass et des quartiers Diza et Driwat. Quant à la ville de M'diq, elle présenterait une résilience modérée à élevée dans le centre urbain particulièrement à Sekka et les avenues Nil et Ibn Rochd ; et elle serait plus faible en périphérie (à Bouzaghlal). En outre, une analyse critique de la conception de ces indices composites a été présentée en suggérant la création d'un nouvel indice en croisant FRI (1) et FRI (3). Cette recherche transmet les enseignements aux décideurs et gestionnaires de la région de Tanger-Tétouan-Al-Hoceima afin d'adopter l'évaluation de la résilience comme processus utile pour mieux anticiper cet aléa avec des actions proactives, et parvenir à un consensus nécessaire lors de la prise de décision pour mieux concilier développement urbain et gestion des inondations

Mots clés: *Inondation urbaine- Résilience- Indice composite -Approche Top-Down- Maching learning- SIG- Préfecture Mdiq-Fnideq.*

Abstract

In a context of climate change and flood hazard, research on urban flood resilience assessment is innovative in Morocco. This work aims to provide operational guidance on the methodology adopted to assess the resilience of urban municipalities in the M'diq-Fnideq prefecture, in northern Morocco, to recurrent floods. Three composite Flood Resilience Indexes (FRI) were used using the Top-Down approach and Machine Learning: (i) FRI (1) developed by simple normalization and equal weighting, (ii) FRI (2) defined by Principal Component Analysis (PCA) and (iii) FRI (3) determined by Artificial Neural Networks (ANN). The results show overall, a low resilience to floods on this territory, particularly in several neighborhoods of the two municipalities of Fnideq and Martil, including the banks of Oued Fnideq, the bus station, the residential project Almassira, Rass Louta, and Aghattass and the neighborhoods Diza and Driwat. As for the city of M'diq, it would present a moderate to high resilience in the urban center especially in Sekka and Nil and Ibn Rochd avenues; and it would be weaker in the periphery (in Bouzaghlal). In addition, a critical analysis of the design of these composite indices was presented suggesting the creation of a new index by crossing FRI (1) and FRI (3). This research transmits the recommendations to decision makers and managers of the Tangier-Tetouan-Al-Hoceima region in order to adopt resilience assessment as a useful process to better anticipate this hazard with proactive actions, and to reach a necessary consensus during decision making to better reconcile urban development and flood management.

Key words: *urban floods – Resilience- Composite Indicator- multidimensional Approach - Machine learning- M'diq Fnideq prefecture-*

ملخص

في نطاق التغيرات المناخية وما ينتج عنها من كوارث طبيعية كالفيضانات المخلفة لخسائر مادية كبيرة. يعد تقييم القدرة على المجابهة أهم الدراسات التي تنبأها الدول المتقدمة لفهم وتحليل مدى قدرة تجمع عمراني عامة وبنياته التحتية خاصة لمواجهة الفيضانات والارتداد من الصدمة.

تتعلق هذه الأطروحة بتقييم القدرة على مجابهة الفيضانات بالمغرب وتعد الأول من نوعها بحيث تهدف إلى توفير توجيهات عملية حول الطريقة الأنجع والوسائل العملية المثلى لتقييم القدرة على مجابهة الفيضانات. وذلك من خلال تكوين ثلاثة مؤشرات على نطاق ثلاث جماعات ترابية بعمالة المضيق-الفنيدق في شمال المغرب.

تم تطوير المؤشر الأول- (1) *FRI* مؤشر القدرة على مجابهة الفيضانات عن طريق استعمال التطبيق البسيط والوزن المتساوي، والمؤشر الثاني، (2) *FRI* عن طريق تحليل المكونات الرئيسية (*PCA*) بينما يحدد المؤشر الثالث (3) بواسطة الشبكات العصبونية الاصطناعية عبر التعلم الآلي (*ANN*).

تظهر النتائج بشكل عام، ضعف القدرة على مجابهة الفيضانات في منطقة البحث بشكل عام وعلى مستوى عدة مناطق بجماعتي الفنيدق ومرتيل، على وجه الخصوص (ضفتي واد الفنيدق، المحطة الطرقية، مشروع المسيرة، راس لوطا، حي أغطاس، حي ديزا ودریوات). أما بالنسبة لمدينة المضيق، فالمؤشرات تكشف عن قدرة مجابهة متوسطة إلى عالية في الوسط الحضري (السكة، شارع النيل، شارع ابن رشد) وقدرة مجابهة منخفضة في ضواحي (بوزغلال). تقدم الأطروحة تحليلا نقديا لتصميم المؤشرات الثلاثة المركبة من خلال اقتراح إنشاء مؤشر جديد، عبر استعمال المؤشرين (1) *FRI* و (3) *FRI* وترسم الأطروحة بذلك صورة لقدرة الجماعات الترابية الحضرية لعمالة المضيق-الفنيدق على مجابهة الفيضانات، مصيغة بذلك أهم التوجيهات لصناع القرار بالمنطقة أولا من أجل استخدام تقييم القدرة على المجابهة كإجراء استباقي لتوقع خطر الفيضانات بشكل أفضل وثانيا للتوصل إلى التوافق لاتخاذ القرارات اللازمة لتفعيل القدرة على المجابهة و الارتداد من الصدمة وقت الحاجة.

الكلمات المفتاح: فيضانات، القدرة على المجابهة، مؤشرات القدرة على المجابهة، التعلم الآلي، الشبكات العصبونية، عمالة المضيق-الفنيدق.

REMERCIEMENTS.....	I
RESUME.....	V
ABSTRACT	VI
ملخص	VII
INTRODUCTION GENERALE	1
PARTIE 1 : RESILIENCE :	5
CONCEPT ET TERRITOIRE FACE AUX INONDATIONS	5
CHAPITRE 1 : CONCEPT DE LA RESILIENCE	6
I. INTRODUCTION.....	6
II. RESILIENCE: LE CONCEPT POLYSEMIQUE.....	6
III. NOTIONS APPARENTEES A LA RESILIENCE	10
III.1 Vulnérabilité et Résilience	10
III.2 Capacité d’adaptation et Résilience.....	11
IV. MODELES GENERIQUES ET OPERATIONNELS DE LA RESILIENCE	12
IV.1 Cycle adaptatif et Modèle de Panarchy.....	12
IV.2 Modèles à portée opérationnelle.....	14
V. RESILIENCE ET INSTANCES POLITICO-INSTITUTIONNELLES.....	15
VI. CONCLUSION.....	16
CHAPITRE 2 : RESILIENCE TERRITORIALE FACE AU RISQUE D’INONDATION FLUVIATILE.....	17
I. INTRODUCTION.....	17
II. RISQUES NATURELS EN TERRITOIRE URBAIN	17
II.1 Territoire urbain	17

II.2	Risque de catastrophes naturelles.....	19
III.	INONDATIONS EN TERRITOIRE URBAIN	21
III.1	Inondation: Caractéristiques selon la cinétique	21
III.2	Causes d'inondation	22
III.3	Impacts de l'inondation en territoires urbain et rural.....	24
III.3.1	Impacts des inondations fluviales en zones rurales.....	25
III.3.2	Impacts des inondations fluviales en zones urbaines	26
IV.	RESILIENCE TERRITORIALE FACE AUX INONDATIONS.....	27
V.	RESILIENCE ET GESTION DU RISQUE D'INONDATION EN TERRITOIRE URBAIN AU MAROC.....	28
VI.	CONCLUSION.....	34
	PARTIE 2 : ZONE D'ETUDE ET METHODOLOGIE	35
	CHAPITRE 1: CONTEXTES NATUREL, CLIMATIQUE ET SOCIOECONOMIQUE DE LA PREFECTURE MDIQ-FNIDEQ.	36
I.	INTRODUCTION.....	36
II.	PARAMETRES NATURELS DE LA PREFECTURE DE M'DIQ- FNIDEQ	36
II.1	Situation géographique et administrative	36
II.2	Caractéristiques géomorphologiques.....	37
II.3	Cadre géologique et structural.....	38
II.3.1	Domaine interne (Domaine d'Aboran)	38
II.3.2	Domaine des flyschs.....	40
II.3.3	Zones externes	40
II.4	Climat	41
II.4.1	Précipitations	42
II.4.2	Température.....	43
II.4.3	Vent	44
II.4.4	Climat maritime.....	44
II.5	Contexte hydrologique	45
II.5.1	Bassins hydrologiques et les eaux de surface	45
II.5.2	Eaux souterraines.....	51
II.5.3	Frange littorale.....	51
II.6	Biodiversité.....	53

II.7	Démographie et activités socioéconomiques	54
II.7.1	Population.....	54
II.7.2	Activités socio-économiques	55
III.	CONCLUSION.....	56
	CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE	57
I.	INTRODUCTION.....	57
II.	ANALYSE PRELIMINAIRE DES INONDATIONS HISTORIQUES.....	57
II.1	Missions de terrain et recueil des données	57
II.2	Etude de l'ampleur des impacts des inondations urbaines.....	58
II.3	Emergence du programme pour la Résilience territoriale au Maroc.....	59
III.	APPROCHES QUANTITATIVES PAR L'INDICE COMPOSITE.....	59
IV.	DEMARCHES METHODOLOGIQUES POUR L'EVALUATION DES INDICES DE RESILIENCE AUX INONDATIONS DANS LES COMMUNES URBAINES DE LA ZONE D'ETUDE.....	61
IV.1	Indice de résilience aux inondations FRI (1).....	62
IV.2	Indices de résilience aux inondations FRI (2) et FRI (3).....	65
V.	CONCLUSION	73
	PARTIE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION.....	74
	CHAPITRE 1 : ZONES « HOTSPOTS » DES INONDATIONS URBAINES DE LA PREFECTURE M'DIQ FNIDEQ.....	75
I.	INTRODUCTION.....	75
II.	RECONSTITUTION DES EVENEMENTS D'INONDATIONS (DE 1960 A 2021).....	75
III.	AMPLEURS ET IMPACTS DES INONDATIONS MAJEURES PAR COMMUNE	79
III.1	Commune de Fnideq	79
III.1.1	Etalement urbain	79
III.1.2	Impacts sur le réseau d'assainissement	81
III.1.3	Impacts sur le réseau d'électricité	81
III.1.4	Impacts sur le réseau d'approvisionnement en eau potable (AEP)	82

III.1.5	Impacts sur le réseau routier.....	82
III.2	Commune de M'diq.....	83
III.2.1	Etalement urbain	83
III.2.2	Impacts sur le réseau d'assainissement	84
III.2.3	Impacts sur le réseau d'électricité	84
III.2.4	Impacts sur le réseau routier.....	85
III.3	Commune de Martil	86
III.3.1	Etalement Urban.....	86
III.3.2	Impacts sur le réseau d'assainissement	87
III.4	Etalement urbain sur des zones humides : cas de lagune de Smir	88
IV.	CONCLUSION.....	89
 CHAPITRE 2: EVALUATION DE L'INDICE MULTIDIMENSIONNEL DE LA RESILIENCE FACE AUX INONDATIONS DES COMMUNES URBAINES DE FNIDEQ - MDIQ ET MARTIL		
90		
I.	INTRODUCTION.....	90
II.	APPROCHE <i>TOP-DOWN</i> POUR L'EVALUATION DE LA RESILIENCE FACE AUX INONDATIONS URBAINES DANS LES COMMUNES URBAINES DE LA PREFECTURE MDIQ-FNIDEQ.....	90
II.1	Indice de Résilience Naturelle	91
II.2	Indice de Résilience physique (Infrastructures)	93
II.3	Indice de Résilience sociale.....	95
II.4	Indice de Résilience économique.....	97
II.5	Variabilité spatiale de l'indice de résilience face aux inondations urbaines dans la préfecture de M'diq –Fnideq.....	99
III.	RESILIENCE : MOTEUR DU CHANGEMENT DU TERRITOIRE DE MDIQ-FNIDEQ	102
IV.	CONCLUSION.....	105
 CHAPITRE 3 : ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES ET MACHINE LEARNING POUR UNE EVALUATION DE L'INDICE DE RESILIENCE AUX INONDATIONS		
106		
I.	INTRODUCTION.....	106

II. CONSTRUCTION DES INDICES COMPOSITES FRI (2)	106
II.1 Analyse en Composantes Principales (ACP).....	106
II.2 Analyse spatiale des scores de l'Indice FRI (2).....	109
II.3 Résultat de la désagrégation de l'Indice FRI (2) sur ses composantes	110
III. CONSTRUCTION DES INDICES COMPOSITES FRI (3).....	112
III.1 Réseau de Neurones Artificiels « SOM ».....	112
III.2 Analyse spatiale des scores de l'Indice FRI (3).....	113
III.3 Résultat de la désagrégation de l'Indice FRI (3) sur ses neurones	114
IV. COMPARAISON DES TROIS INDICES DE FRI.....	115
V. COMPARAISON DES PROCEDURES D'ANALYSE ADOPTEES.....	115
VI. COMPARAISON DES RESULTATS OBTENUS ET LA REALITE DU TERRAIN	116
VII. CONCLUSION.....	121
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	122
LISTE DES FIGURES.....	126
LISTE DES TABELAUX	129
LISTE DES PHOTOS.....	130
BIBLIOGRAPHIE	131

INTRODUCTION GENERALE

« Top 10 pays résilients », est une classification mondiale utilisée aujourd'hui, en 2021, par les organisations internationales et les médias afin de lister les pays qui vont être « résilients » face à la crise sanitaire de la pandémie déclarée le 11 Mars 2020, par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). La reprise de l'équilibre normale ou le nouveau normal, devient soudainement le sujet de compétitivité entre les pays du monde entier. Cette situation est un exemple concret d'une phase de gestion et de prise de décision face à l'incertain, qui exige l'engagement et la fédération des efforts en toute force et mutualité.

Confrontés à de nombreuses formes de risques naturelles et technologiques, les sociétés humaines ont toujours tenté de contrôler et maîtriser la gestion de ces risques. C'est le cas, entre autres, des risques hydrométéorologiques qui continuent d'augmenter dans le monde (Kellens et al., 2013; Krausmann et al., 2008 ; Qasim et al., 2016), au fur et à mesure que la température moyenne mondiale augmente, selon les rapports du Groupe d'Expert Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC, 2007, 2012 et 2014).

En Afrique, des études ont mis en évidence les graves conséquences des changements climatiques (Bates et al., 2008), impactant les paramètres les plus susceptibles au changement, notamment, le régime des précipitations (Born et al., 2008 ; Giorgi et Lionello, 2008 ;paeth, 2011), la température (Fisher, 2015) et l'évapotranspiration (Speth et al.,2010). Ceci provoque une modification du cycle hydrologique, avec l'apparition d'événements extrêmes fréquemment, telles la sécheresse et les inondations dans de nombreuses régions, et en particulier dans les zones arides et semi-arides (Tuel et al., 2020).

Par ailleurs, les inondations sont les catastrophes naturelles les plus répandues, leur récurrence, leur étendue et le coût des dommages sont en augmentation partout dans le monde. Leur fréquence a augmenté progressivement avec le temps (Doocy et al., 2013), et les statistiques de la base de données internationales en Afrique affirment que 66,5% des catastrophes climatiques entre 2000 et 2009 sont liées à l'eau, elles atteignent 82,6% en 2010 (EM-DAT., 2010). L'impact de ces catastrophes dépend de la densité de la population et de la concentration de l'activité dans la zone potentielle, ce qui augmente la vulnérabilité par rapport à un endroit exposé au même danger mais moins peuplé. En outre, le processus intense d'imperméabilisation des sols inhérent à l'urbanisation et la mise en place de réseaux de drainage tendent à augmenter le ruissellement en aval, amplifiant les dommages dans les zones déjà inondées et exposant de nouvelles zones

à des inondations potentielles. Depuis le début du 21^e siècle, l'étalement urbain se fait à un rythme rapide, le taux de croissance démographique et d'urbanisation s'accroissent aussi, en particulier dans les zones côtières, (UN-Habitat, 2008 ; Lutz & Samir, 2010 ; Neumann et al., 2015). Ce constat fait de la gestion des risques d'inondation un défi à relever car les approches traditionnelles, réactives à court terme, deviennent insuffisantes (Papadopoulos et al. 2017). D'ailleurs, le rapport des Nations Unies sur l'évaluation globale pour la réduction des risques de catastrophe 2019, (UNISDR, 2019) a annoncé la nécessité d'abandonner la planification ainsi que la mise en œuvre segmentées et à courte vue, vers l'adoption des approches collaboratives multidimensionnelles. Dans ce contexte, la résilience s'impose réellement comme une grille d'analyse et d'action incontournable. Compte tenu de l'imprévisibilité de l'aléa et des incertitudes du comportement humain face aux événements extrêmes, la résilience reste essentielle surtout qu'un de ses objectifs est de réduire les vulnérabilités du système.

Cutter et al. (2008) ont déclaré que, malgré les efforts déployés pour évaluer les dimensions de la résilience des communautés, le principal défi consiste à développer des paramètres standards pour mesurer la résilience aux catastrophes. Batista (2015) suggère que les approches basées sur des indicateurs peuvent fournir une vue d'ensemble de l'environnement urbain, une vision globale de la vulnérabilité et de la résilience d'une ville. Ces indicateurs ou indices composites peuvent offrir un moyen potentiel de traiter la nature multi-variable et complexe des interactions entre les inondations et les composantes des systèmes urbains. Selon Baptista (2014), un indice agrège de multiples indicateurs individuels pour fournir une mesure synthétique d'une question sociétale complexe, multidimensionnelle et significative.

Conscient de tous ces éléments, le Maroc s'intéresse au concept de la résilience à travers la mise en place de la stratégie Nationale de Gestion des Risques de Catastrophes Naturelles 2020-2030. Néanmoins, les moyens permettant d'avoir une visibilité des besoins nécessaires pour renforcer la résilience aux risques ne sont toujours pas développés et le recours aux approches d'opérationnalisation de la résilience est nécessaire. Bien que plusieurs approches opérationnelles soient utilisées au monde dans le but d'évaluer la résilience des territoires et des communautés face à des risques multiples, au Maroc dans un contexte local, où les inondations sont l'un des risques naturels majeurs et récurrents, aucune tentative d'évaluation de la résilience aux inondations n'a encore vu le jour. Consciente et face à une panoplie d'approches opérationnelles, énormément différentes et rarement comparables (Cutter et al., 2019) qu'un décideur se trouve face à une ambiguïté de choix de l'approche la plus valable dans un contexte local, par ce travail nous allons tenter d'évaluer la résilience territoriale face

aux inondations au Maroc, et ce en illustrant, le cas des communes urbaines de la préfecture M'diq-Fnideq, Territoire caractérisé par un développement urbain rapide associé à une récurrence des inondations de plus en plus intense.

La résilience est une caractéristique essentielle dans un avenir changeant (et incertain), et comme l'indiquent Keating et al. (2017), il n'y a pas de mesure de "résilience" unique, et il ne devrait pas en exister. Par conséquent, le cadre proposé dans cette étude est un projet de recherche, susceptible d'améliorer les approches de la résilience urbaine face aux inondations, et ce, par l'adoption d'une approche multidimensionnelle sous trois différents indices. Celle-ci permettra d'atteindre les objectifs spécifiques suivants :

- Etudier la faisabilité des méthodes d'évaluation choisies : les avantages et les limitations ;
- Orienter les preneurs de décisions par des recommandations majeures à travers une démarche méthodologique opérationnelle ;
- Fournir des recommandations stratégiques de renforcement de la résilience aux inondations dans le contexte territorial, particulièrement les communes urbaines de la préfecture M'diq-Fnideq.

Afin de répondre à ces besoins, le manuscrit s'articule en trois parties :

- **La première partie** est une revue de la littérature sur le concept de la résilience et des connaissances sur la résilience territoriale face aux risques d'inondations dans une perspective plus large. Avec un :
 - ✓ **Chapitre 1** qui : mettra le point sur le concept de la résilience. Un rappel des notions et des modèles qui lui sont apparentées, et un bref aperçu sur la place de la résilience dans les programmes politiques internationaux et nationaux sont présentés.
 - Chapitre 2** : est une présentation et une explication, sur la base de la littérature, de la résilience territoriale face aux inondations fluviales, les modèles opérationnels et les programmes de gestion de ce risque entamés au Maroc.
- **La deuxième partie** : fournit une description détaillée de la zone d'étude (communes urbaines de Fnideq- M'diq et Martil) ensuite la méthodologie adoptée dans ce travail
 - ✓ **Chapitre 1** est une vision holistique de la zone d'étude, qui met en évidence toutes les caractéristiques propres au territoire étudié.

- ✓ **Chapitre 2** est le chapitre expérimental. Il traitera les aspects techniques et présentera la méthodologie adoptée dans cette recherche pour atteindre les objectifs escomptés.
- **La troisième partie** englobe trois autres chapitres, pour discuter les résultats de l'évaluation de la résilience en terme quantitatif.
 - ✓ **Chapitre 1** est l'analyse de la récurrence des inondations pendant soixante ans au niveau de la préfecture M'diq – Fnideq ;
 - ✓ **Chapitre 2** présente les résultats de l'évaluation quantitative de la résilience aux inondations par l'indice multidimensionnel FRI (1) et à sa représentation spatiale dans les communes urbaines de la préfecture M'diq -Fnideq,
 - ✓ **Chapitre 3** expose les résultats de deux autres approches d'évaluation de la résilience aux inondations, FRI (2) et FRI (3). En outre, une analyse comparative entre toutes les méthodes utilisées y est discutée. Une explication des difficultés franchies dans cette aventure d'opérationnalisation de la résilience aux inondations sur un territoire marocain est présentée.

A la fin du manuscrit, **les conclusions** les plus pertinentes tirées de ce travail sont énumérées et des **recommandations** sont proposées, à fin d'améliorer la résilience des communes urbaines du Nord du Maroc.

PARTIE 1 : RESILIENCE :

CONCEPT ET TERRITOIRE FACE AUX INONDATIONS

Cette partie traite une revue de la littérature sur le concept de la résilience en général et les connaissances sur la résilience territoriale face aux risques d'inondations dans une perspective plus large.

CHAPITRE 1 : CONCEPT DE LA RESILIENCE

I. Introduction

Au cours des dernières années, le concept de la résilience a été très utilisé dans les discussions de façon plus ou moins rigoureuse et souvent sans référence à une définition précise. Il est devenu un sujet brûlant parallèlement aux préoccupations croissantes concernant le changement climatique et la fréquence croissante des catastrophes naturelles. Dans ce chapitre, une analyse des usages du mot Résilience en tant que concept polysémique sera abordé en premier, suivis des notions et modèles qui lui sont apparentées. Par la suite, un bref aperçu sur sa place dans les programmes politiques internationales et nationales est discuté.

II. Résilience: le concept polysémique

Le mot « Résilience » s'est étymologiquement construit à partir du latin « *Resilio* » qui signifie « *Rebondir* ». En anglais, ce terme est traduit par « *Bouncing back* » qui veut dire « Revenir en arrière » (Klein et al., 2004). Ce mot est utilisé au XVIIème siècle en Angleterre pour désigner la capacité de réaction après un choc. La résilience est donc une expression anglo-saxonne ancienne.

Au début du 20e siècle, Georges Charpy, ingénieur français d'une usine métallurgique en Auvergne, (France), présente en 1901, de nouvelles méthode et machine destinées à rendre plus précises l'analyse et la mesure de la résistance des matériaux : la capacité de l'échantillon à absorber le choc jusqu'à sa rupture. Par la suite, cette résistance a été nommée « Résilience » par un ingénieur américain S.B. Russel (Boucart, 2015).

Dans un sens purement mécanique, la résilience d'un matériau est déterminée comme étant la capacité à stocker l'énergie de déformation et à dévier élastiquement, sous l'effet d'une charge, sans se rompre ou se déformer (Gordon, 1978 ; Mathieu JP ; 1991).

Au début des années 50, le concept de la résilience est apparu alors dans la littérature scientifique ; ce terme emprunté à la physique pour exprimer l'élasticité des matériaux, par analogie, a été étendu à l'homme dans sa capacité à dépasser une situation critique, de lui résister et de lui survivre. De nombreux chercheurs dont la psychologue américaine Emmy Werner avait découvert en 1982 - sur une étude sur plus de 30 ans- le concept de la Résilience. Elle avait travaillé sur la résilience des enfants sans familles d'Hawaï qui ont subi des traumatismes. Une fois arrivés à l'âge adulte, ils sont finalement parvenus à s'insérer normalement au sein de la société. Elle les appela les « résilients ». Le même dépassement d'un trauma observé chez

des individus ayant subi des maltraitances au cours de leur enfance, a été étudié par un psychiatre français Boris Cyrulnik (1999). Ils furent nommés « tuteurs de résilience » et le traumatisme était pour lui, l'agent de la résilience. Celle-ci était abordée alors comme étant la capacité à réussir, à faire face au trauma, à vivre, à se développer en dépit de l'adversité (Garmezy et Masten ; 1986 ; Werner et Smith ; 1982). Cette notion a été largement utilisée par les médias américains après les attentats du 11-Septembre de New York à fin d'insister sur la capacité du peuple à se reconstruire et à ressortir « plus fort » de la tragédie.

Le concept de résilience a intéressé aussi les écologues ; il a été largement appliqué en écologie, en biodiversité et dans le champ des études environnementales, avec les travaux de Crawford HOLLING, à qui l'on doit la première introduction en 1973 de la notion de résilience dans une revue scientifique. Il avait expliqué comment la capacité d'un écosystème répond à une perturbation (ou plusieurs), en résistant à des dommages et pouvoir récupérer rapidement, une capacité autonome d'adaptation et de régénération d'un environnement face à divers types de perturbation naturelle (aléas climatiques, espèces envahissantes, etc.) et humaine (agriculture, exploitation des ressources naturelles, aménagement du territoire, etc.). Lors des deux dernières décennies, C.S.Holling a fédéré et structuré une importante communauté scientifique autour de ses travaux fondateurs sur la résilience écologique. Depuis, le concept de résilience a évolué en écologie, et désigne alors la capacité d'un système écologique à absorber une perturbation et à se réorganiser tout en préservant sa structure, ses fonctions, son identité et ses boucles de rétroactions (Walker et al., 2004). D'autres chercheurs L. Gunderson (2000), N. Adger (2000), Stephen Carpenter (2001) et Carl Folke (2006), ont eux aussi utilisé et développé le concept de résilience pour désigner la capacité d'un environnement à absorber des perturbations d'origine naturelle (feu, tempête, sécheresse, inondation, etc.) ou humaine (pollution, exploitation, occupation, etc.) en se réorganisant, voire en se transformant pour conserver ses fonctions et sa structure initiale (Mathevet et Bousquet, 2014).

À partir des années 1980, des chercheurs issus de différentes disciplines des sciences sociales (géographie, sociologie, science politique, sciences de gestion, ergonomie) utilisent le concept de résilience dans un sens plus métaphorique pour désigner la capacité des organisations à surmonter les crises qu'elles traversent et la capacité de se rétablir et de revenir à leur état initial. En économie, c'est dans les années 90 que la résilience fait son entrée avec G. Paquet (1999). L'étude de la résilience n'en était cependant qu'à ses débuts tentant de mieux comprendre le concept et ses implications. Et selon l'Organisation de coopération et de développement économiques (OECD, 2004), la résilience économique réside dans la capacité de l'économie à

endurer un choc négatif et à rebondir après cela, c'est-à-dire, l'aptitude à revenir sur la trajectoire de la croissance après une perturbation. D'ailleurs l'Administration du Développement Economique des États-Unis (EDA) indiquent que la résilience économique a trois attributs principaux : Une capacité de récupérer rapidement d'un choc ; une autre à résister à un choc ; et une capacité à éviter complètement le choc (EDA, 2016). Selon Hallegatte, (2014), la résilience économique est généralement utilisée de deux manières distinctes, mais qui se chevauchent : elle peut être définie comme la capacité d'une économie dans son ensemble à fonctionner, se remettre et se reconstruire après un choc. Dans le même temps, la notion désigne la résilience économique des ménages ou des entreprises individuels, leur capacité à faire face ou à se remettre d'un choc, ensuite à s'adapter à l'évolution des circonstances économiques dans l'économie au sens large.

Depuis les années 2000, le concept de Résilience s'est imposée en quelques années comme une notion incontournable et un sujet d'actualité dans les travaux académiques sur la gestion de l'environnement et celle des risques (Godschalk, 2003 ; Cutter et al., 2008, Gaillard, 2010 ; Serre et Barroca, 2013). Dans ce domaine, la résilience correspond à un certain « Retour à la normale » à la suite d'une perturbation. Depuis quelques années, elle est de plus en plus introduite dans l'adaptation au changement climatique. La notion de la résilience est citée dans les principes d'adaptations développés au protocole International sur le Changement Climatique de 2001. De plus, les notions d'« adaptation » et de « résilience » témoignent de plus en plus de nouvelles orientations des politiques en matière du réchauffement climatique dans la mesure où celui-ci pourrait à l'avenir être à l'origine de nouvelles inondations, tempêtes et cyclones (GIEC. ; 2012).

Durant cette dernière décennie, l'« ingénierie de la résilience », a été introduite, dans le contexte du management de la sécurité. Selon Hollnagel E., (2009) la résilience d'un système est « *l'aptitude intrinsèque à ajuster son fonctionnement avant, pendant ou après la survenue de changements ou de perturbations et ce, afin qu'il puisse poursuivre son activité dans des conditions attendues ou inattendues* ». Ce même auteur a développé une nouvelle approche en analyse du risque basée sur les principes de l'ingénierie de la résilience en proposant une méthode issue de l'ingénierie de la résilience : *the Functional Resonance Analysis Method (FRAM)* (Hollnagel, E. (2012) qui est une méthode systémique d'analyse des risques.

Cette méthode FRAM est utilisée principalement en Europe dans les secteurs de l'aéronautique (Slim et al., 2018a), du ferroviaire Belmonte et al. (2011), de la santé ((Hollnagel, 2014), dans le secteur pétrochimique (Tian et al., 2016) et dans un contexte de gestion du risque environnemental (Patriarca et al., 2017). Elle est aussi adoptée dans d'autres secteurs d'affaires

notamment le secteur manufacturier (Melanson, A. et Nadeau, S. ; 2019). L'ingénierie de la résilience fait partie des nouvelles approches alternatives développées dans la communauté internationale et ce courant de recherche a pris de l'ampleur, en particulier dans les systèmes de soins. La motivation derrière le développement de ce concept vient du besoin de trouver une façon novatrice de gérer les risques dans les systèmes sociotechniques (Macchi, 2010).

Inspirés par les travaux sur les systèmes socio-écologiques, de nombreux chercheurs ont ensuite tenté d'appliquer le concept de résilience aux systèmes anthropiques, dont les systèmes urbains. Ainsi, la « résilience urbaine » est définie comme étant la capacité d'une ville à absorber une perturbation et à récupérer ses fonctions à la suite de celle-ci (Lhomme et al., 2010), une capacité à préserver une certaine stabilité lors d'un événement stressant ou traumatisant, sauvant ainsi des vies et des biens. Toutefois, la résilience urbaine face aux risques- *objet du chapitre II, Partie 1-*, s'inscrit dans le paradigme de la gestion des risques et du management de crise. L'importance d'y recourir a été rappelée lors de la conférence de l'ONU sur la prévention des catastrophes, tenue à Sendai en mars 2015 (Sendai Framework for Risk Reduction, SFA 2015- 2030) qui succède au cadre d'action de Hyogo (HFA).

Transféré entre les sciences, le concept de Résilience se diversifie et devient polysémique dont les nombreux sens sont similaires mais séparables (Strunz, 2012). Ainsi, il présente aujourd'hui une polysémie large sur son utilisation. Ce concept a progressivement évolué, il appartient à toutes les disciplines et il est appliqué à différents objets (individus, écosystèmes, systèmes urbains, etc.). Nous distinguons toutefois deux grandes catégories de résilience : la résilience en sciences physiques-écologiques et la résilience en sciences sociales et socio-techniques qui l'une comme l'autre concourt à la gestion globale des crises et des risques (Fig.1).

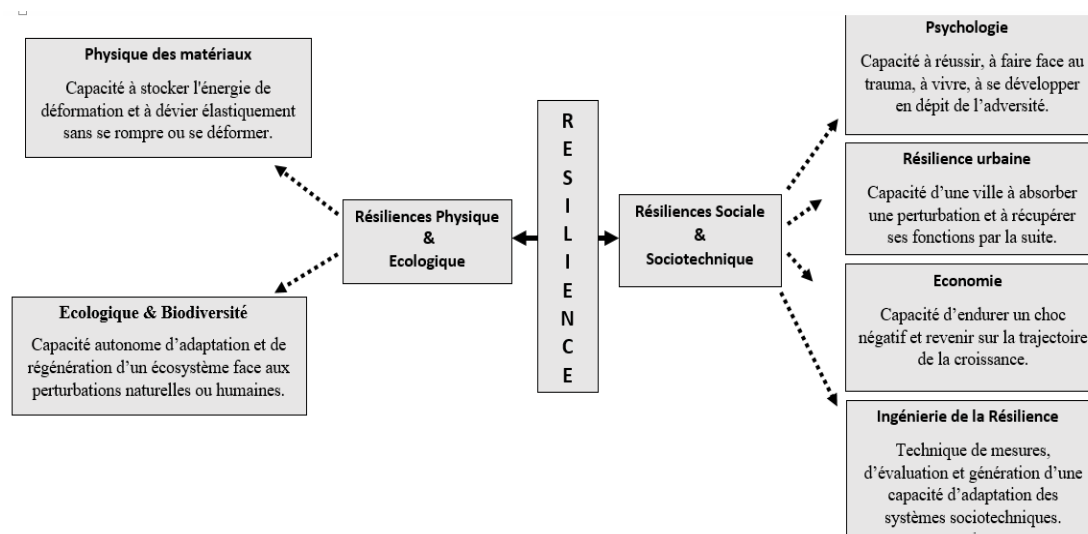


Figure 1:Principales disciplines de la Résilience

III. Notions apparentées à la résilience

La résilience n'est jamais absolue ni totale, elle n'est pas acquise une fois pour toute. Le terme de résilience s'ajoute à d'autres notions en vogue tel que la robustesse, la résistance, l'adaptabilité et la durabilité (Holling, 1973; Comfort et al.2010); il est associé selon les disciplines à plusieurs dimensions : la psychologie introduit la notion de résistance, l'économie associe la résilience à la persistance et à la durabilité, et la gestion de risque, *qui intéresse notre étude*, l'apparente à la vulnérabilité et la capacité d'adaptation. Ces trois concepts (Vulnérabilité-Résilience et Capacité d'adaptation) sont souvent utilisés pour expliquer comment les systèmes humains et naturels réagissent aux perturbations et aux chocs (Cutter et al., 2008).

III.1 Vulnérabilité et Résilience

Après la notion d'aléa, la vulnérabilité est mise en avant par l'ONU en 1994 dans le cadre de la conférence de Yokohama alors que la résilience a pris sa place lors de la conférence de Hyogo en 2005. La vulnérabilité désigne la disposition d'une entité à souffrir de changements. Elle est vue comme un concept lié aux caractéristiques intrinsèques du système, raison pour laquelle une large littérature fait appel à des indicateurs pour sa mesure. Quant à la résilience, elle se rapporte à la capacité à se réorganiser face à des changements ; elle est perçue en relation avec l'évolution dynamique du système, à savoir sa capacité régénérative qui dépend de son degré d'auto-organisation et de sa capacité d'adaptation (Turner et al., 2003 ; Adger et al., 2005 ; Folke et al., 2007). Toutes les deux - vulnérabilité et résilience- s'inscrivent dans un rapport plus complexe selon Gallopin (2006) avec une divergence dans le positionnement de l'une par rapport à l'autre : Certains travaux positionnent la vulnérabilité comme le contraire de la résilience (Adger, 2000 ; Gunderson et Holling, 2002 ; Folke et al., 2002 ; Villagran de León, 2006), ou bien un élément de la résilience (Chapin et al., 2009). Pour d'autres chercheurs, ils considèrent la vulnérabilité englobant la résilience (Gallopin, 2006 ; GIEC ; 2001 ; Turner et al., 2003 ; Wisner et al., 2003).

Selon GIEC (2012), la "vulnérabilité" est la prédisposition à être affecté négativement et l'incapacité à faire face au choc du fait d'un déficit d'adaptation. Ce concept est dynamique, il varie selon les échelles temporelles et spatiales et dépend de facteurs économiques, sociaux, géographiques, démographiques, culturels, institutionnels, de gouvernance et environnementaux. Alors que la "résilience" est définie comme la capacité d'un système à

anticiper, absorber, accommoder ou se remettre des effets d'un événement dangereux en temps utile et de manière efficace, notamment en assurant la préservation, la restauration ou l'amélioration de ses structures et fonctions de base essentielles (GIEC, 2012). La résilience et la vulnérabilité se retrouvent alors opposées, et la dimension dynamique est commune aux deux termes. En outre, les stratégies qui visent à réduire la vulnérabilité, ne contribuent pas automatiquement à améliorer la résilience d'un système donné et inversement ; ce dernier peut ainsi être simultanément vulnérable et résilient (Vale et Campanella, 2005).

III.2 . Capacité d'adaptation et Résilience

Le GIEC (2014) définit la capacité d'adaptation (CA) comme «la capacité des systèmes, des institutions, des humains et d'autres organismes à s'adapter aux dommages potentiels, à profiter des opportunités ou à réagir aux conséquences ». C'est la capacité à s'ajuster aux perturbations, à modérer les dommages, à tirer parti des opportunités et à faire face aux conséquences des transformations qui se produisent" (Gallopín ; 2006). C'est aussi la capacité à s'adapter afin d'être moins vulnérable. Sa notion dynamique apparait dans deux dimensions (Smit et Wandel ; 2006) : la première est la capacité d'adaptation aux chocs (absorption du choc), et la seconde est celle au changement, c'est-à-dire liée au temps (adaptabilité, capacité de gestion).

Les deux concepts, vulnérabilité et résilience sont liés de manière unique par la capacité d'adaptation (Engle ; 2011). Celle-ci fait partie intégrante des cadres de vulnérabilité et de résilience, comme le montre la figure 2.

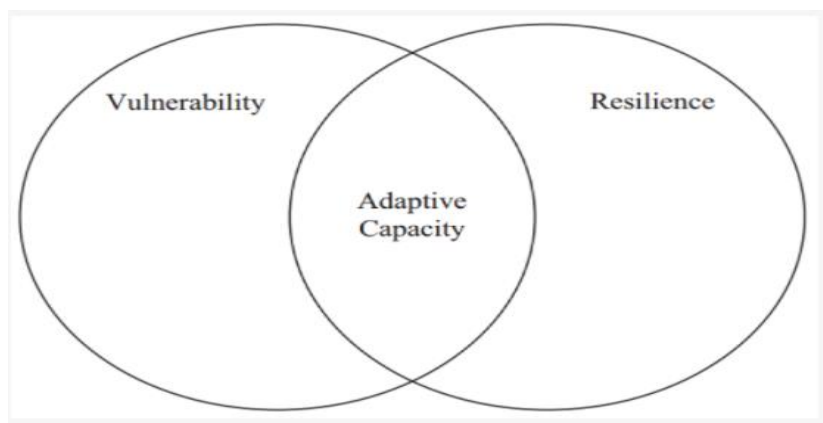


Figure 2: Cadres de la vulnérabilité et de la résilience liés par le concept de la capacité d'adaptation (Engle, 2011)

IV. Modèles génériques et opérationnels de la résilience

IV.1 Cycle adaptatif et Modèle de Panarchy

Au début des années 2000, une étude comparative de la dynamique des écosystèmes et des systèmes socio-écologiques a permis à Gunderson and Holling (2002) de définir le modèle du *cycle adaptatif*. C'est un modèle de transition entre différents états qui met bien en lumière le fait que le système se renouvelle et se réorganise à la suite d'un choc. Il met l'accent sur les processus de destruction et de réorganisation, qui sont souvent négligés au profit de la croissance et de la conservation (S.Robert, 2020).

Le modèle du cycle adaptatif (Fig. 3) comprend quatre phases qui correspondent aux différentes trajectoires par lesquelles le système transite. Les deux premières phases constituent la boucle antérieure, de croissance (r) à la conservation (K) ; elle est lente et progressive (*petites flèches*). Ensuite, les deux autres phases qui correspondent à une "boucle arrière" caractérisant l'effondrement (oméga) et à la réorganisation (alpha), phase rapide (flèches longues) menant au renouvellement (Gunderson & Holling ; 2002).

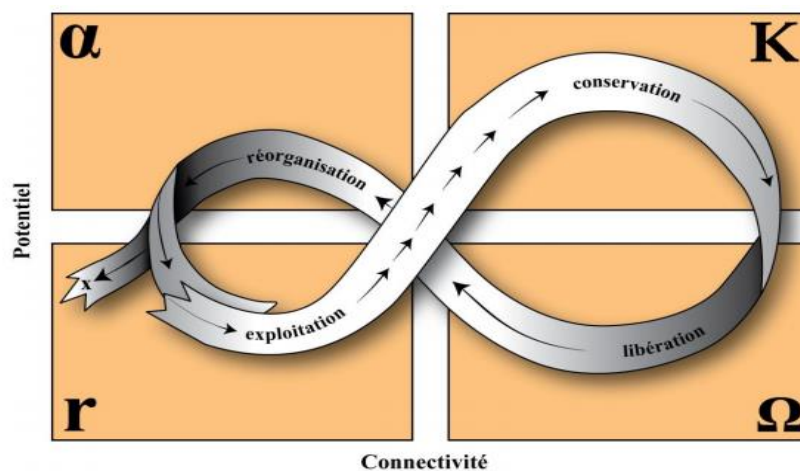


Figure 3 : Phases du Cycle adaptatif (Gunderson & Holling, 2002).

Au cours des différentes phases du cycle adaptatif, la résilience commencerait par décroître pour augmenter ensuite des phases de croissance et de conservation sont marquées par une évolution lente, suivies par une phase chaotique de changement brutal. Ce dernier conduit rapidement à une phase de réorganisation. Ainsi la résilience correspond à la capacité du système à passer d'un équilibre à un autre à travers ces quatre phases (Chataignier J.M., 2014). Le cycle adaptatif, par lequel beaucoup de systèmes font la transition, est à son tour imbriqué dans une panarchy de systèmes plus ou moins grands passant aussi par des cycles adaptatifs. Elle n'est pas un outil de prédiction, mais vise à comprendre le changement adaptatif en étendant

l'idée à des échelles spatiales et temporelles. Elle a inspiré, certains programmes de soutien pour le développement de la résilience, des évaluations de la résilience et guidé la prise de décision. Le modèle de Panarchy (Fig .4) inscrit la réflexion dans une perspective multi scalaire. Il articule trois échelles de cycles adaptatifs : large et lente / intermédiaire et rapide / petite et très rapide, et présente deux types de connexions importantes, en particulier lorsqu'elles interviennent dans les périodes de changements : les connections dites de « Révolte » décrivant un changement brutal du processus ou de « Mémoire » ayant pour fonction de référencer le processus dans sa logique d'origine qui deviennent importantes aux périodes de changement du cycle adaptatif.

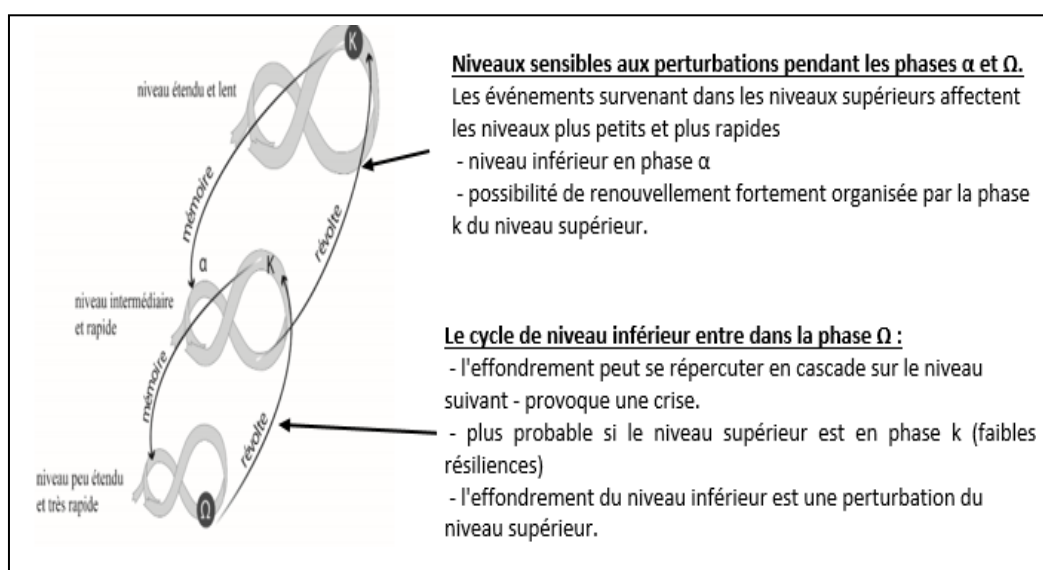


Figure 4: Modèle de la Panarchy avec trois niveaux de cycles adaptatifs (d'après Gunderson et Holling eds. 2002 ; modifié par S. Robert, 2019)

Le terme de « Panarchy » désigne l'influence d'un niveau inférieur et d'un niveau supérieur sur le comportement d'un système. Ce modèle transforme les hiérarchies en entités dynamiques et adaptatives : Quand un niveau de la panarchy entre dans sa phase Ω de destruction créatrice, celle-ci peut se propager au niveau supérieur plus lent en déclenchant une crise, particulièrement si ce niveau est dans une phase K , où la résilience est basse. La flèche « Révolte » exprime la situation où des événements rapides à une échelle inférieure bouleversent des processus lents à une échelle supérieure. Les flèches de mémoire peuvent intervenir au moment de la phase de renouveau (ou de réorganisation (α)) et faciliter la réorganisation en permettant au système de puiser dans le potentiel accumulé aux niveaux présentant des rythmes plus lents (Robert S., 2020). Les dynamiques des différents cycles

peuvent donc être accélérées ou au contraire ralenties par des interactions entre les différents niveaux (Gunderson & Holling, 2002).

Selon Quenault, B., (2013) plus un système est résilient et plus importante est la perturbation qu'il peut absorber sans basculer vers un état différent. Toutefois, les modèles de Panarchy et du Cycle Adaptatif sont peu adaptés à une mise en application réelle, et à une opérationnalisation permettant de construire la résilience d'un territoire.

IV.2 Modèles à portée opérationnelle

Dans la majorité des recherches, la difficulté de mettre en œuvre une démarche de résilience opérationnelle apparaît clairement ; néanmoins quelques tentatives ont été proposées. Ainsi, pour soutenir la planification d'action des socio-systèmes, des modèles à portée opérationnelle ont été conçus dans un cadre d'évaluation de la résilience. Ils sont développés pour diriger et faciliter un diagnostic de résilience axé sur les objectifs des socio- systèmes. Nous distinguons trois modèles des plus adoptés :

-Le modèle *Resilience Assessment Framework (RAF)*, proposé par le groupe de chercheurs de Résilience Alliance (2010) - un réseau international pluridisciplinaire ; il est construit autour de modules visant à décrire le socio-système, en comprendre ses dynamiques spatio-temporelles, afin d'identifier les interactions entre différents enjeux territoriaux.

-Le modèle *Spatial Decision Support System (DS3)* (SERRE D. 2011 ; BALSELLS et al 2013) conçu pour une analyse fine de la résilience urbaine soumis au risque d'inondation, avec une application faite à l'échelle du quartier en focalisant sur la dimension physique du système urbain, particulièrement les réseaux. Selon ces auteurs, ce modèle DS3 ne vise pas à fournir une évaluation quantitative mais plutôt une analyse qualitative de l'état de résilience d'un quartier inondé ou inondable.

- Le modèle CREAA : C'est un modèle systémique qui a été construit à partir d'un terrain et d'un scénario de risque ; cas de la Côte d'Azur, soumise à l'aléa inondation (Boschetti et al ; 2017). Ce modèle a été conçu pour cartographier les territoires face aux risques majeurs. Il focalise sur deux temporalités : l'avant et l'après événement, et consiste à proposer des actions à mener sur un ensemble des composants identifier comme des piliers de la résilience (Vinet, 2018).

Le modèle **CREAA** est structuré en quatre parties dont chacune s'intéresse à un élément particulier, notamment : – Cartographier les territoires face aux inondations (C) – Promouvoir

la **R**ésilience des populations, des entreprises, des bâtiments et des réseaux (R) – Evaluer la qualité des systèmes de gouvernance territoriale (E) – Apprendre des événements mineurs et majeurs pour renforcer les **A**ctions de résilience (AA) (Boschetti et al ; 2017).

Tous ces modèles cités présentent des limites, certains sont génériques et trop peu opérationnels (Panarchie, Cycle Adaptatif, RAF et DS3), et le modèle CREAA, bien qu'il soit un modèle conceptuel, pensé de manière opérationnelle, selon Boschett, Tric et Provitolo (2017), il doit encore faire ses preuves lors de sa réelle mise en application sur une zone d'étude soumise à un ou des risques particuliers.

V. Résilience et instances politico-institutionnelles

Le concept de résilience a connu de nombreuses évolutions depuis le début des années 1990 ; à partir du milieu des années 2000, le terme de Résilience s'est étendu peu à peu en dehors de la sphère académique pour imprégner les discours et les pratiques des acteurs publics et des instances politico-institutionnelles (Quenault, 2016). En effet, de nombreuses institutions et organisations ont intégré le concept de résilience dans leurs programmes afin d'affirmer la nécessité d'améliorer la préparation du public (population, individus, entreprises, collectivités locales, etc.) à d'éventuelles crises pour atténuer les conséquences lors de sa survenue réelle. Les discours se sont alors multipliés dans le cadre de la prévention des catastrophes naturelles, et ce, en incitant à sa prise en compte pour améliorer la gestion des crises par plusieurs institutions internationales et nationales. Elle est utilisée dans le contexte de la réduction des risques de catastrophes (RRC) et de l'adaptation au changement climatique (ACC).

La notion de résilience a suscité quelques réticences au début, puis elle s'est propagé à l'ensemble des agences ou des programmes des Nations Unies (UNISDR, PNUD, FAO, UNICEF, UNESCO, etc..), aux institutions économiques et financières internationales (Banque Mondiale, Fonds monétaire international (FMI), Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), ...), à différents bailleurs (UK Department for International Development-DFID, US Agency for International Development-USAID, European Community Humanitarian Office-ECHO, etc). Ensuite elle a gagné à leur tour les principales organisations internationales non gouvernementales (OING) dont l'IFRC, la Fondation Rockefeller, l'Oxfam international, etc.) et divers États ou leurs représentants en charge de gestion des risques (Lallau, 2014).

Conscient de l'importance de renforcer sa résilience, le Maroc s'est engagé, depuis 2008, dans l'élaboration d'une vision pour une gestion intégrée des risques. Depuis le concept de la

résilience s'impose tant dans les recherches académiques que dans les pratiques et programmes gestionnaires nationaux, notamment, dans le Programme de Gestion Intégrée des risques de Catastrophes Naturelles et de la Résilience ; le Programme Résilience Rurale -coopération Maroc-Allemande ; le Programme de Résilience de la Banque Européenne pour la Reconstruction et le Développement (BERD) et le Programme Normes et Réglementation pour la Résilience Urbaine du Département de Développement Urbain de la Banque Mondiale, en collaboration avec le Ministère de l'Intérieur et le Ministère de l'Aménagement du Territoire National de l'Urbanisme et de l'Habitat et de la Politique de la Ville avec le soutien du Gouvernement du Japon, ...etc.).

Bien que toutes ces institutions et organisations aient développé leurs propres définitions de la résilience, ce concept désigne de manière commune la capacité d'une société, d'une organisation ou d'un individu à surmonter les conséquences d'une crise due à une catastrophe, épidémie, attentat, conflit, famine, crise économique, etc...

VI. Conclusion

La résilience est une notion complexe qui peut prendre plusieurs formes en s'adaptant à diverses disciplines ; elle comporte de nombreuses nuances selon différentes utilisations et champs d'application dans lesquels elle s'accompli. La polysémie du concept Résilience a nourrit de nombreux débats, et le manque d'outils pratiques pour l'opérationnalisation rend la mise en œuvre assez compliquée pour les décideurs. Malgré ces difficultés, le concept de résilience devient en quelques années le nouveau paradigme de la gestion des risques par divers programmes internationaux et nationaux. Il s'impose désormais tant dans les recherches académiques que dans les pratiques gestionnaires en charge de la réduction des catastrophes. Aujourd'hui, avec la multiplication des risques climatiques, la notion de résilience urbaine et des territoires est devenue un des enjeux majeurs pour tout gouvernement.

CHAPITRE 2 : RESILIENCE TERRITORIALE FACE AU RISQUE D'INONDATION FLUVIATILE

I. Introduction

Dans le contexte du changement climatique et de l'urbanisation croissante, de nombreux territoires sont devenus de plus en plus vulnérables aux catastrophes naturelles dont les inondations constituent l'aléa naturel le plus important, dans plusieurs régions du monde ; elles engendrent des coûts sociétaux considérables. Les inondations fluviales demeurent l'un des défis majeurs le plus fréquent. Cependant, la gestion du risque d'inondation reste une priorité dans les zones urbaines pour minimiser les dommages et maîtriser les dégâts. De même, il est prioritaire aujourd'hui, d'articuler la gestion des événements extrêmes et les stratégies de développements des territoires pour opérationnaliser la résilience et favoriser leur durabilité. Dans ce chapitre, seront présentés, (i) des brèves définitions d'un territoire urbain et les risques qui lui sont associés, ensuite (ii) celle de l'aléa inondation, ses causes et ses impacts en territoires urbain et rural. Puis (iii) dans les deux derniers paragraphes, seront définies sur la base de la littérature, la résilience territoriale face aux inondations fluviales et les programmes de gestion de ce risque au Maroc.

II. Risques naturels en territoire urbain

II.1 Territoire urbain

Le territoire, de son origine "*Territorium*", ce mot possède une variété de sens, tel le sol, le continent, la portion d'espace, ou tout morceau de terre appropriée selon M. Le Berre (Le Berre, 1992) sans faire attention à l'interaction qui existe entre sa forme, son statut et sa fonction. Cette notion de territoire s'est enrichie par d'autres composantes, notamment les dimensions physiques, sociales, économiques, institutionnelles et politiques dont les analyses transversales s'avèrent importantes pour bien comprendre son contexte global. De là, le territoire devient ainsi un système complexe (Fig.5) et sa dynamique résulte de la boucle de rétroaction entre un ensemble d'acteurs et l'espace géographique qu'ils utilisent, aménagent et gèrent (MOINE. 2005).

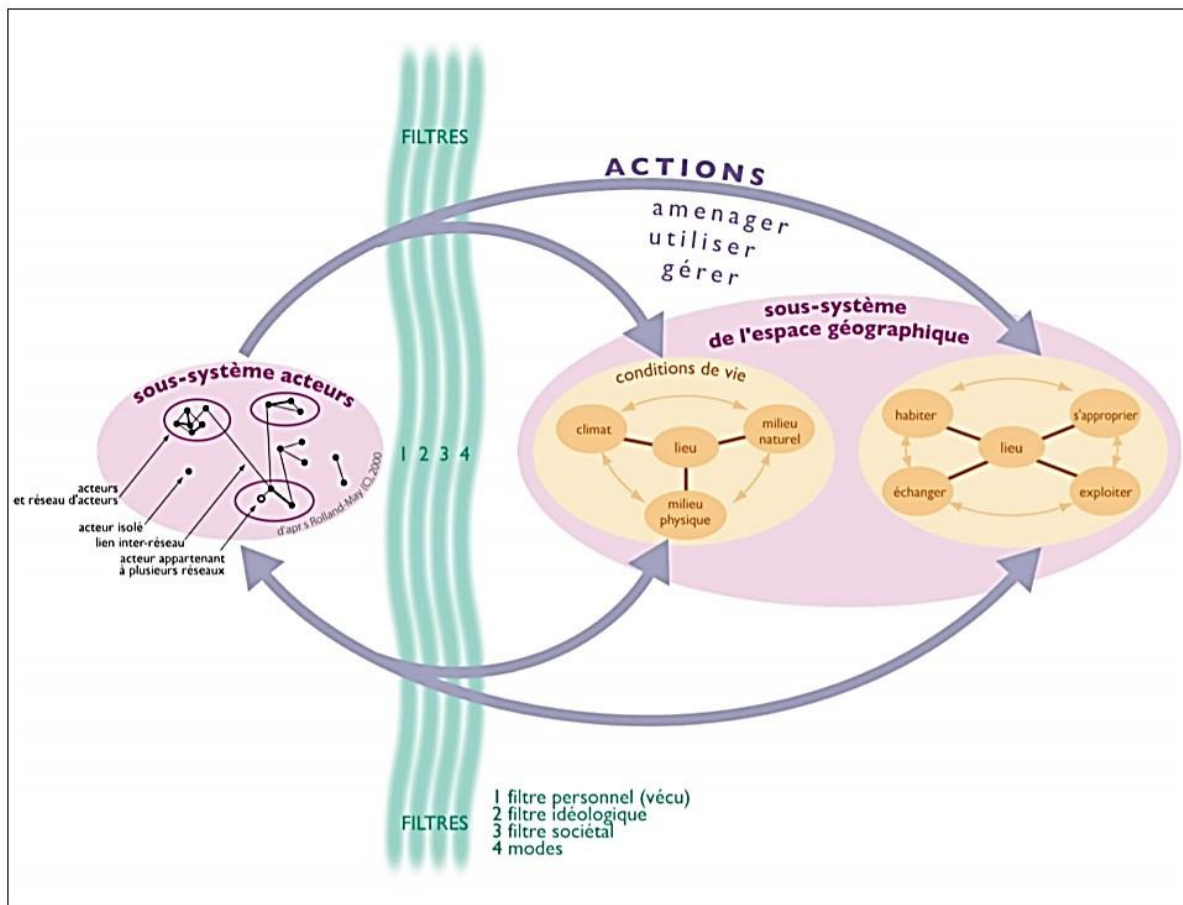


Figure 5: Fonctionnement du système territoire (MOINE. 2005)

Quant au terme « urbain », il ne se limite en effet pas au seul critère de regroupement de la population, de la présence du bâti et des infrastructures, mais tous les processus territoriaux à l'œuvre, dans leur globalité. Donc un territoire urbain- *objet de notre étude*- est un lieu de concentration d'une population, de pouvoirs et de services ; il comprend la ville elle-même qui se définit relativement par sa dimension physique, ainsi que les zones environnantes, adjacentes et reliées à la ville. Il fait partie généralement des moteurs économiques de tout pays et se caractérise par des centres d'activités intellectuelles, politiques, commerciales et financières. Selon la Banque mondiale (2020), aujourd'hui, 55 % de la population mondiale, soit 4,2 milliards d'habitants, vivent en ville et cette tendance devrait se poursuivre d'ici 2050. Déjà, dans les pays du Maghreb et dans le continent africain, la population urbaine représente aujourd'hui, respectivement, 68,2 % et 42,5 % (Fassi Fihri, 2019). Quant au Maroc, la population urbaine a atteint 63% en 2019, selon le Haut-Commissariat au Plan (HCP).

Par ailleurs, un classement des villes en fonction du nombre d'habitants, est réalisé par le Département des affaires économiques et sociales des Nations Unies ; il désigne les mégapoles

par des agglomérations urbaines de 10 millions d'habitants ou plus, les grandes villes comptent 5 à 10 millions d'habitants et les villes de taille moyenne, 1 à 5 millions d'habitants. Les petites villes sont réparties entre deux catégories : celles qui comptent 500 000 à 1 million d'habitants et les zones urbaines où vivent moins de 500 000 habitants (ONU-DAES, 2014).

Selon RIOUST. (2012), les appropriations différentes de la notion du territoire confirment le caractère construit de cet élément, qui bien qu'il soit un lieu d'appartenance des populations et un instrument des actions de gestion, il est aussi un vecteur des phénomènes « catastrophiques ». Dans ce sens, l'ONU annonce dans *The World's Cities (2018)* que près de trois villes sur cinq dans le monde qui compte au moins 500 000 habitants, seraient exposés à un risque élevé de catastrophes naturelles.

II.2 Risque de catastrophes naturelles

La catastrophe naturelle se manifeste au sein d'un gradient d'événements naturels (séisme, éruption volcanique, tsunami, mouvements de terrain, inondation, tempête, cyclone tropical, orages), plus ou moins dommageables, qui peuvent être des événements récurrents aux conséquences parfois meurtrières, et évoluer d'un incident à une catastrophe majeure. Ces événements catastrophiques peuvent parfois être le résultat d'effets dominos ou « événements en cascades ». Et toute catastrophe est évaluée par ses impacts humains (mortalité) et économiques (montant des dommages). D'ailleurs, selon le Bureau des Nations Unies pour la Réduction des Risques de Catastrophe (UNSDIR), le nombre de catastrophes naturelles a doublé en deux décennies (2000-2019), 7.348 catastrophes naturelles ont été enregistrées dans le monde dont le coût est évalué à 3 000 milliards de dollars et le nombre de décès a atteint 1.23 millions de personnes, soit en moyenne 60 000 décès annuellement (UNDRR, CRED, 2020). Selon la même source, ce nombre est en augmentation de 3,4% par rapport à la période 1980-1999. Il en est de même pour la population touchée par les désastres, elle est en hausse de 23,1%. Elle passe de 3,25 milliards à 4 milliards de personnes en 2019.

Toute catastrophe naturelle consiste en l'avènement d'un risque naturel majeur qui se produit à différentes échelles de temps et de zone, et dont les principaux facteurs qui le caractérisent sont l'aléa, les enjeux et la vulnérabilité (Fig.6).

L'**aléa**, est un phénomène susceptible d'occasionner des pertes en vies humaines ou des blessures, des dommages aux biens, des perturbations sociales et économiques ou une dégradation de l'environnement (Morin, 2008).

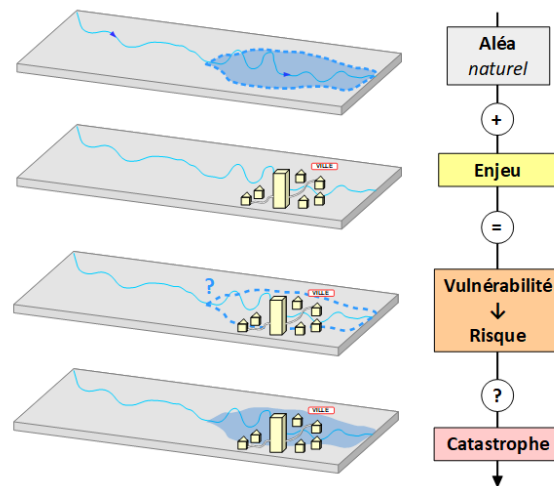


Figure 6: Facteurs du risque manifesté par une catastrophe (Source : Wikipédia)

Chaque **aléa** se caractérise par son intensité ou gravité, sa probabilité d'occurrence et son imprévisibilité. Si l'aléa se produit, il met en danger des **enjeux** divers (personnes, biens et activités) présent sur le territoire concerné. Ces derniers tiennent compte des valeurs socio-économiques (vies humaines, valeurs patrimoniales, chiffres d'affaires) représentant le coût chiffrable des pertes possibles ; ils peuvent être aussi appréhendés par leur importance et leur **vulnérabilité**. Celle-ci rend compte de la susceptibilité aux dommages des enjeux exposés aux forces générées par l'aléa. Elle représente alors une condition, résultante de facteurs physiques, sociaux, économiques ou environnementaux, qui prédispose les éléments exposés à la manifestation d'un aléa à subir des préjudices ou des dommages (Morin, 2008).

De nombreux aléas interagissent et peuvent se produire aussi bien successivement que simultanément sur un même territoire. Ils ne constituent un risque que par les enjeux qu'ils menacent, il n'est pas statique car il peut changer très rapidement en raison de l'évolution des aléas (dangers), de l'exposition et de la vulnérabilité. Ainsi, pour réduire le risque, il n'existe pas d'autre alternative que d'agir sur l'aléa et/ou sur l'enjeu.

Selon le Rapport d'évaluation mondial de l'UNDRR (2015), le risque de catastrophe naturelle qui peut se manifester à petite ou à grande échelle, est exprimé comme la probabilité de perte de vies humaines, de blessures ou de destruction et de dommages dus à une catastrophe au cours d'une période donnée. En outre, le Cadre d'Action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophes 2015-2030, recommande l'amélioration de la compréhension de tous les facteurs

à savoir les caractéristiques des aléas, l'exposition des enjeux (humains et matériels), les vulnérabilités et aussi la capacité de la société à se protéger des catastrophes et sa résilience (UNISDR, 2015). En effet, les événements catastrophiques mettent à l'épreuve la durabilité des territoires et leurs capacités de résilience.

À l'échelle mondiale, environ un millier de grandes catastrophes « naturelles » sont recensées annuellement en majeure partie provoquées par les crues destructrices dont l'origine est météorologique ; leurs effets sont les mouvements de terrain (écroulements, éboulements, glissements) et les inondations. Celles-ci sont beaucoup plus fréquentes dont les dégâts matériels générés en milieu urbain, impactent de manière significative les conditions de vie des personnes touchées.

III. Inondations en territoire urbain

III.1 Inondation: Caractéristiques selon la cinétique

L'inondation d'une zone correspond à sa submersion lente ou rapide alors qu'elle est habituellement hors des eaux. Elle est soumise à différents types d'inondation selon le régime climatique, hydrodynamique et topographique. En fonction de la vitesse de la montée des eaux, les inondations peuvent être classées en deux catégories :

-Inondation à cinétique lente : se caractérise par une montée des eaux lente et progressives, de l'ordre de la journée ou plus ; les durées de submersion sont ainsi longues, et les quantités d'eau écoulées sont importantes (de centaines de millions à plusieurs milliards de m³ d'eau) (Tanguy. 2012) Ces inondations ne sont pas violentes et le risque pour la population reste relativement limité, mais le coût des dommages liés à la durée de submersion est élevé. Ce sont particulièrement des inondations fluviales ou de plaine.

- Inondation à cinétique rapide : se caractérise par une montée des eaux rapide, d'une durée souvent inférieure à 1 heure, par un fort pouvoir érosif et destructif (Tanguy. 2012). Le risque humain et économique est alors très élevé ; c'est une inondation de type « éclair ». Elle est généralement due à des pluies orageuses courtes mais intenses, qui ne parviennent pas à se disperser par infiltration, ruissellement ou écoulement, elle s'accompagne alors souvent de coulées de boue ou de glissements de terrain.

III.2 Causes d'inondation

Bien que chaque phénomène d'inondation soit particulier, plusieurs causes peuvent être à l'origine d'une submersion ; on distingue :

a- un débordement de cours d'eau à cinétique lente, typique en plaine ; il a pour origine des précipitations successives et soutenues sur de vastes zones. Les inondations de plaine (Fig.7) sont progressives et peuvent durer plusieurs semaines ;

b- une crue éclair ou torrentielle caractérise les situations plus violentes marquées par une inondation torrentielle due aux crues des torrents qui font suite à des précipitations intenses et localisées souvent liées à des orages convectifs;

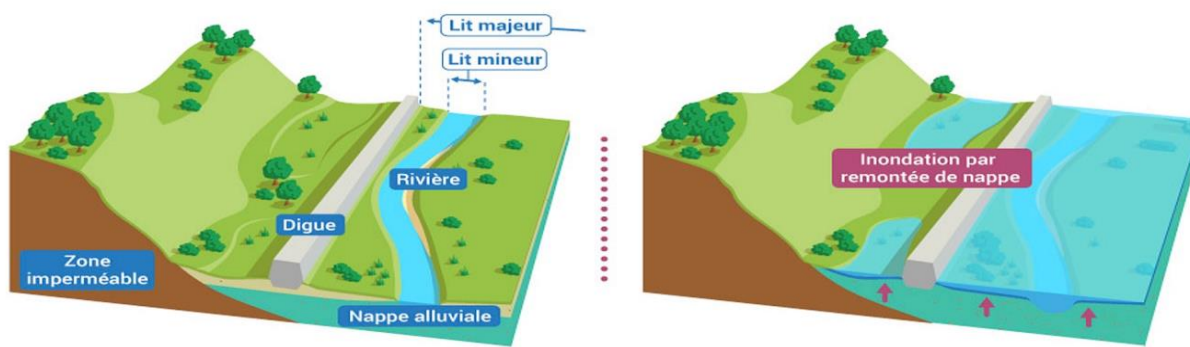


Figure 7: Inondations torrentielle et de plaine (Nivesse M.in OIEau, 2018)

c- un ruissellement sur sol rendu imperméable ; une forte accumulation d'eau ruisselle mais les eaux de pluie ne peuvent pas ou plus s'infiltrer dans le sol, ce qui induit des inondations par ruissellement (Fig. 8). Ce phénomène est le plus souvent observé en milieu urbain et périurbain en raison de l'artificialisation des sols ou en milieu rural lorsque le sol est gelé ou saturé en eau.

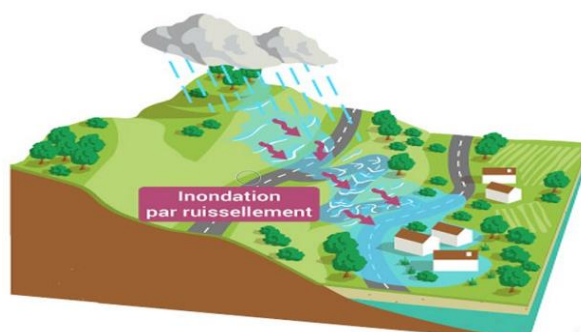


Figure 8. Inondation par ruissellement (Nivesse M.in OIEau, 2018)

d- **une remontée de la nappe** qui peut être due à une recharge exceptionnelle suite à des épisodes de pluies brèves et localisées mais de forte intensité. En effet lors des événements pluvieux exceptionnels, le niveau de la nappe phréatique ou de la nappe libre atteint la surface du sol car la recharge naturelle de la nappe devient plus importante que le vidange annuelle vers ses exutoires (naturels ou anthropiques), et l'inondation par nappe se produit et peut s'étendre sur une large superficie (Fig.9).

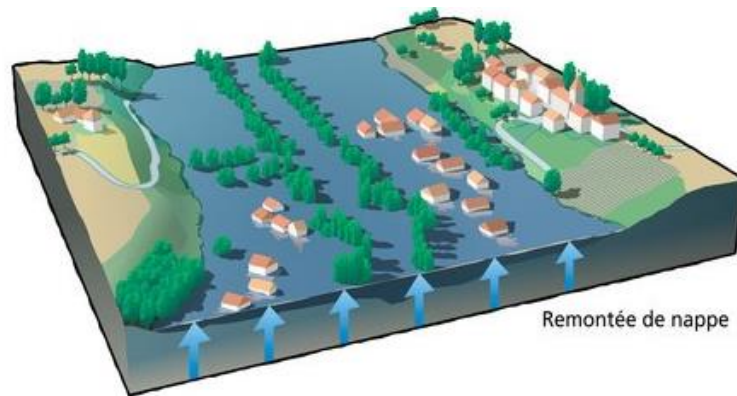


Figure 9.Inondation par remontée de nappe (MEDD, 2004)

A l'origine de ces quatre événements se trouve un facteur climatique important : une pluie de très forte intensité ou un cumul important de pluie sur plusieurs jours. L'inondation se traduit par un écoulement d'eau important en dehors du réseau hydrographique et du réseau d'évacuation des eaux pluviales ainsi qu'à une saturation des réseaux d'assainissement.

e- une rupture d'ouvrages hydrauliques : il s'agit d'une destruction partielle ou totale d'un barrage, d'un embâcle (obstruction du lit d'un cours d'eau, d'un détroit par un amas de glace flottante, ou d'une digue de protection contre les inondations. Elle se fait de manière brutale ou progressive, en raison de problèmes techniques (défaut de fonctionnement des vannes permettant l'évacuation des eaux, vieillissement des installations...), ou causes naturelles (séismes, crues exceptionnelles, glissements de terrain.) ou voire même causes humaines (erreurs d'exploitation, de surveillance et d'entretien, malveillance...). La rupture d'embâcle (Fig. 10) peut se produire plusieurs jours après une période de pluies exceptionnelles ou l'apparition d'un mouvement de terrain (Boubchir, 2007 ; Ledoux, 2006).

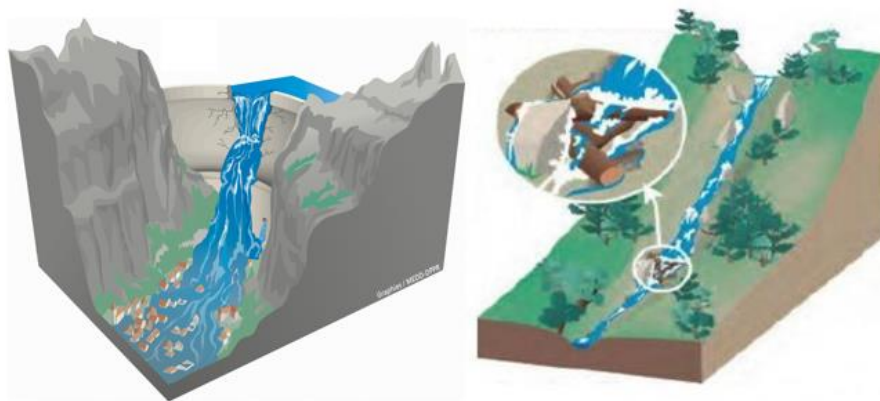


Figure 10. Inondation par rupture d'ouvrage hydraulique (cas du Barrage -à gauche- et d'un embâcle d'un torrent (à droite) (graphes de MEDD-DPPR, 2004)

f- **une submersion marine** se manifeste par une propagation de la mer à l'intérieur des terres en zones côtières de façon temporaire (Fig.11), lors d'événements météo-marins paroxysmiques (fortes houles, fortes dépressions, fort vent de mer et coefficients élevé de marée) et le cas d'un raz de marée suite à un tsunami.

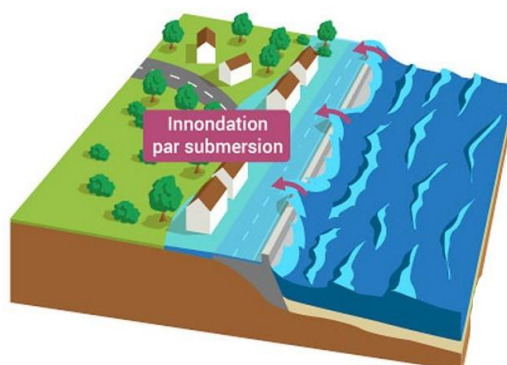


Figure 11. Submersion marine (Nivesse M.in OIEau, 2018)

III.3 Impacts de l'inondation en territoires urbain et rural

Dans une zone géographique connue sous le nom de bassin hydrographique, ou bassin versant (Fig.12), les inondations sont associées à certains événements naturels extrêmes qui se produisent sur les bassins versants (ruraux (naturels) ou urbain) et dont les impacts se font sentir lorsque les eaux interagissent avec les environnements naturels et humains de manière négative, causant des dommages, la mort et des perturbations. En raison des contextes géomorphologique et socioéconomique, les inondations et leurs impacts, sont très différentes en territoire urbain et rural. Par ailleurs, les inondations urbaines sont souvent considérées comme plus importantes

que les rurales et causent généralement des dommages et des perturbations considérables qui dépassent la portée des l'eaux de crue (Jha A. et al 2012).

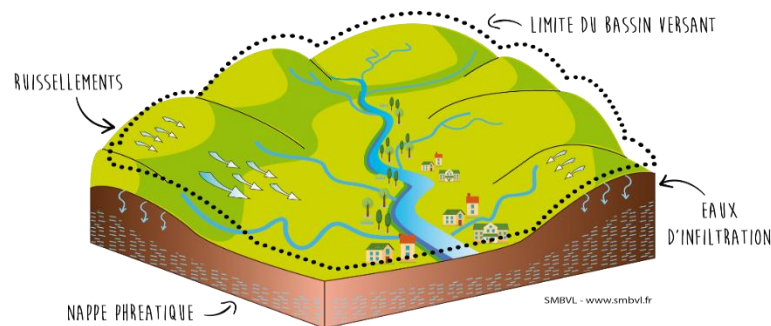


Figure 12. Bassin hydrographique ou Bassin versant (Source : SMBVL)

III.3.1 Impacts des inondations fluviales en zones rurales

Dans les régions rurales, les bassins hydrographiques sont généralement caractérisés par une pluviométrie variable et où les précipitations peuvent être combinées à la fonte des neiges. Les crues font partie intégrante du régime naturel d'une rivière et dans la plupart des cas, les zones rurales ont tendance à absorber l'excès d'eau pendant les tempêtes empêchant ainsi les inondations généralisées dans la région. Dans le cas d'une pente topographique raide (pente hydraulique élevée), les fortes pluies peuvent alors faire en sorte qu'un lit du cours d'eau qui connaît peu ou pas d'écoulement au début, déborde soudainement avec un écoulement rapide de l'eau. Son niveau monte donc rapidement, l'eau sort du lit de l'oued et inonde la région. En raison de l'intensité des pluies et de la vitesse d'écoulement de l'eau sous l'effet des pentes, a la force d'emporter tout ce qui se trouve sur son passage. Dans la plus part des cas l'inondation s'y arrête aussi soudainement qu'elle commence.

Dans les zones rurales, les plaines inondables sont souvent des zones attrayantes pour la population pour le nombre de ressources naturelles essentielles qui y sont généralement fournies (Eau, sol agricole...). Néanmoins, en cas d'inondation, les effets négatifs apparaissent en premier lieu sur les terres agricoles (pertes de récoltes, dépôt excessif de sédiments et de contaminants, dégradation potentielle du sol, ...). De même, le ruissellement accentue l'érosion des sols qui entraîne des dépôts de boues dans les ouvrages de transport et de stockage des eaux pluviales et dans les espaces inondés. Dans d'autre cas, il induit une coulée de boue et provoque des dégâts plus importants. Certes, les pertes attendues dans les zones rurales ayant subi une inondation sont généralement beaucoup plus faibles que celles des zones urbaines, néanmoins, l'évaluation des dégâts suite à une phase d'inondation dans les zones rurales est souvent

négligée ou seulement prise en compte en utilisant des approches simples et des estimations approximatives (Forster S. et *al.*; 2008). Les inondations en milieu rural peuvent cependant affecter des zones beaucoup plus étendues et toucher la partie la plus pauvre de la population. Celle-ci serait alors confrontée au risque d'insécurité alimentaire.

III.3.2 Impacts des inondations fluviales en zones urbaines

En milieu urbain, lors de pluies intenses, les débits d'eau de ruissellement peuvent être très importants au point de saturer les réseaux d'évacuation des eaux pluviales et les ouvrages hydrauliques. Les inondations urbaines sont spécifiques par le fait que la première cause est un manque de drainage dans la zone urbaine et l'imperméabilité du sol due à l'urbanisation, ce qui favorise les risques d'inondation. L'eau monte relativement lentement jusqu'au débordement ; l'eau emporte alors les rues avec des vitesses importantes combinées à des hauteurs d'eau variables. Il peut ainsi provoquer des dégâts matériels conséquents, et le nombre de victimes est généralement très limité sauf dans certains cas, où l'intensité des pluies diluviennes en un laps de temps court et l'incapacité du réseau d'assainissement d'évacuer le surplus d'eau, entraînent une inondation inéluctable, tel le cas du drame de Tanger (Photo1). En février 2021, une unité industrielle clandestine de textile, située dans un garage souterrain, dans une ruelle de la ville, a été submergée rapidement par les eaux ne laissant aucune chance à 28 employés d'échapper à la mort. Ils sont tous décédés noyés dans ce lieu. Autres les dégâts humains, les dommages sont, dans de telle situation, plus intenses, généralement plus coûteux, et s'accompagnent de graves problèmes de pollution des eaux (Andjelkovic, 2001).

Les inondations urbaines sont plus coûteuses et plus difficiles à gérer, leur gestion joue alors un rôle important dans la protection des personnes et des infrastructures ; elle a franchi aujourd'hui un pas de plus vers la systémique en utilisant le concept de la résilience qui invite à concevoir les risques dans leur globalité et leur complexité (Barroca et al.,2013) car la résilience d'un territoire est par nature globale.



Photo 1 : Drame de Tanger : Inondation d'un espace souterrain d'une unité industrielle.

<https://lepetitjournalmarocain.com/2021/02/page/27/>

IV. Résilience territoriale face aux inondations

Partout dans le monde, les territoires changent et se transforment sous l'effet soit des risques soit en lien avec des objectifs de développement. Toutefois, certaines pratiques inadéquates de planification et de gestion, exacerbent l'augmentation des risques d'inondations dont les scénarios climatiques sont susceptibles d'être, à long terme, l'un des moteurs de leur évolution future. Les inondations sont déjà les catastrophes naturelles les plus fréquentes les plus dommageables et les plus mortelles qui frappent le monde chaque année (Pulvirenti et al, 2011 b). En effet, elles ont représenté en 19 ans (1998-2017), 43,4% de la totalité des catastrophes naturelles (Fig.13), avec des dégâts matériels et des pertes humaines importants. Alors, des mesures de préventions et de résilience s'imposent, puisqu'en pratique cette dernière vise surtout à anticiper les crises pour éviter aux territoires urbains toute rupture ou effondrement (Touili. N., 2015 ; T. Toubin et al.2012).

Le Programme de développement durable à l'horizon 2030 des Nations Unies fait à plusieurs reprises référence à la résilience comme un concept clé du développement durable. De plus, de nombreuses institutions internationales et organisations non gouvernementales (ONG), de même que des gouvernements nationaux, proposent leur approche de la résilience voire une adoption d'une stratégie de résilience, qui vise à « se préparer à faire face à tout type de chocs ou de stress chroniques. Le concept de résilience semble être utilisé comme un outil de soutien stratégique dans le domaine de gestion des risques, et ce, pour aider à décloisonner les approches de celle-ci, et mettre en dialogue les acteurs sur les questions importantes pour les territoires et comme cela a été noté par certains auteurs, évaluer la résilience en tenant compte de tous les paramètres contribuant à améliorer la gestion des risques (Serre, 2011 ; Schelfaut *et al.*, 2011).

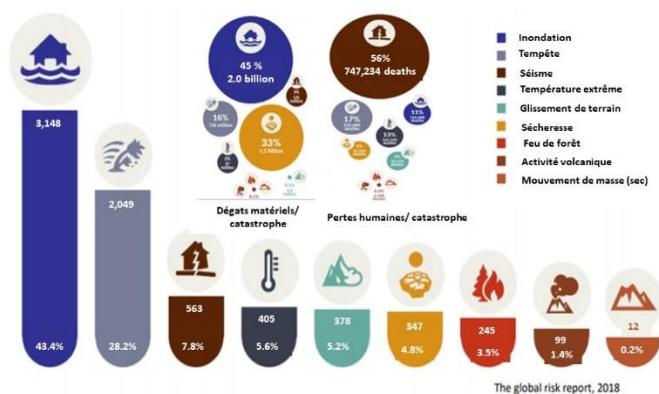


Figure 13. Nombres de catastrophes naturelles par type entre 1998 et 2017 et la part des dégâts matériels et les pertes humaines par type de catastrophe
(Source : CRED. UNISDR, 2018)

Contrairement aux approches traditionnelles de la gestion des risques qui se concentrent sur la prévention des dommages, la résilience focalise sur l'atténuation et le renforcement des capacités (Manyena 2006 ; Sabrina et al.,2019), et d'un point de vue opérationnel, elle considère le risque comme une composante à part entière du développement d'un territoire, et non comme une contrainte s'y opposant. Ainsi la résilience territoriale est perçue comme un outil opérationnel en tant que vecteur de sa durabilité, et présente alors un potentiel en tant qu'approche des problèmes d'inondations urbaines, particulièrement en réponse à l'urbanisation dans les zones à risque. Néanmoins, dans la littérature et dans la pratique, une certaine difficulté à opérationnaliser la résilience est avancée, en raison probablement d'être appréhendée davantage comme un processus que comme un objectif. Il n'y a pas de voie unique vers une résilience universelle (Hegger et al. 2016). Une diversification des stratégies de gestion des risques d'inondation (Tab 1), telles présentées par Hegger et al. (2014) contribuerait à la résilience et ce, en opérationnalisant la notion de « résilience aux inondations des agglomérations urbaines » en trois capacités (Tab.2) : capacité à résister ; capacité d'absorption et de récupération ; et la capacité de se transformer et de s'adapter (Alexander et al.2016 a ; Hegger et al 2016)

V. Résilience et Gestion du risque d'inondation en territoire urbain au Maroc

De par sa position géographique au Nord-Ouest du continent africain, ses façades maritimes atlantique et méditerranéenne, la diversité de son climat et de ses reliefs ainsi que la variabilité hydroclimatique, le Maroc est confronté aux risques d'inondations croissants dont la gestion y est le résultat d'une longue évolution. Depuis quelques années, des événements pluviométriques exceptionnels se manifestent dans plusieurs régions du pays, touchant de plus en plus des zones habituellement à l'abri. Certaines inondations revêtent un caractère de gravité exceptionnelle en termes de pertes de vies humaines et économiques ; elles touchent des centres urbains, des plaines, rurales voire même des régions subdésertiques (Tab.3).

Les phénomènes météorologiques sont difficiles à prévoir et il est impossible d'éliminer totalement le risque de crue ou d'inondation. Au Maroc, elles sont devenues un phénomène structurel. La lutte contre ces catastrophes naturelles a été prise en considération depuis bien longtemps dans les politiques des barrages. Néanmoins, les inondations que connaissent

Tableau 1:Cinq types de stratégies de gestion des risques d'inondation (Hegger et al. 2014).

Stratégie	Caractéristiques
1. Prévention des risques d'inondation	Les mesures de prévention visent à réduire les conséquences des inondations en diminuant l'exposition des personnes/ des biens, etc., via des méthodes qui interdisent ou découragent le développement dans les zones à risque d'inondation (par exemple, aménagement du territoire, politique de redistribution des lots, politique d'expropriation, etc.). L'objectif principal de la stratégie est de « maintenir les gens à l'écart de l'eau » en construisant uniquement en dehors des zones sujettes aux inondations.
2. Défense contre les inondations	Les mesures de défense contre les inondations visent à réduire la probabilité d'inondation des zones grâce à des travaux d'infrastructure, tels que des digues, des barrages, des remblais et des déversoirs, généralement appelés « protection contre les inondations » ou « mesures structurelles » grâce à des mesures qui augmentent la capacité des canaux existants pour l'eau. Le transport (naturel ou artificiel) pour augmenter l'espace pour l'eau (latéralement ou verticalement) ou la création de nouveaux espaces de rétention d'eau en dehors de la zone à défendre. En bref, l'accent est mis sur « garder l'eau loin des gens ».
3. Atténuation des risques d'inondations	L'atténuation des risques d'inondation se concentre sur la réduction des conséquences des inondations grâce à des mesures à l'intérieur de la zone vulnérable. Les conséquences peuvent être atténuées par une conception intelligente de zone protégée ou (la réglementation pour) la construction à la zone inondable. Les mesures comprennent l'ordre spatial, la rétention d'eau dans la l'épreuve des inondations. L'atténuation des risques d'inondation comprend donc toutes les mesures visant à protéger les propriétés contre les inondations ainsi que les mesures de rétention ou de stockage de l'eau dans ou sous la zone sujette aux inondations.
4. Préparation des inondations	Les conséquences des inondations peuvent également être atténuées en se préparant à une inondation. Les mesures comprennent le développement de systèmes d'alerte aux inondations, la préparation de plans de gestion des catastrophes et d'évacuation et la gestion d'une inondation lorsqu'elle se produit.
5. Récupération des inondations	Cette stratégie facilite une bonne et rapide récupération après une inondation. Les mesures comprennent des plans de reconstruction ou de reconstruction ainsi que des systèmes d'indemnisation ou d'assurance.

Tableau 2: Trois capacités de résilience en application aux inondations : définitions, indicateurs et sources (Hegger et al.2016)

Forme de capacité	Définition adoptée	Indicateurs	Sources
Capacité à résister	La capacité à ne pas être affecté par les inondations, en augmentant le seuil au-dessus duquel les inondations peuvent causer des dommages	Mise en œuvre en temps opportun de mesures efficaces permettant de résister aux inondations, p. Ex. Mesures structurelles ou rétention en amont	Klijn et coll. 2004, Aerts et al. 2008, De Graaf et al. 2009, Mens et al. 2011
Capacité d'absorber et de récupérer	La capacité d'un système affecté par une inondation à continuer de fonctionner, à répondre à une inondation et à se rétablir (sans passer à un autre état du système)	Mise en œuvre en temps opportun de mesures efficaces permettant de répondre et/ ou de se remettre des inondations : présence de sensibilisation aux Inondations, mesures d'atténuation des inondations, systèmes d'assurance, systèmes de prévision et d'alerte, gestion des crises	Klijn et coll. 2004, Folke 2006, Liao 2012, Mens et al. 2011
Capacité à transformer et à s'adapter	La capacité d'un système à s'adapter aux facteurs externes affectant l'exposition des personnes et des actifs économiques aux inondations (y compris le changement climatique, la variabilité climatique et les changements extrêmes, les changements démographiques et les changements dans les schémas d'urbanisation) pour modérer les dommages potentiels, pour en profiter d'opportunités, de faire des changements délibérés à petite échelle ou de faire face aux conséquences.	Présence de mécanismes institutionnalisés d'apprentissage (par exemple, alliances apprentissage-action : présence d'instituts de connaissances solides) Preuve de la capacité des acteurs liés aux institutions et aux communautés locales à adopter de nouvelles approches et perspectives (par exemple, mise en œuvre de politiques flexibles)	Folke et coll. 2005, Millennium Ecosystem Assessment 2006, Pahlwosti et al. 2007, Mostert et al. 2008, Raadgever et al. 2008, Gupta et al. 2010.

différentes régions du pays et de façon récurrente, laissent percevoir l'incapacité des pouvoirs publics (État et collectivités territoriales) à être confrontés à un épisode plus important.

Chaque événement apporte la preuve de la vulnérabilité croissante du territoire affecté, elle le sera encore plus au vu des impacts du changement climatique. Afin de faire passer le territoire résistant à un territoire résilient, le gouvernement du Royaume du Maroc a initié, depuis plusieurs années, un vaste programme d'investissement et de réformes institutionnelles visant l'amélioration de la résilience du pays et à mieux protéger les populations vulnérables et les biens exposés aux risques de catastrophes naturelles (Ministère de l'Intérieur, 2017).

Les efforts déployés vers une stratégie publique intégrée se sont poursuivis à travers plusieurs programmes et projets, notamment celui de Gestion Intégrée des Risques de Catastrophes Naturelles et de la Résilience du pays face aux risques des catastrophes naturelles, une mise en place d'instruments institutionnels et réglementaires pour le renforcement de l'action publique en matière de gestion des crises post-crues. Ces projets sont établis sur la base d'une collaboration multiple, nationale et internationale. En outre, toujours dans le sens d'une volonté de mener une politique ambitieuse de gestion des inondations et de renforcer l'organisation opérationnelle en vue d'améliorer la résilience du territoire national face aux inondations, un système d'aide à la gestion des risques d'inondation a été mis en place comme solution intégrée, dans le cadre du Projet « Vigirisque Inondation » pour l'anticipation des événements et la mise en œuvre d'actions pour sécuriser les enjeux (personnes et les biens). Ainsi, un centre opérationnel de veille, d'alerte d'aide à la gestion des risques d'inondation a été mis en place en 2019 au niveau du Ministère de l'Intérieur. Ce centre permet d'alerter par anticipation les populations exposées aux risques d'inondation (Fig.14).

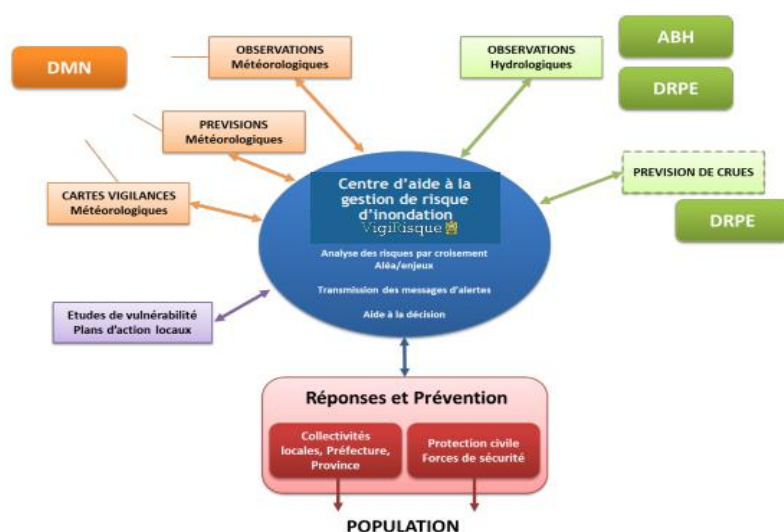


Figure 14. Schéma conceptuel de *VigiRisque* inondation–Maroc (Roumagnac, A. 2021)

Tableau 3: Centres touchés par des inondations fluviales à caractère exceptionnel depuis 1965 à 2020) (Source : DRPE et LAHSAINI, 2017 modifiées

Dates des inondations extrêmes		Zones touchées	Dégâts	
Date début	Date fin		N.M* **	T.P.A*/D. E**
04/09/1995	04/09/1995	Taza,Oued Amlil, Zwagha...	43	ND
17/08/1995	18/08/1995	Marrakech (Ourika)	730	35000
01/04/1995	01/04/1995	Région de Tata	18	3000
17/08/1995	18/08/1995	Vallée d'Ourika	250	-
21/02/1996	01/02/1996	Beni Mellal, Sebaa Ayoun	25	60000
28/09/1997	29/09/1997	El Hajeb, Taza, Khénifra	60	78 véhicules
22/12/2000	22/12/2000	Tétouan, Tanger, Chaoune	6	650
22/10/2000	25/10/2000	Région de Taza	-	300
23/12/2001	26/12/2001	Senat, Essaouira	15	300
24/11/2002	29/11/2002	Mohammedia, Berrechid Sett, Casablanca et de Fès	80	15017 ; La Samir
17/1/2003	18/11/2003	Boufrah,Nador, Al Hoceima	35	10000
28/10/2006	29/10/2006	Ouarzazate, Errachidia	-	1000
25/10/2006	27/10/2006	Province d'Essaouira et de Safi	11	-
26/05/2006	28/05/2006	Province d'Er Rachidia	6	1100
23/10/2008	03/11/2008	Driouch, Tétouan, Tanger, Fnideq-M'diq-Martil	30	20000
26/02/2008	28/02/2008	Marrakech, Qalaat Seraghna	9	ND
25/12/2009	26/12/2009	Rabat, Agadir	5	7520
01/02/2009	12/02/2009	Nord du Maroc, Sidi Kacem,Sidi Slimane, Sidi Yahya	24	2000
10/03/2010	12/03/2010	Plaine du Gharb	10	100.000 ha de terre inondée
27/09/2014	27/09/2014	M'diq- Fnideq	-	-
28/11/2014	30/12/2014	Guelmim, Sidi Ifni Agadir -Azilal	53	-
28/10/2016	29/10/2016	Saquia El Hamra	1	18 ha
23/02/2017	24/02/2017	Rabat- Salé	-	Circulations paralysée
28/08/2019	29/08/2019	Taroudant	7	-
24/04/2020	25/04/2020	Kelaa Sraghna; Region de Sidi Rahal - Marrakech	-	-
01-02-03/2021	01-02-03/2021	Casablanca ; Tanger ; Tétouan ; M'diq, Martil, Fnideq ; Chefchaouen ; Ksar Sghir	24	-

*T.P.A : Total de la Population affectée ; **D. E : dommages enregistrés ; ***N.M : Nombre de morts ; (-) : Chiffres non communiqués ou non disponibles.

Ce projet financé par le Fonds de lutte contre les effets des catastrophes naturelles, est déployé dans un premier temps sur quatre zones représentatives des problématiques d'inondations au niveau du territoire national, à savoir une zone urbaine (Mohammedia), une vallée (Ourika), une plaine (Gharb) et une zone saharienne (Guelmim) (Fig.15) et sera étendu plus tard aux territoires les plus vulnérables aux risques d'inondation.



Figure 15. Sites pilotes pour les opérations de veille, d'alerte d'aide à la gestion des risques d'inondation –Projet « Vigirisque Inondation » (Ministère de l'Intérieur, 2019)

Aussi, conformément aux objectifs du « Cadre de Sendai » pour la réduction des risques de catastrophe à l'horizon 2030, un Plan d'Action National de Gestion des Risques de Catastrophes Naturelles (2020-2030) a été adopté en 2020, il vise à protéger les enjeux à réduire la vulnérabilité et renforcer la capacité à y faire face pour garantir le développement de la durabilité du territoire. Ce plan couvrira 4 types de catastrophes naturelles dont les inondations. Le programme de travail préliminaire est déjà lancé (2020-2022) et celui pour l'exécution des projets planifiés sera en 2025. C'est un plan qui repose sur quatre piliers principaux : l'implication de tous les acteurs aux niveaux central et local, la diversification des sources de financement liées à la prévention des risques naturels, la promotion de la recherche scientifique dans le domaine de la prévention des effets des catastrophes naturelles et le renforcement des formes et des moyens de coopération internationale dans ce domaine.

Les mesures de gestion des crues et inondations programmées sont aussi bien structurelles que non structurelles et visent deux importantes notions : la durabilité et la résilience. Cependant

selon les recommandations de la Banque Mondiale (2012), une stratégie globale intégrée doit être rattachée aux politiques et pratiques existantes d'urbanisme et de gestion urbaine.

VI. Conclusion

Dans le contexte du changement climatique actuel du développement d'une urbanisation non maîtrisée et d'une artificialisation excessive des sols, aucun territoire n'est à l'abri des risques. Il ne s'agit donc plus uniquement de lutter contre, mais d'apprendre à vivre avec, en développant la résilience afin de réduire les conséquences et la gravité de leurs impacts sur les citoyens, l'activité économique et le cadre bâti. La résilience est désormais clairement affichée comme une injonction nationale qui doit s'appliquer sur les territoires vulnérables aux inondations fluviales et guider l'action publique. Elle est en effet présentée dans de nombreux programmes nationaux et internationaux, comme une « opportunité » pour faire avancer des actions en matière de gestion de risque et de crise tout en impliquant l'acceptabilité du risque.

Au Maroc comme partout ailleurs, la lutte contre les inondations reste une préoccupation forte pour les pouvoirs publics et une attente toujours importante de la part des populations. Par des programmes ambitieux, l'objectif politique de la gestion des risques de catastrophe y vise une réduction des risques de catastrophe et un renforcement de la résilience des territoires impactés et donc à la réalisation du développement durable.

PARTIE 2 : ZONE D'ETUDE ET METHODOLOGIE

CHAPITRE 1: CONTEXTES NATUREL, CLIMATIQUE ET SOCIOECONOMIQUE DE LA PREFECTURE MDIQ-FNIDEQ.

I. Introduction

Face aux prévisions sérieuses des catastrophes climatiques en augmentation en nombre, en intensité et en fréquence, le concept de la résilience apparait comme une stratégie à développer pour la gestion contre les inondations des villes, un outil pour mieux planifier et mesurer les progrès futurs. Afin d'évaluer le degré de résilience des communes urbaines de la préfecture de Mdiq et Fnideq, notre zone d'étude connue par des inondations catastrophiques, il est judicieux de commencer par présenter les paramètres naturels et les données démographiques et socioéconomiques du territoire étudié pour mieux dégager l'ampleur des principaux enjeux présents sur ce territoire.

II. Paramètres naturels de la préfecture de M'diq- Fnideq

II.1 Situation géographique et administrative

La préfecture de M'diq-Fnideq est située au Nord-Est du Maroc (Fig.16), sur la partie occidentale de la côte méditerranéenne. Elle s'étale sur une zone orientée NNW à SSE d'une superficie de 178,5 km² ; elle est limitée à l'Est par la mer Méditerranée, à l'ouest par la chaîne du Rif, au Nord par le cap de Sebta et au Sud par l'oued Martil.

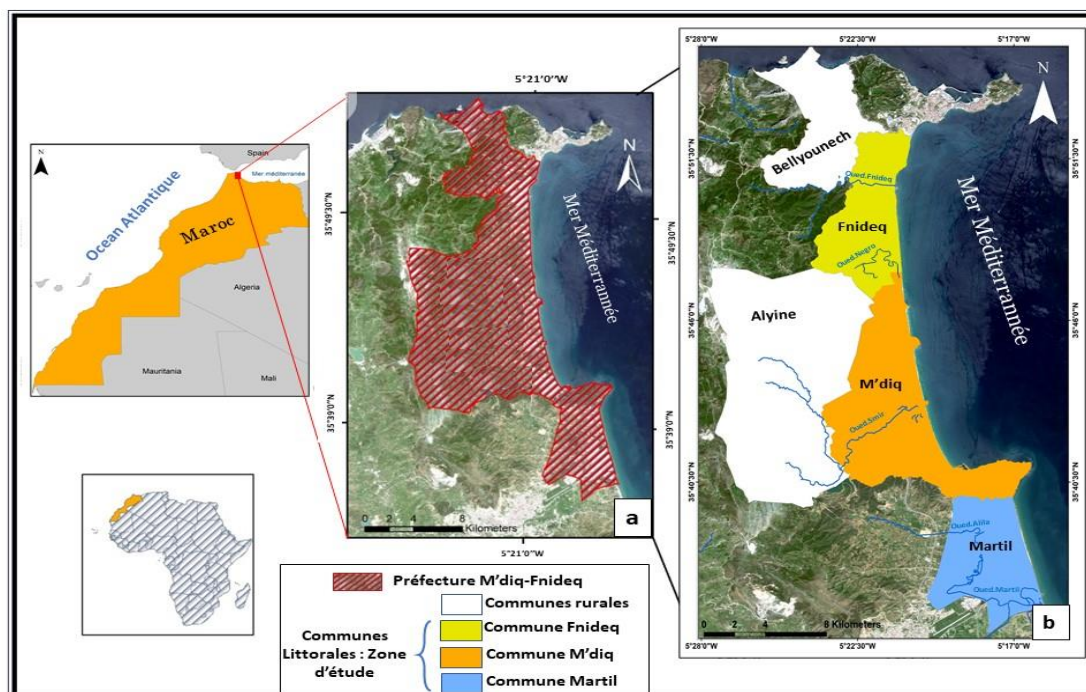


Figure 16. Situation géographique de la zone d'étude : (a) Territoire de la préfecture M'diq Fnideq au Maroc et (b) Communes de Fnideq, M'diq et Martil ; Communes rurales

Depuis 2005, la préfecture de M'diq-Fnideq a vu le jour, faisant partie de la Région de Tanger –Tétouan – Al Hoceima. Avec une superficie de 17km², elle se compose depuis de deux communes rurales, d'Alliyenne et Belyounech (Fig 16), et de trois autres urbaines, de M'diq, Fnideq et Martil, qui étaient rattachées auparavant à la province de Tétouan. Seules ces trois dernières communes feront l'objet de notre étude (M'diq, Fnideq et Martil). Cette région est caractérisée par la diversité de milieux qui se distinguent par leurs caractéristiques géographiques, hydrologiques et écologiques.

II.2 Caractéristiques géomorphologiques

La zone de Mdiq-Fnideq est caractérisée par un littoral relativement rectiligne et d'altitude peu élevée. Orienté 10° Sud au Nord de Fnidek, il passe progressivement à 350° Nord au niveau de M'diq ensuite à 345° Nord, au niveau du Cap Mazari puis 348° Nord au niveau de Martil. Sa bande littorale présente une morphologie continue (Fig.17), interrompue par le promontoire rocheux Cap Mazari. Des plaines côtières caractérisent la frange littorale dont la plus importante est celle de Martil. Elles sont adossées par la chaîne de Rif, et Jbel Moussa du Haouz de Tétouan qui y culmine à 851 m d'altitude. De fortes pentes caractérisent la partie amont de la zone d'étude, alors qu'à l'aval, elles sont beaucoup plus faibles dans la partie des plaines. Celles-ci sont en corrélation avec des cours d'eau, notamment les oueds de Martil (du nom de la commune), d'Alila, de Smir et de Negro ; ces trois oueds se trouvent au Nord de Cap Mazari.

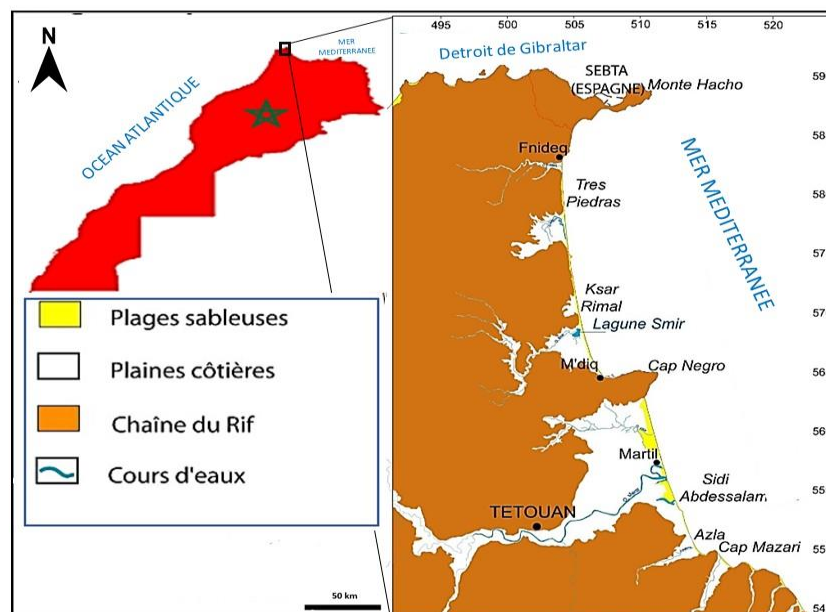


Figure 17. Principales unités géomorphologiques de la zone d'étude (EL MRINI et al., 2008)

II.3 Cadre géologique et structural

Située dans le nord du Rif, la zone d'étude a une structuration alpine relativement complexe. Structuralement le Rif est subdivisé en deux principaux domaines : Interne et Externe, tous les deux sont séparés par les nappes de flyshs (Fig.18).

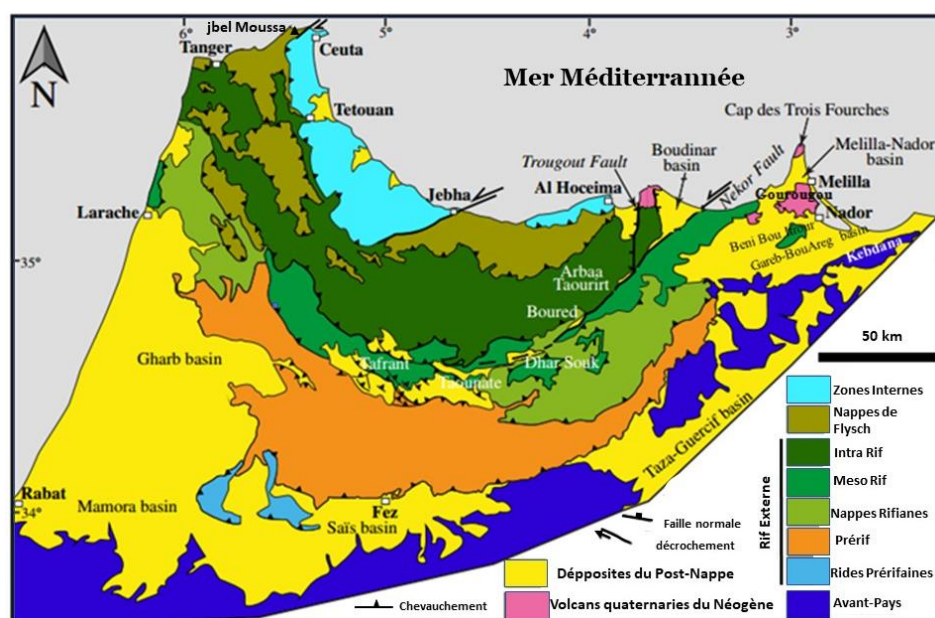


Figure 18. Carte structurale de la chaîne du Rif et de l'arrière-pays de la marge marocaine d'Alboran (Suter, 1980; complétée par Achalhi et al., 2016)

II.3.1 Domaine interne (Domaine d'Alboran)

Il est principalement développé dans le Rif septentrional, et se présente sous forme d'une bande continue depuis la ville de Sebta jusqu'à l'accident de Jebha-Cherifat (Fig.18). Au Nord de Tétouan, ce domaine ne dépasse pas les 10 Km et va s'élargir continuellement pour atteindre 30 Km dans la région de Jebha. Il réapparaît ensuite dans le Rif oriental, à l'Ouest de la ville d'AlHoceima, pour former le massif des Bokkoyas. Il est composé d'un empilement d'unités allochtones issues du domaine d'Alboran charrié sur les marges africaine et ibérique (Chalouan et al., 2008). Selon Durand Delga et al. (1960-62) et Kornprobst (1974), on y distingue trois ensembles structuraux qui sont généralement, de l'extérieur de la chaîne vers l'intérieur : la Dorsale calcaire, les Ghomarides et les sébtides.

-La dorsale Calcaire est allongée sur 150 Km de Jbel Moussa à Jebha-Cherafate ; comme son nom l'indique, elle est constituée de dépôts principalement carbonatés non métamorphisés d'âge mésozoïque à paléogène qui sont des reliques des marges du domaine d'Alboran (Romagny, 2014). La chaîne calcaire disparaît sous la mer pour réapparaître plus à l'Est et

former sur 40 km les chaînons des Bokkoyas. Elle est subdivisée en trois segments entre Sebta et Al Hoceima. (i) Le chaînon du Haouz, entre Sebta et Tétouan ; il est constitué de plusieurs nappes et écaillés redressées à la verticale ou prises en éventail entre les Ghomarides-Sebtides, d'une part, et les nappes de flyschs d'autres part (Kornprobst 1966, Raoult, 1966 ; Leikine, 1969 ; Ben Yaich 1991 ; El Hatimi, 1991). Ensuite (ii) La Dorsale calcaire (*sens strict*), à allure arquée, elle s'étend entre Tétouan et Jebha, sur une longueur de 100 Km (Fallot, 1937 ; Griffon, 1966 ; Wildi et al, 1977 ; Nold et al, 1981 ; Wildi, 1983 ; El Kadiri, 1991), puis (iii) un troisième segment est constitué par de nombreuses écaillés ayant souvent des contacts à faible pendage et peuvent être parfois redressées au front de la chaîne (Ben Yaich et al, 1986).

Sur la bordure orientale du bassin, les écaillés et barres de la chaîne calcaire prennent place en une bande continue de 54 km de long de part et d'autre de la cluse de Tétouan. Et le rétro-chevauchement de la Dorsale calcaire sur les Ghomarides dans la chaîne du Haouz a eu lieu après le Burdigalien inférieur (Raoult, 1966).

-Les Ghomarides, structuralement, ils forment les plus hautes unités au Sud de Tétouan (Milliard, in Durand-Delga et al 1962 ; Durand –Delga et Kornprobst, 1963) et regroupent les terrains paléozoïques, non ou peu métamorphiques. C'est un ensemble de quatre nappes à matériel paléozoïque avec une mince couverture mésozoïque et cénozoïque carbonatée et molassique (MAATE, 1984). Les Ghomarides affleurent principalement dans le Rif septentrional sous forme de Klippes à superficies réduites dans le massif des Bokkoyas (Azzouz, 1992). Les séries stratigraphiques du Paléozoïque allant de l'Ordovicien au Carbonifère y ont été étudiées par Kornprobst (1971 ; 1974). Elles sont localement surmontées par des formations détritiques rouges du Trias moyen à supérieur (Baudelot et al ; 1984), des résidus carbonatés triasico-liasiques et les formations tertiaires discordantes (Belhadad, 1983). Les Ghomarides qui comprennent des méta-sédiments siluriens à carbonifères ont subi une intense phase de plissement varisque (Romagny, 2014)

-Les sebtides : Ce sont les unités les plus profondes du Rif internes (Mrihi, 1995) constituent l'ensemble des terrains plus ou moins métamorphiques, qui affleurent dans le Rif septentrional sous forme de fenêtres à superficies inégales. Milliard (1959) et Kornprobst (1971) y distinguent de bas en haut : les Sebtides supérieurs à matériels carbonifères supérieur permotriasique à triasique et les Sebtides inférieures qui affleurent dans la zone de Cabo Negro par des gneiss et des micaschistes de l'Unité de Filali (Kornprobst, 1974 ; Michard et al., 1983 ; Saddiqi et al., 1988). En effet, Koudiat Taïfor qui domine la Méditerranée à 332 m en formant le cap le plus avancé en mer dans le Rif occidental méditerranéen, est une forme structurale

dégagée dans des formations paléozoïques hautement métamorphiques de l'unité des Sebides qui supporte le paléozoïque non métamorphique des Ghomarides, sous forme d'un petit chaînon de direction est-ouest qui sépare la plaine de Mallaliyine de celle de Smir.

II.3.2 Domaine des flyschs

Au niveau du détroit de Gibraltar et du Rif central à l'Est, des nappes entièrement allochtones, reposent en contact anormal sur le domaine externe, c'est le Domaine des flyschs. Il est séparé, le plus souvent, de la Dorsale calcaire par une formation discontinue dite « Prédorsalien » formées d'unités très tectonisées formées d'écailles tectoniques allant du Lias au Miocène inférieur (Durand-Delga, 1972 ; Didon et al, 1973, 1984) ou formation « éo-oligo-aquitaniennne à blocs » (Ben Yaich, 1981 ; El Hatimi, 1982). Ce sont les témoins d'un témoins paléogéographique intermédiaire entre celui de la Dorsale calcaire et le bassin profond des flyschs (Fin Jurassique – Crétacé) (Didon et al 1973). Le Mauritenien, le Messylien et le Numidien sont les trois types de flyschs qui sont distingués selon Durand- Delga et Mattauer 1960). Les nappes de Flyschs sont considérées par Durand-Delga et al., (2000) comme des dépôts turbiditiques, elles sont constituées, à la base de la série, de marnes à litage calcaires d'âge Crétacé supérieur et, au sommet, de grès à faciès numidien Oligocène.

II.3.3 Zones externes

Le Domaine résulte essentiellement du décollement au Miocène de la couverture sédimentaire mésozoïque et paléogène, déposé sur la marge nord de la plaque d'Afrique (Suter, 1980). Il est formé de trois unités : (i) *Une zone intrarifaine* qui correspond aux Unités de Ketama , de Tanger et du Loukkos ; elles sont formées de schistes Mésozoïques métamorphisés (faciès Schiste Vert) (Crespo-Blanc and de Lamotte, 2006), (ii) *Une zone mésorifaine* ou Mésorif qui correspond à un ensemble de nappes empilées constituées essentiellement de matériel daté du Jurassique au Crétacé inférieur. Il est imbriqué entre l'Intrarif et le Prérif. Wildi (1981 et 1983) Suter, 1965) ; et (iii) *Une zone prérifaine ou Prérif* ; elle correspond aux terrains les plus vieux et qui viennent s'enraciner sous le Mésorif. Le Prérif est connu par une série non schistosée du Mésozoïque. Ses faciès marneux prédominent à partir du crétacé inférieur (Durand Delga et al 1962), ils sont surmontés par un Tertiaire complet jusqu'au Tortonien ; celui-ci termine la série par une formation à olistostromes (Leblanc, 1975). La zone prérifaine est la partie la plus externe de l'orogène rifain (Mrihi, 1995) et elle est subdivisée en deux unités : Prérif interne et Prérif externe (Leblanc, 1975 ; Ben Yaich, 1991).

Notre zone d'étude se caractérise principalement par le domaine interne du Rif (Fig.19) dont les reliefs furent façonnés au cours du Plio-Quaternaire, par les différents climats qui se

sont succédés. Ils ont permis la mise en place d'importants dépôts colluviaux (Suter, 1980) agencés par endroits en glacis (El Gharbaoui, 1981). Durant le Pliocène inférieur, plusieurs bassins se sont individualisés sur les rivages occidentaux de la mer d'Alboran, entre autres, les basses vallées actuelles des oueds Smir (plaine occupée par une lagune), Negron et de Martil. Le Pliocène marin a rempli des rias fossiles encastrées (Wlidi et al, 1977). Les dépôts quaternaires y sont caractérisés par des dépôts continentaux avec des faciès fluviaux détritiques et biochimiques. Un effondrement fini-miocène lié à une phase distensive détermine la présence de rias dont le remplissage est d'abord constitué des marnes bleues du Pliocène inférieur, surmontées de séquences attribuées à un Plio-Quaternaire indifférencié. Les formations conglomératiques à la base puis une sédimentation continue s'instaure jusqu'à l'apparition de milieux protégés, lagunaires (Comentale et al ; 2007).

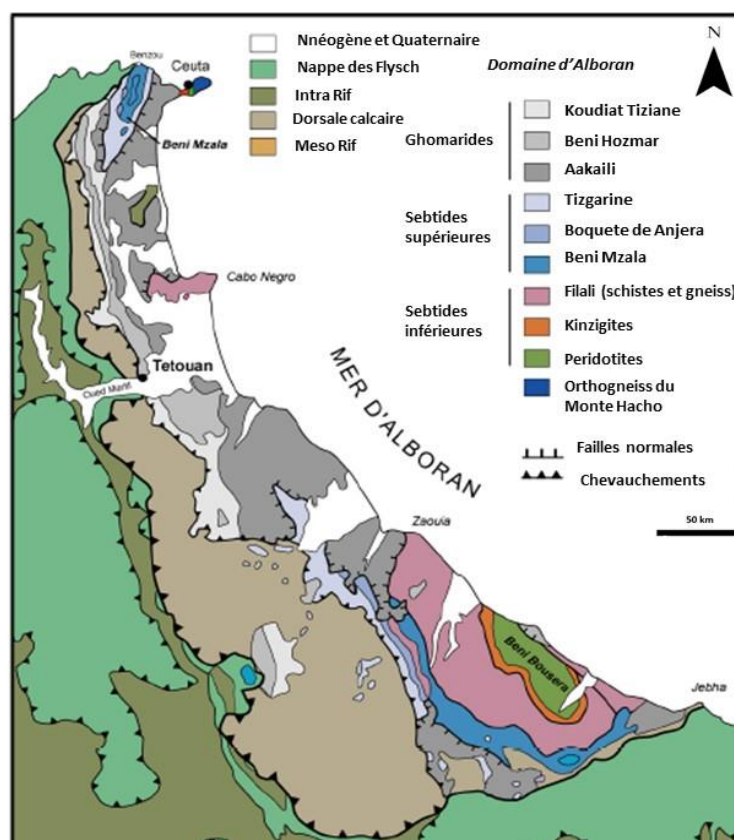


Figure 19. Carte géologique et structurale du Rif interne (Chalouan et al., 2008)

II.4 Climat

La zone de M'diq-Fnideq est caractérisée par un climat typiquement méditerranéen et soumise aux influences méditerranéennes et océaniques. Il est caractérisé par un été chaud et sec et un hiver frais et parfois très froid aux précipitations souvent brutales (El Gharbaoui, 1981).

II.4.1 Précipitations

La saison humide va d'Octobre à Mai et une autre sèche qui s'étale de juin à septembre (Bekkali R. 1987). La région est très bien arrosée avec des précipitations très abondantes en hiver (entre novembre et janvier), avec une moyenne de 800 à 1000 mm/an, répartie sur 90 jours entre novembre et mars avec 5 à 6 mois secs (El Gharbaoui, 1987). Elles varient entre 600 et 800 mm le long des plaines côtières et entre 800 et 1 000 mm sur les hauts reliefs de la chaîne du Haouz (Fig. 20). En été, les précipitations sont quasiment absentes, et l'évaporation moyenne varie entre 1 200 mm et 1900 mm par an (HCP, 2018). Au moins 65 à 80 % des totaux pluviométriques annuels sont enregistrés durant la période novembre- mars. Quant aux précipitations neigeuses, elles sont enregistrées au niveau des hauts sommets du Rif (ABHL, 2016).

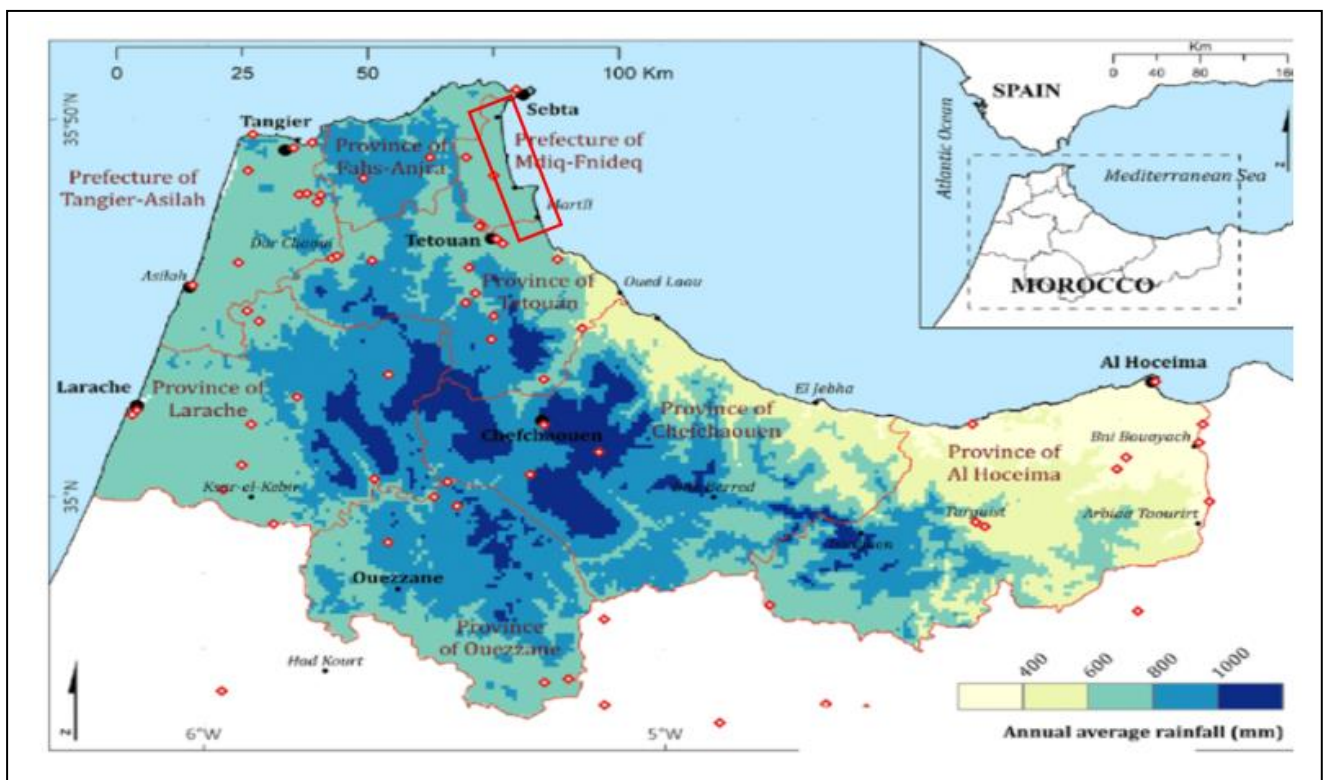


Figure 20 : Répartition annuelle moyenne des précipitations dans la région « Tanger-Tétouan-Al Hoceima » entre 1958 et 2015 après interpolation des données TerraClim. Zone d'étude (Carré rouge) (Salhi A. et al 2019)

Une augmentation significative de la hauteur moyenne annuelle des précipitations a été enregistrée sur les quarante dernières années (Tabl. 4). Au niveau de la station du Barrage de Smir et du pont Torreta à Tétouan, les moyennes des précipitations sont passées de 665 mm et 516 mm pour la décennie 1970-80 à 1012 mm et 1060mm pour celle de 2000-2010. Ces données de l'Agence du Bassin Hydraulique du Loukkos (ABHL) et de la Direction de la

Recherche et de la Planification de l'Eau de Tétouan, Ministère de l'Equipeement sont extraites et traitées par Pateau M. (2014).

Tableau 4:Précipitation moyennes annuelles par décennie (en mm) au niveau des stations météorologiques de Smir et de Tétouan (Pateau M. 2014)

Station	1970-80	1980-90	1990-00	2000-10
Barrage Smir	665	515	838	1012
Pont Torreta (Tétouan)	516	388	620	1060

Cette augmentation significative des précipitations est due à l'accroissement des épisodes pluvieux courts et intenses depuis les années 90, comme en témoignent le nombre d'événements de fortes précipitations sur la période 1980-2010 (Fig. 21).

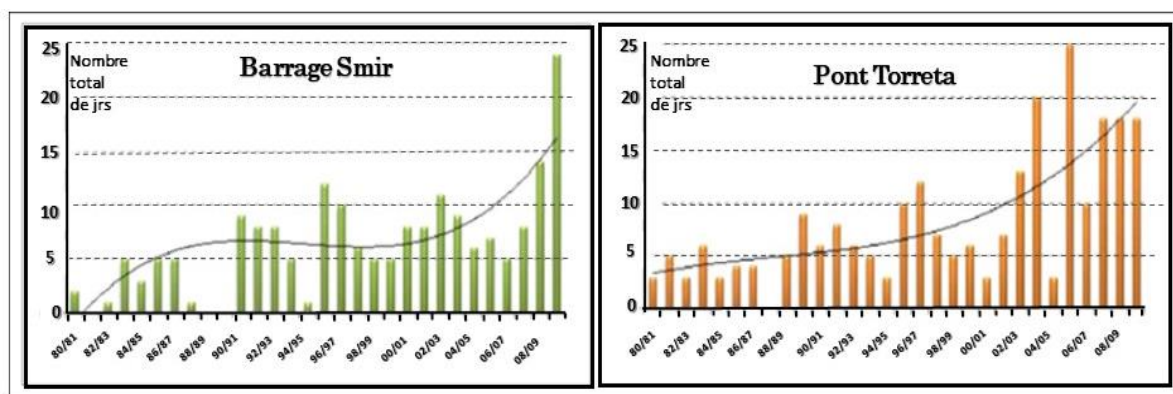


Figure 21 : Nombre de fortes précipitations : nombre total de jours avec précipitation supérieure au 90 ème centile, calculé sur les jours humides de la période de référence pour les stations météorologiques du Barrage Smir et Pont Torreta (Tétouan) Période :1980-2010) (Pateau M., 2014)

Sur la décennie 1980-90, une moyenne de 3 événements intenses par an ont été enregistrés contre 7 (1990-2000) puis 10 événements pour la période 2000-2010 sur la station « Barrage Smir » ; et de 4 à 7 et enfin 15 événements de fortes précipitations par an pour la station « pont Torreta » aux mêmes périodes (Pateau M. 2014).

II.4.2 Température

Les températures dans la zone d'étude sont doublement influencées par : (i) l'action de la mer méditerranéenne et de l'océan atlantique et par (ii) l'altitude et les vents, notamment le Chergui d'un autre côté. En général, les températures au niveau de la zone d'étude varient en moyenne entre 5,3°C en périodes froides et 32,9°C en périodes chaudes (Pateau M., 2014). En outre, selon la Direction de la Météorologie Nationale (DMN), dans la station de Tétouan, située à

quelques kilomètres au Sud de la zone d'étude, la température annuelle moyenne a augmenté de 0.3°C entre 1971 et 2007 (36 ans) puis de nouveau , environ quatre fois plus en seulement 8 ans avec +1.6°C (de 2009-2017) (Tab.5)

Tableau 5: Précipitation moyennes annuelles par décennie (en mm) au niveau de la station météorologique de Smir et de Tétouan (Pateau M. 2014)

	Evolution des températures moyennes entre les périodes 1971-1980 et 2009-2017 au niveau de la station de Tétouan (en °C)				
	Période 1971-1980	Période 1998-2007	Variation	Période 2009-2017	Variation
Tétouan	17.5	17.8	+0.3	19.1	+1.6

II.4.3 Vent

Les vents sont assez violents dans la zone d'étude ; ils soufflent principalement du secteur Est (Chergui) de mai à octobre (Fig. 22) et du secteur Ouest (Gharbi) d'octobre à février (ABHL 2007). Un régime équilibré entre vents du secteur ENE et WSW s'installe de mars à avril (L.P.E.E., 1987 ; Moutchou ; 1995 ; Nicholls et al., 2008).

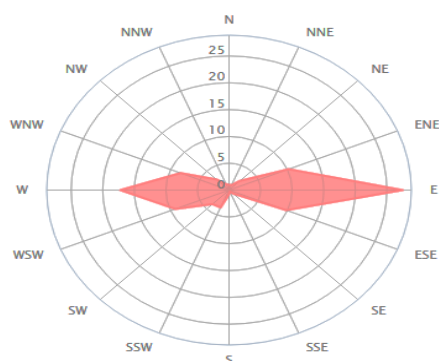


Figure 22: Rose annuelle des directions des vents dominants à M'diq entre 2002 et 2018

(www.windfinder.com)

II.4.4 Climat maritime

Le climat maritime de la région est marqué par une marée semi diurne ; l'onde de marée, en provenance de l'Atlantique, pénètre la Méditerranée et se propage progressivement vers l'Est. Le coefficient de marée varie de quelques centimètres en mortes eaux et atteint 0.8 voire 1.0 m pendant les vives-eaux (Jaaidi et al, 1992). Quant à la houle, elle possède une composante Est en raison de l'orientation de la côte et les vagues associées aux tempêtes en provenance de l'E et ENE, elles présentent une hauteur de 5.5m avec une période de 5 s à M'diq et 9.5s à Smir (L.P.E.E., 1987). Les courants principaux se dirigent du sud vers le nord et, pendant la saison

estivale, on peut observer une direction prédominante vers le SSE, avec une intensité pouvant atteindre 0.68 m/s (Orbi et al., 1997 ; Lakhdar, et al. 2001)

II.5 Contexte hydrologique

II.5.1 Bassins hydrologiques et les eaux de surface

Le réseau hydrographique du Rif interne est constitué de cours d'eau permanents ou temporaires à régime irréguliers. Ils sont larges peu encaissés et à grands méandres dans la partie septentrionale, étroits encaissés et perpendiculaires à la cote dans la partie méridionale.

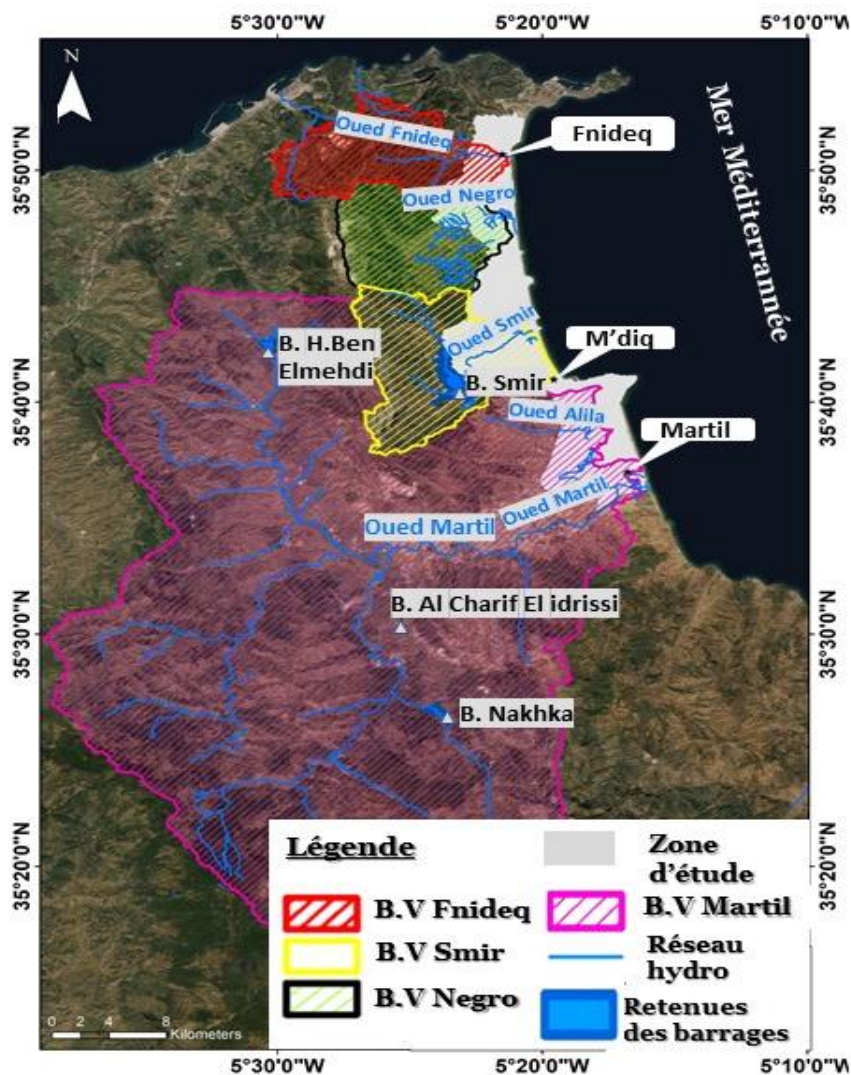


Figure 23: Situation des bassins versants (B.V) de Fnideq, de Smir et de Martil –Préfecture de M'diq-Fnideq.

Les principaux cours d'eau ont un régime torrentiel et entretiennent alors une vive érosion dans le domaine interne du Rif aux forts reliefs. En montagne, ces oueds ont un régime pluvial se

traduisant par un écoulement de la majeure partie des eaux à la fin de l'automne (fin novembre) et début de l'hiver (début janvier), avec des crues passagères et brutales qui peuvent se produire également au printemps (mars-avril) au moment de la fonte des neiges.

Souvent violentes, les crues hivernales ne durent que quelques heures ou quelques jours du fait de la montée rapide des eaux provoquée par les précipitations abondantes, du ruissellement accéléré sur des terrains imperméables à fortes pentes, et de la faible évaporation saisonnière (Thauvin, 1971).

Dans la zone d'étude, de part et d'autre du Cap, les eaux superficielles constituent l'essentiel du potentiel des ressources en eau de la préfecture. Ainsi, les bassins de la préfecture de M'diq-Fnideq sont drainés du Nord vers le Sud, par les oueds : Fnideq, Negro, Smir, Alila et Martil (Fig.23).

-Le bassin versant de l'oued Fnideq, situé dans l'extrême nord de la zone d'étude, couvre une superficie de 35 Km² (Fig.24). Le cours d'eau Fnideq appelé aussi Condessa, prend sa source dans le massif En-Nchim et le jbel Tarzif (Boughaba, A., 1992) et traverse le périmètre urbain sud de la commune Fnideq. La zone nord du bassin est alimentée par de nombreux affluents : Condessa (Kendissa), Aghattas, Sidi Boughaba, Ravins Chbar et Merja, l'Oued Bayssa qui collecte les eaux de quatre principaux affluents : Oued Laimouna, Oued Sfayh, Oued Khandeq et Oued Assalas, descendant de la chaîne dorsale du Haouz et se déversant en Méditerranée. L'embouchure de l'oued Fnideq appelé Oued Jdid, débouche au Nord de la digue principale du port de Fnideq.



Figure 24: Réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Fnideq

-Le bassin versant de l'oued Negron (Aswad) fait 16km² de superficie (Boughaba, 1992). L'oued principal est le Négron; il est long de 9 km et draine la plaine de Restinga-Smir, dans laquelle il présente un aspect méandrique (Fig. 25b) La topographie qui encadre la plaine de Négro est moins rigoureuse. L'ouverture artificielle et le comblement partiel ayant eu lieu à l'embouchure suit aux aménagements des complexes touristiques ont laissé un bras mort (Fig 25a).

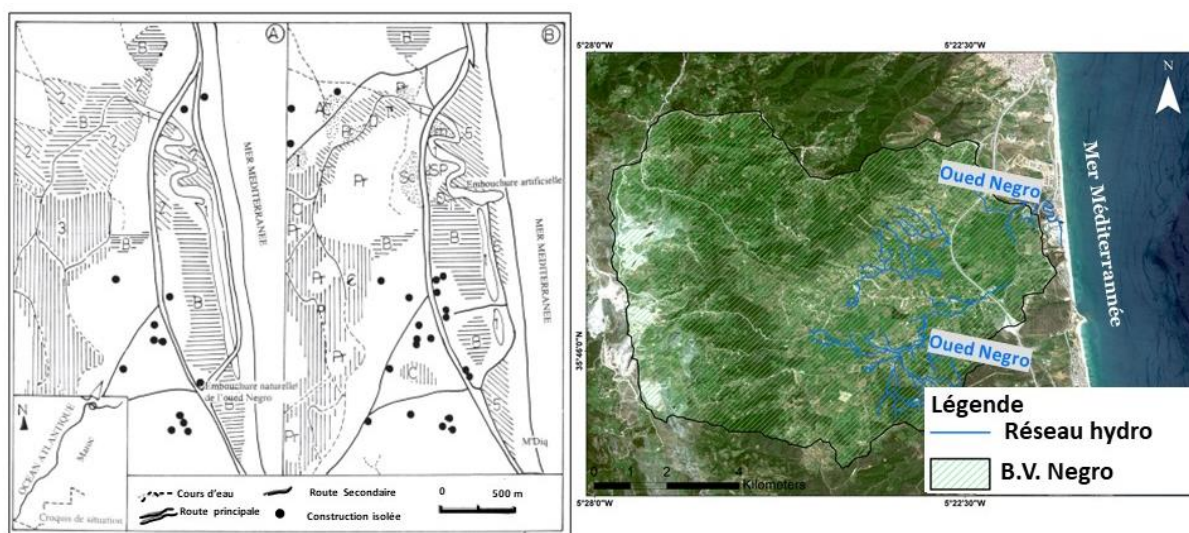


Figure 25:a-Complexe marécageux de l'oued Smir (1969 et 1994) (Ennabili ; 2003) ; b- Réseau hydrographique et zone humide au niveau du bassin versant de Smir.

L'intermittence de la submersion en amont de cet embouchure artificielle de l'oued Negro contribue au développement temporaire d'espèces émergées ou immergées au sein des roselières. Vu le faible impact dans les inondations urbaine de la région étudiée, l'oued Négro ne sera pas traité dans ce travail.

-Le Bassin versant de Smir est situé à moins de 30 km au nord de la ville de Tétouan. Il représente la façade orientale de la chaîne du Haouz, élément septentrional de la Dorsale calcaire. Il occupe le centre-est de cette chaîne en prolongeant la Dorsale Calcaire au nord de la cluse de Tétouan. Au sud et au nord il est séparé respectivement, de de la plaine de Martil par le Cap Negro et du bassin versant de l'oued Negron par Jbel Zernzem.

Le bassin versant est d'une superficie de 100km² à l'embouchure, l'Oued Smir est son principal cours d'eau qui coule entre deux systèmes collinaires : le Jbel Zemzem au nord et le massif de Rechchaka-Koudiat Taïfor au sud. Ses affluents, Oueds Lile, Belouazen et Elbayen (Fig. 26) fonctionnant pleinement pendant et après les pluies abondantes de l'hiver (El Fellah, 2005)

L'écoulement est intense dans l'ensemble du bassin versant, pendant et après les pluies abondantes de l'hiver et du printemps (El Fellah 2005).

Deux autres zones humides caractérisent ce bassin : Une lagune marécageuse côtière située sur la petite plaine côtière alluviale de l'oued Smir et un réservoir présent en amont à moins de dix kilomètres correspondant à la retenue du barrage de Smir. Toutes les deux sont reliées par le tronçon de l'oued Smir qui se faufile en méandres à l'aval du barrage (Fig.26).

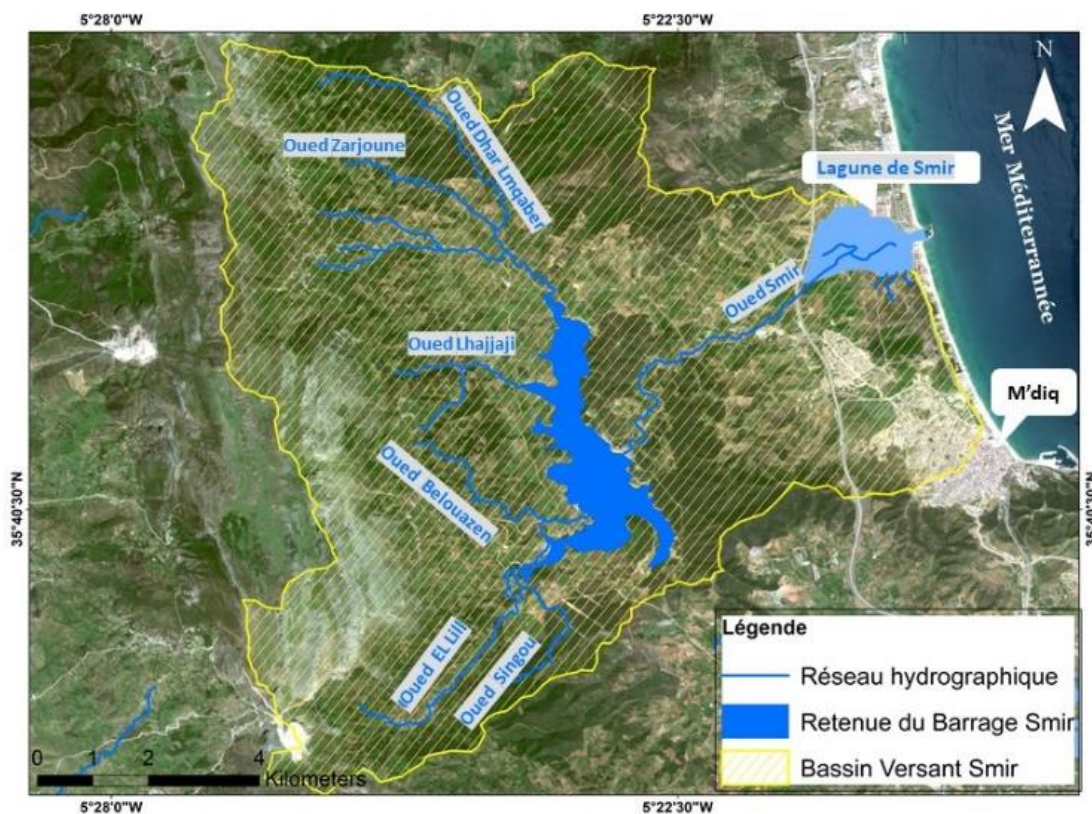


Figure 26: Représentation de la lagune, de la retenue du barrage et du réseau hydrographique de l'oued Smir

Le réseau fluvial n'y est pas assez significatif, surtout après la construction de cet ouvrage hydraulique en 1991 sur l'oued Smir (Nachite.et al. 2005), il est destiné à l'alimentation en eau potable de la ville de Tétouan et un nombre important de villages et de centres d'estivage (M'Diq, Martil, Restinga, Cabo Negro et Fnideq). Les conditions hydrologiques dans ce bassin sont modifiées aussi suite à l'installation d'autres aménagements, opérés successivement durant plusieurs décennies : port de Kabila, expansion de la ville de M'diq et des agglomérations voisines, autoroute Tétouan-Fnideq. Les ressources en eau y sont enrichies aussi par les eaux de résurgence des sources qui jaillissent du piémont calcaire et au contact des roches imperméables sous-jacentes. En outre, la nappe côtière, alimentée par les eaux de ruissellement

et pluviales, contribue (après son gonflement) à maintenir le niveau d'eau de la zone lagunaire pendant la saison printanière, voire estivale. Quant à l'hydrologie des marais de Smir, elle résulte de plusieurs apports : continentaux, souterrains, marins, eaux usées, pluviaux et de ruissellement. Les eaux du bassin versant d'Oued Smir sont en général de bonne qualité ; celle-ci recule toutefois par endroits sous l'effet de certains impacts anthropogéniques (pollution due aux déchets domestiques, pâturage et le lessivage) (Herchi et al ; 2017)

L'originalité du bassin de Smir est la présence d'un ensemble des trois unités hydrologiques qui abritent une vie animale et végétale diverses : la lagune de type écosystème estuarien méditerranéen, le marais de Smir et la retenue du barrage. Ce complexe de zones humides a été intégré à la liste des zones humides d'importance internationale de la convention Ramsar (Site Ramsar no 2380, *Critère 1*) et comme Réserve de biosphère de l'UNESCO. Il joue un rôle écologique primordial dans le contexte méditerranéen.

-Le bassin versant de Martil-Alila fait partie des bassins méditerranéens constituant la zone axiale de la chaîne du Rif ; il couvre une superficie de 1200 km² (ABHL. 2016) avec un réseau hydrographique assez dense. L'oued Martil, principal chenal, prend sa source dans les monts Beni Lait ; ses affluents supérieurs se développent dans les massifs de la Dorsale Calcaire d'où un régime torrentiel très prononcé de l'oued Martil. La plupart d'entre eux passent par la cluse de Tétouan (Fig. 27) : l'oued Khémiss s'écoule vers le sud jusqu'à rejoindre l'oued Chekkour qui, après confluence avec l'oued M'hajerate devient l'oued Martil (Morarech, 2002). Ce dernier se subdivise en un tronçon supérieur marqué par une pente raide qui traverse la dorsale calcaire et, un autre, à partir de Benkarich, avec une pente plus faible qui traverse la ville de Tétouan avant d'arriver à l'embouchure et se déverser dans la Méditerranée, au Sud de la ville de Martil. L'altitude du bassin versant de Martil varie entre 0 et 1500m, dont 60% de sa superficie totale possède une altitude comprise entre 0 et 400 m, alors que l'altitude moyenne est de l'ordre de 350m. Sa plaine alluviale, quant à elle, présente parfois une altitude inférieure à celle de l'Oued.

Le régime hydrologique des oueds de ce bassin est caractérisé par une forte variabilité des précipitations. Le débit annuel moyen de l'oued Martil est de 19,2 m³/s (Karrouchi et al , 2016). Entre octobre et avril, le débit maximal peut généralement atteindre 2900m³/s et ses crues sont parfois soudaines et de courte durée (Satta et al., 2016).

Les débits d'étiages de l'oued Martil sont soutenus par les sources de la Dorsale Calcaire, particulièrement les massifs calcaires blancs présents à des altitudes de 140 à 1090m (Stitou el Messari, 2002 ; Karrouchi.M et al.2016).

Les affluents pérennes sont tous alimentés par les précipitations et les sources de Torreta et Samsa qui émergent des formations carbonatées. La zone englobe également l’oued el Maleh (ou Alila) dont le talweg est de moyenne importance ; il draine un bassin versant d’environ 280 ha (ASTM-TMSA, 2010).

L’aménagement du bassin versant de l’oued Martil a été entrepris depuis longtemps par la construction des deux barrages, Nakhla et Raouz, mis en service respectivement en 1961 et 2005, dont le but d’approvisionner en eau potable la ville de Tétouan et améliorer la production d’énergie électrique. Un autre barrage d’oued Martil, appelé Charif El Idrissi, a été mis en eau le 26 octobre 2018 ; il est situé sur l’Oued Mhajrat, à 15 kilomètres au sud-ouest de Tétouan. Il a été érigé pour sécuriser les besoins en eau potable de la ville de Tétouan et de sa région côtière au-delà de l’horizon 2030, et d’assurer la disponibilité de l’eau pour l’irrigation des périmètres agricoles d’une superficie d’environ 1.000 hectares, tout en protégeant la ville de Tétouan et la vallée de Martil des inondations, provoquées par les violentes crues d’Oued Martil.

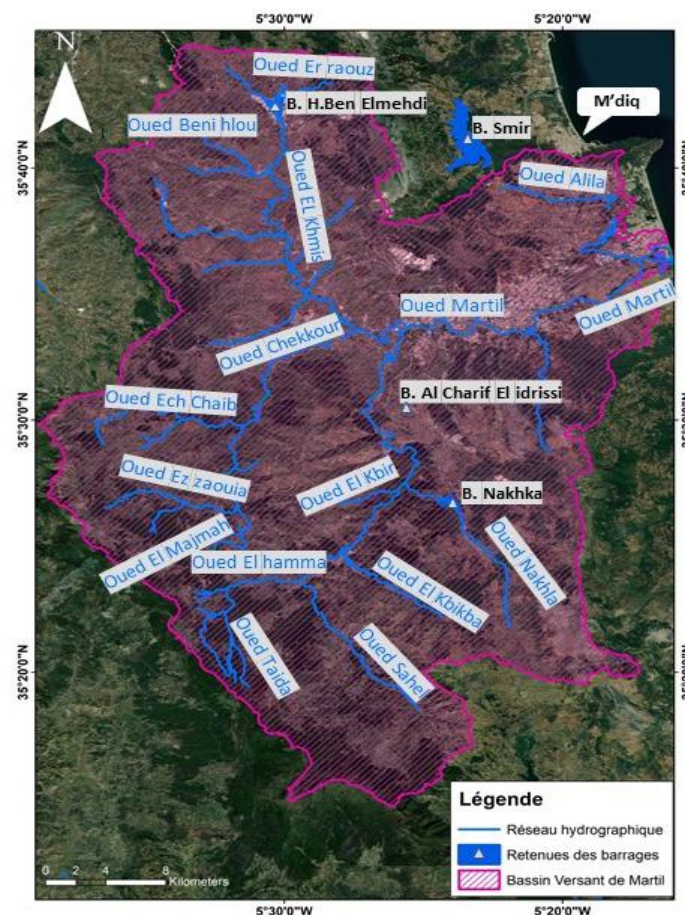


Figure 27: Réseau hydrographique du bassin versant Martil-Alila

II.5.2 Eaux souterraines

Les formations géologiques de la préfecture Fnideq-Mdiq sont essentiellement constituées par des faciès imperméables ou peu perméables qui ne permettent pas la constitution d'importants réservoirs souterrains et les reliefs sont à prédominance montagneux avec de fortes pentes ; les potentialités des ressources en eau souterraines sont limitées à quelques unités hydrogéologiques dont les nappes de Fnidek, Negro, Smir et la plus importante reste celle de Martil-Alila (Fig. 28). Les ressources en eaux de la zone sont enrichies par celles de grandes unités hydrologiques homogènes, notamment, la chaîne calcaire, constituée par le Haouz de Tétouan et la Dorsale Calcaire. Et le bilan hydraulique des nappes aquifères y fortement lié aux précipitations, à l'écoulement superficiel du réseau hydrographique, aux eaux d'irrigation et aux apports latéraux souterrains.

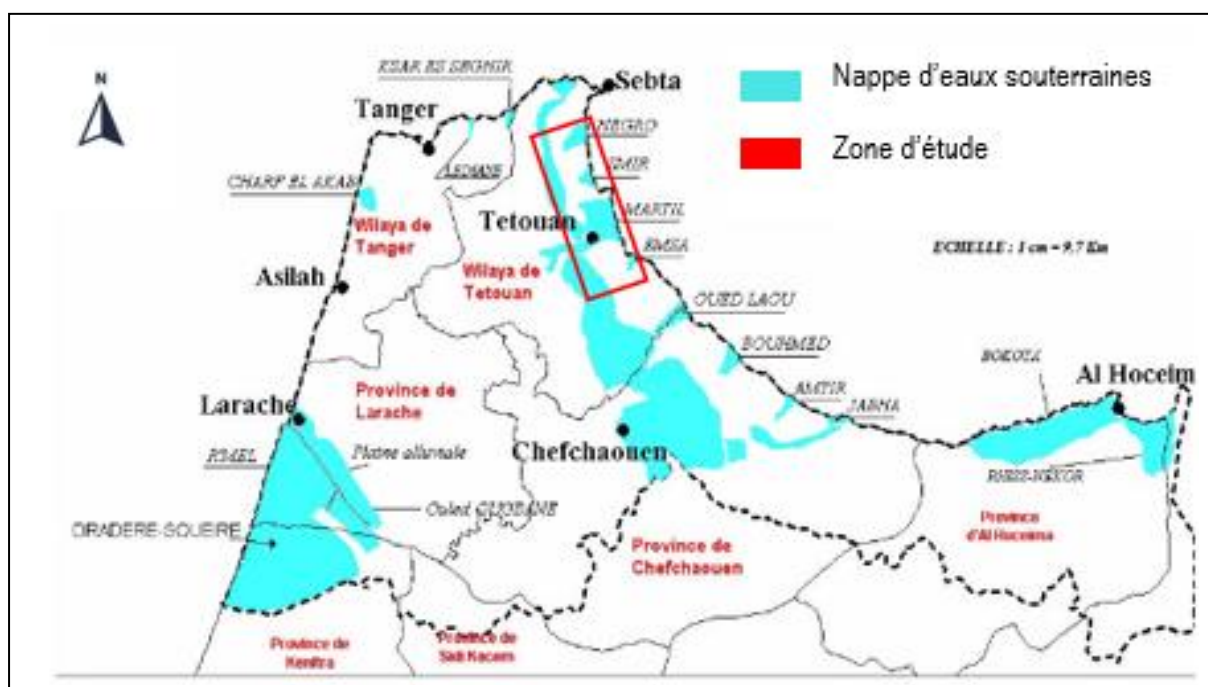


Figure 28: Localisations des nappes aquifères la région du Nord (zone d'étude – carré rouge) (PDAIRE 2012).

II.5.3 Frange littorale

La frange littorale de Tétouan correspond à des plaines littorales de faible altitude, marquées par le promontoire rocheux Koudiat Taifor ou de Cabo Negro qui interrompt la linéarité des plages orientées (El Mrini , 2011). Le plateau continental est étroit avec une largeur qui ne dépasse pas 4 km et 7, 5 km pour les côtes au nord et sud du cap rocheux (L.P.E.E., 1997). Le littoral de la préfecture M'diq-Fnideq se présente sous forme d'un couloir direction N-S, ouvert

vers l'est sur la Méditerranée, et limité à l'ouest par les contreforts les plus septentrionaux de la chaîne du Rif (massif du Haouz). Il s'étend sur une quarantaine de kilomètres environ et présente deux secteurs côtiers sableux séparés par le promontoire rocheux Koudiat Taifor (Fig 29). Le secteur Nord, de Fnideq à M'diq, est très exposé aux houles E et E-NE, il présente des plages type réfléchive à pente importante et sable grossiers à très grossiers, parfois riches en débris coquilliers (Anfuso et al 2007; Niazi, 2007), le second situé au sud du cap rocheux Taifor, il comprend les plages de capo Negro, Martil et Sidi Abdessalam, qui sont de type intermédiaire à dissipative. La pente est moins prononcée et le sable y est moyen à fin (Niazi ; 2007), un constat d'une évolution régressive continue de ces plages a été notée par de nombreuses études (El Moutchou, 1995, Anfuso et al 2007; Niazi ; 2007, El Mrini; 2011; Flayou et al. 2015).

Le littoral de la préfecture de Mdiq et Fnideq a été soumis à des pressions croissantes depuis les années 60. Une linéarité de l'espace touristique apparaît le long des côtes où l'activité des plages s'étire sur un long liseré côtier qui est structuré par des stations balnéaires et la formation d'un couloir urbanisé le long du littoral tétouanais (Fig 29).

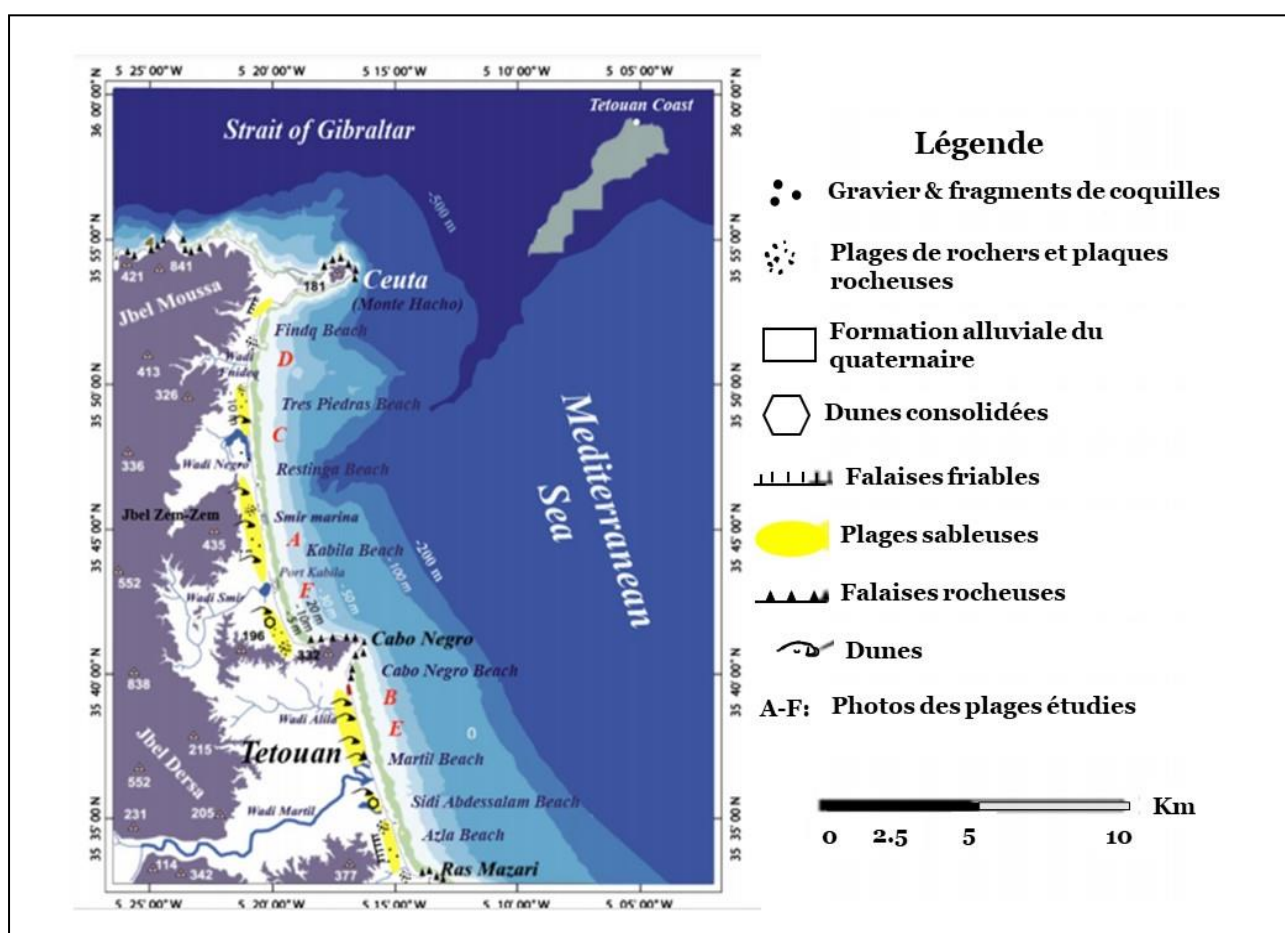


Figure 29:Frange littorale de la préfecture de Mdiq et Fnideq (Benkhatab et al.,2020)

II.6 Biodiversité

Les conditions climatiques, le relief hétérogène, et la présence des zones humides représentent les principaux déterminants d'une diversité d'habitats et de la faune et de la flore dans la préfecture M'diq-Fnideq. Le couvert végétal y est assez varié, à l'image de la diversité des habitats : On note la présence de nombreux massifs forestiers résiduels sur les sommets d'El Haouz et de Koudiat Taifor, le matorral à végétation arbustive sur les sommets et versants des collines et une végétation herbacée répandue dans les plaines inondables, dayas et merjas. La faune est aussi riche que la flore, elle est marquée par les invertébrés marins, une faune piscicole, variée et abondante, surtout que la zone est située sur le chemin de la migration des thonidés. Divers cétacés et pinnipèdes traversent également le détroit de Gibraltar. De même, les biotopes de la zone d'étude servent aussi de refuge et de lieu de nidification à de nombreux oiseaux aquatiques et de repos aux espèces migratrices, dont certaines sont rares et menacées. Le Plan Directeur des Aires Protégées du Maroc de 1996 a identifié deux SIBEs dans la préfecture M'diq-Fnideq :

- ❖ **Le SIBE de la lagune de de Smir** : une extension faible de 200 ha, dont 20 ha sont occupés par la lagune et le reste par des marécages. Elle se trouve immédiatement au Nord de la ville de M'diq, longeant la route principale 13, reliant Tétouan à Sebta. Il s'agit de la seule zone humide de la façade méditerranéenne du Rif occidental et les derniers vestiges des marais du nord-ouest marocain. C'est une zone d'habitats diversifiés: lagune, marais d'eaux douces et saumâtres et des cours d'eaux. C'est une aire d'hivernage et de reproduction de plusieurs espèces d'oiseaux, dont certaines sont rares ou menacées. Néanmoins les aménagements ont été sans doute le départ d'une série de conséquences qui ont progressivement changé et impacter la typologie du complexe écologique des marais et de la lagune de Smir (BAYED et CHAOUTI. 2005). Pour d'autres travaux (KHATTABI et SEFRITI. 2005) le changement est non seulement dû à l'installation du barrage mais aussi d'un manque d'information en matière de techniques et de conduites agricoles entraînant ainsi une sous-exploitation de l'espace et une utilisation non optimale des intrants agricoles.
- ❖ **Le SIBE de Koudiet Taifour**, directement situé sur le Cap Negro à la limite sud de M'diq, ce SIBE correspond à un massif d'une surface de 500 ha et qui culmine à 300 m. La végétation y est de type matorral à cistes et bruyères, avec des essences ligneuses typiques de la région tels que les lentisques et des plantations artificielles (pins). C'est le principal refuge de la faune locale et surtout des oiseaux nicheurs (GIZC plan local, 2009).

II.7 Démographie et activités socioéconomiques

II.7.1 Population

La préfecture de M'diq-Fnideq occupe la première place à l'échelle régionale et la quatrième position au niveau national en termes de croissance démographique. Selon le recensement général de la population et de l'habitat de 2014, la population y s'élève à 209 897 habitants, dont 209 318 marocains et 579 étrangers. Elle représente de ce fait 5,9% de la population de la Région Tanger-Tétouan-Al Hoceima et 0,6% de la population nationale. Comparé à 2004, le nombre d'habitants a augmenté de 69 121 habitants, soit un accroissement annuel de 4,08% pour toute la zone d'étude (Tab.6), et de + 5.17%, +4,34% , +3,76% et +0.72% par an, respectivement dans les communes de Martil, M'diq, Fnideq et Allyène alors qu'il a diminué de -0.32 % dans la commune de Belyounech (RGPH, 2014)

Tableau 6: Nombre d'habitants et taux d'accroissement annuel moyen par communes en 2004 et 2014, de la Préfecture de M'diq-Fnideq (Source : RGPH, 2014)

Communes	2004	2014	TAAM (%)
Fnideq	53527	77436	3,76
Martil	38883	64355	5,17
M'diq	36756	56227	4,34
Allyene	6126	6583	0,72
Belyounech	5484	5296	0,35
Peréfecture de M'diq-Fnideq	140776	209897	4,08
Source : Recensement General de la population et de l'habitat 2004 et 2014 TAAM : Taux d'accroissement annuel moyen			

D'après les projections du HCP en 2018, la population de la préfecture de M'diq-Fnideq s'accroîtrait, entre 2004 et 2030, à un taux annuel de 3,1% par an, dépassant largement celui de la région (1,1% par an), constat dû au taux d'urbanisation élevé de la préfecture, particulièrement en zone littorale. En effet, c'est le Plan Triennal 1965-1967 qui a marqué la destinée de ce littoral, avec l'implantation des 2 unités d'aménagement touristiques (Smir, M'diq) qui ont façonné l'organisation de la bande côtière, de même, durant les 20 dernières années, le littoral M'diq-Fnideq a connu une impressionnante évolution urbanistique.

II.7.2 Activités socio-économiques

En matière des potentialités économiques, cet espace dispose d'une importante infrastructure de base et d'équipement favorisant une dynamique économique régionale importante : densification du réseau routier dont la rocade méditerranéenne, l'autoroute et le réseau ferré (TGV) reliant Tétouan -Martil à Rabat (la capitale administrative), Casablanca (la capitale économique), le complexe portuaire Tanger Med, les ports de plaisance et à vocation touristique (Marina Smir au Nord de Mdiq et Kabila) et celui à vocation de pêche (port de Mdiq). Il y a aussi Trois points de débarquement aménagés à Fnideq, Martil et Belyounech assurant une activité de pêche à la population riveraine de la région.

L'économie repose aussi sur les activités informelles en tant que villes frontalières, et sur le tourisme balnéaire, vu la diversité de ses paysages unissant plages, montagnes, forêts zones humides et mer. Selon les statistiques de l'HCP de 2016, la préfecture de M'diq-Fnideq est dotée d'une capacité litère globale qui s'élève à 3 748 lits, dont 93% dans les hôtels classés avec 3 486 lits ; le taux d'occupation de ces hôtels affiche, selon la même source, seulement 16, 5%, un taux justifié par le caractère saisonnier du tourisme dans la préfecture. Néanmoins, le tourisme plutôt traditionnel familial est plus marqué, optant pour une location de locaux privés équipés, plutôt qu'à l'hébergement dans les hôtels. Tel est l'état réel du tourisme dans la préfecture dont l'estimation échappe aux statistiques officielles.

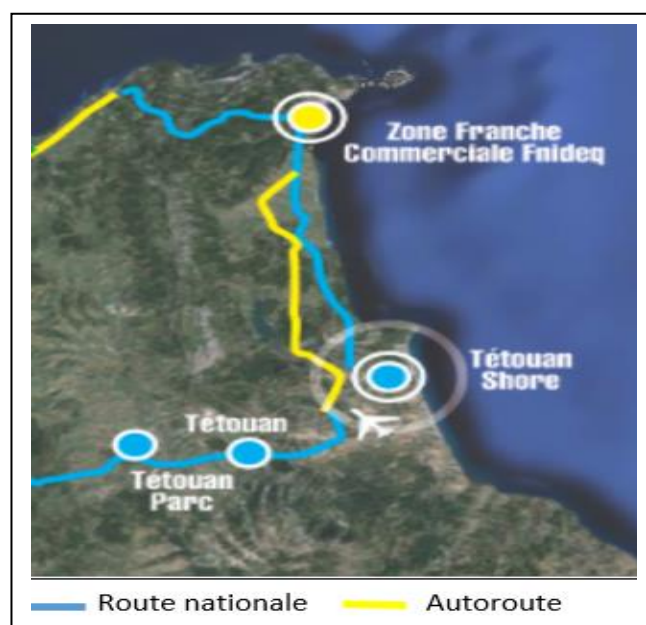


Figure 30: Situation des zones commerciale de Fnideq et industrielles de Tétouan

[Source : economie-entreprise.com]

Le développement de l'agriculture à l'échelle de la préfecture de M'diq-Fnideq est largement conditionnée par l'aspect naturel montagneux, topographique, et les aléas climatiques. Néanmoins, un effort est consenti par la région et une élévation à 5 450 ha de la superficie agricole utile (SAU) est enregistrée en 2016 mais un taux d'irrigation reste toujours faible (18,4%) selon l'HCP (HCP, 2018).

En 2012, la région a été dotée d'un parc industrielle et logistique sur 150 ha (Fig 30) ; il est nommé *Tétouan Parc* (150 ha), et il est dédié essentiellement aux industries légères et manufacturières, au commerce et à la logistique . La commune de Martil a vu l'installation d'une zone dédiée aux métiers de de l'offshoring, c'est le *Tétouan Shore* qui est érigé sur 20 ha et qui depuis 2013 offre des espaces bureaux pour des métiers comme l'ITO (Information Technology Outsourcing), le BPO (Business Processing Outsourcing) et le KPO (Knowledge Process Outsourcing). En outre, un projet de la zone économique de Fnideq (*Zone franche commerciale de Fnideq*) a été lancé sur 100ha (Fig.30), dans le cadre de la mise en place des stratégies alternatives au phénomène de la contrebande ou du blanchiment d'argent, afin créer de l'emploi, promouvoir le commerce et combattre l'informel. La réhabilitation de la zone industrielle de Tétouan est programmée aussi afin d'inciter les industriels à se fédérer en associations en vue d'assurer les missions de marketing, d'animation et de gestion de ces zones industrielles.

III. Conclusion

Cette synthèse sur les caractéristiques de la préfecture de Mdiq-Fnideq révèle la diversité géomorphologique, la variabilité climatique et l'évolution socioéconomique croissante qui font de cette région, une zone de plus en plus ciblée pour une urbanisation accrue, une destination touristique privilégiée et surtout pour l'installation d'importants pôles industriels. Néanmoins, le contexte climatique en évolution et le positionnement géographique favorisent de plus en plus l'inondation qui constitue aujourd'hui un risque majeur pour les communes urbaines de cette préfecture. Face aux inondations qui se succèdent ces dernières années, une évaluation du degré de résilience et la mise en œuvre de démarches de résilience territoriale s'impose comme une nécessité dans la région.

CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE

I. Introduction

Ce chapitre explique les approches méthodologiques adoptées pour une évaluation du degré de résilience aux inondations urbaines dans les communes de Fnideq, Mdiq et Martil. De nombreuses zones de ce territoire connaissent des submersions récurrentes lors des événements météorologiques extrêmes. Par ailleurs, le changement climatique et l'urbanisation croissante semblent favoriser des inondations de plus en plus fréquentes et intenses, particulièrement l'inondation éclair qui reste imprévisible et envahit une ville en quelques heures, entraînant alors des dégâts dramatiques. Cela oblige à redéfinir les moyens pour atténuer les conséquences de ces événements tout en impliquant les citoyens dans une nouvelle stratégie de résilience.

Ce travail s'est déroulé en trois étapes (i) la première a intéressé la collecte des données et les campagnes de terrain, (ii) la seconde, un diagnostic relatif aux inondations ayant touché ce territoire est réalisé afin de dégager les « hotspots » d'inondation urbaine, et enfin (iii) le degré de résilience des trois villes (Fnideq, M'diq et Martil) face aux inondations est évalué selon trois approches.

II. Analyse Préliminaire des inondations historiques

II.1 Missions de terrain et recueil des données

Cette étape était une des impératives de cette étude ; la visite des trois communes urbaines de la préfecture M'diq-Fnideq nous a permis de rentrer en contact avec les acteurs locaux et mener des entretiens individuels avec les responsables des communes, de la Wilaya de Tétouan, ceux des Agences urbaine de Tétouan et du Bassin Hydraulique de Loukkos et au Haut-Commissariat au Plan (HCP). De même, des discussions avec la population nous a facilité la compréhension de plusieurs situations notées lors des événements d'inondations vécus sur certaines zones de ce territoire. Lors de ces campagnes de terrain, nous avons pu collecter des données nécessaires pour notre étude. En effet, une phase primordiale, pour la compréhension et le diagnostic, a été nécessaire en utilisant des données scindées en 3 groupes sur la base des informations suivantes: (i) les caractéristiques biophysiques et socioéconomiques des communes et les actions menées dans le sens de la protection contre les inondations ; (ii) l'historique des inondations subit par ce territoire en localisant les *hotspots* des inondations récurrentes; et (iii) le recensement national de la population et de l'habitat avec toutes les composantes (RGPH, 2014).

Les informations ont été collectées suivant une échelle géographique répartie sur 126 secteurs de contrôle par des directions correspondantes (Fig.31). Chaque secteur porte un code national « CNSC » et tout secteur de contrôle englobe trois districts.



Figure 31: Distribution spatiale des unités géographiques retenues pour le recensement de l'HCP (RGHP ; 2014)

II.2 Etude de l'ampleur des impacts des inondations urbaines

Dans un premier temps, cette étude a consisté à comprendre le processus générateur des crues et inondations dans chacune des communes ciblées, puis dans une seconde étape, à faire une corrélation avec l'expansion urbaine. Celle-ci fût extraite suite à une analyse diachronique des images satellites (Google earth) par des communes de Fnideq, M'diq et Martil. Pour chacune des villes concernées, il a été nécessaire de déterminer l'importance de l'effet des inondations sur l'infrastructure, sur le branchement en eau potable et électricité, ainsi que sur le réseau routier. Ceci est nécessaire pour pouvoir renforcer l'importance de toute approche d'évaluation multidimensionnelle de la résilience du territoire aux inondations.

II.3 Emergence du programme pour la Résilience territoriale au Maroc

Prenant en compte les spécificités climatiques, géomorphologiques et géographiques, le Maroc n'est pas épargné par les catastrophes naturelles dont les inondations. Sur 60 ans, le Royaume a connu environ 35 inondations exceptionnelles, selon une étude de l'OCDE (2016), et la récurrence des aléas affecte notablement la capacité des zones touchées à se développer en suite. Après la politique de la prévention des risques, l'état a lancé en 2017 un plan d'action national (2020-2030) sur la résilience territoriale face à différentes catastrophes naturelles dont les inondations. La volonté de ce plan dont le programme préliminaire est en cours (2020-2022) est de mener une politique ambitieuse de la gestion des inondations – entre autres- et de renforcer la résilience du territoire national face aux aléas naturels.

Par ailleurs, la mise en perspective du renforcement de la résilience face aux inondations nécessite l'étude des moyens d'évaluation, d'analyse et de prévention de ce risque avant même que la catastrophe ne se produise. Et comme chaque territoire est un système complexe caractérisé par une interconnexion de différentes dimensions, l'opérationnalisation d'une stratégie de résilience reste compliquée. Toutefois, l'aspect multidimensionnel de la résilience fait ressortir deux catégories d'approches d'analyse de la résilience aux inondations : Les qualitatives (ascendantes et descendantes) (Norris et al. 2008 ; Cutter et al. 2008) ; (PNUD 2014), et les quantitatives (ascendantes et descendantes) (Cutter et al., 2008 ; Asadzadeh et al., 2017). Dans la présente étude, l'approche quantitative descendante (*top-Down*) a été utilisée dans les trois évaluations du degré de résilience face aux inondations dans les communes urbaines Mdiq, Fnideq et Martil. Il est à noter qu'au Maroc, et à ce jour, aucune initiative d'évaluation de la résilience aux inondations n'a été réalisée sur une zone urbaine. La présente étude est novatrice dans la mesure où elle aborde l'analyse à travers trois approches (*détaillées plus loin*), dans des territoires urbains en cours de mutations et connus pour des inondations de plus en plus récurrentes.

III. Approches quantitatives par l'indice composite

Les approches quantitatives peuvent être divisées en deux groupes : le premier examine la résilience à travers le prisme des pertes passées et potentielles, en reflétant les impacts des catastrophes, et le second interprète la résilience comme une qualité des personnes et des lieux (Yu et al. 2015). Notre étude a adopté ce deuxième principe. L'approche prend généralement la forme d'indices, de classements ou de scores. Ces indices composites comportent souvent des données, des méthodes d'exploitation et des statistiques. Selon l'objectifs escomptés, de

nombreuses études ont focalisées sur la résilience lors de cette dernière décennie en élaborant différents indices composites [Carpenter et al., 2001 ; Folke et al., 2002 ; Norris et al., 2008; Cutter et al., 2008 ; Kuhlicke et al., 2016 ; Hung et al., 2016 ; Kotzee et Reyers, 2016 ; Asadzadeh et al., 2017 ; Hazbavi et al., 2018; De Lara, 2018 ; Satour et al., 2021 ; Cutter et al., 2014, Cutter, 2016 ; Cai et al., 2018, Rufat ; 2018]. Cette diversité d'indices de résilience démontre la difficulté sur le plan pratique à identifier un indice qui ferait consensus et serait universel (Angeon et al., 2015). La cause principale serait probablement la difficulté d'accès aux données (Schipper et Langston, 2015).

Par ailleurs, la résilience aux catastrophes est devenue depuis une dizaine d'année un objectif sociétal important, et l'adoption des démarches quantitatives sont courantes car elles visent des approches normalisées pour faciliter les comparaisons et la production de cartes synthétiques (Cutter, 2016). Ces approches quantitatives utilisent des indicateurs composites faciles à interpréter (Fig.32), et peuvent résumer des données complexes et multidimensionnelles dans le but de guider les politiques locales au processus de planification et de prise de décisions pour renforcer la résilience territoriale. Le détail de la procédure de mesure de la résilience par indicateur composite, établie par Asadzadeh et al., (2017) est donné en (Annexe 1).



Figure 32: Procédure globale de mesure de la résilience par indicateur composite
(Asadzadeh et al., 2017)

De ce fait, l'approche *Top-Down* à indices composites a été utilisée dans la présente recherche afin de déterminer le degré de résilience des communes urbaines de Mdiq-Fnideq à travers trois indices de résilience face aux inondations nommés : FRI (1) ; FRI (2) et FRI (3) (suivant

l'appellation anglophone que nous garderons tout le long du manuscrit *Flood Resilience Index* (FRI) dont la démarche du développement est résumée sur l'organigramme.

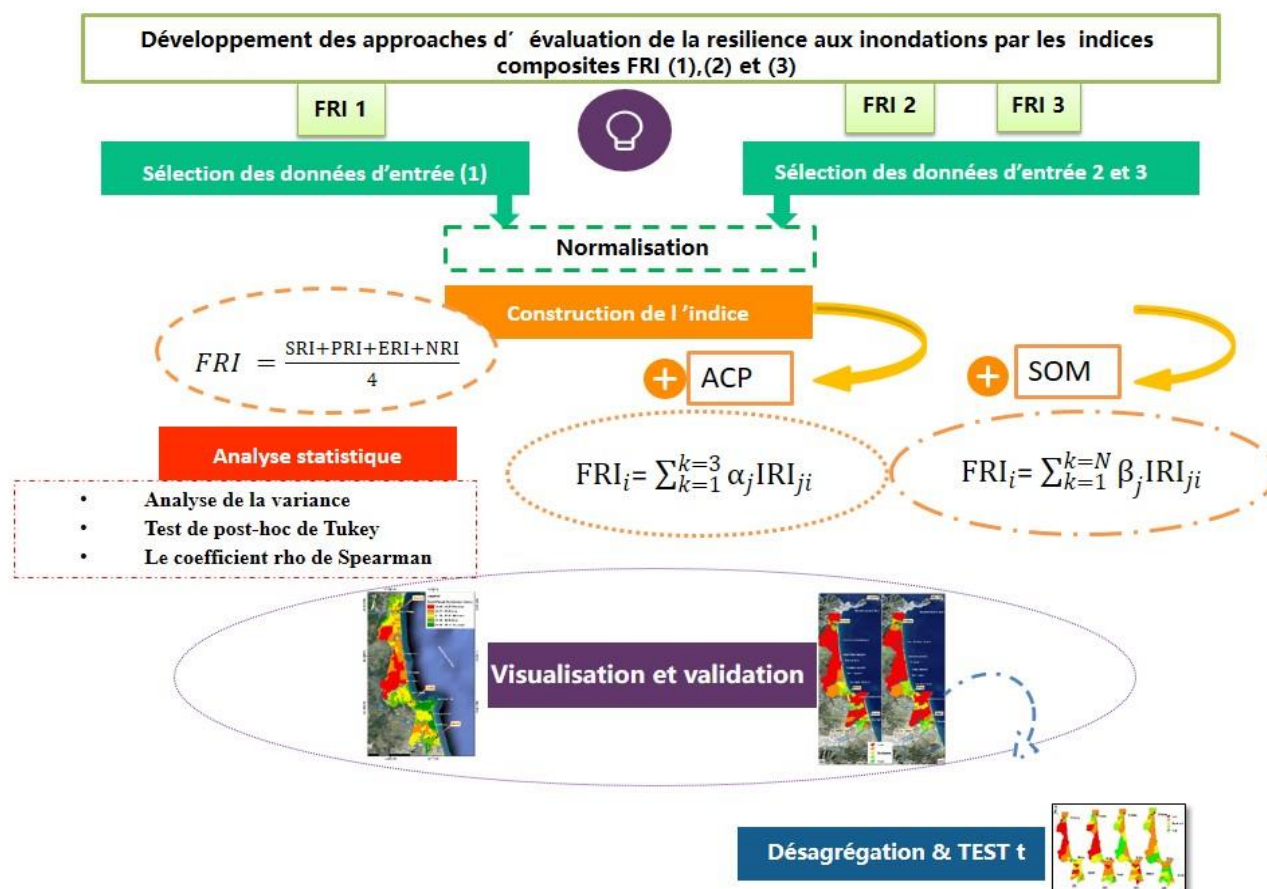


Figure 33: Procédure générale de la construction des trois indices de résilience aux inondations FRI (1), FRI (2) et FRI (3)

IV. Démarches méthodologiques pour l'évaluation des indices de résilience aux inondations dans les communes urbaines de la zone d'étude

L'évaluation de la résilience d'un système urbain aux inondations nécessite de nombreuses données qui sont parfois incertaines et hétérogènes, ou bien pas du même type (numériques, catégorielles, etc.) ni de la même nature. Elles sont dépendantes d'une part de la nature des activités socio-économiques, et d'autre part de l'état physique et naturel du territoire étudié. Dans notre étude trois types d'indices de résilience aux inondations ont été définis sur la base des données issues de différentes sources (établissements régionaux et nationaux), afin de mieux appréhender la zonation spatiale de la résilience face à l'aléa inondation récurrent sur ce

territoire du Nord du Maroc. Le calcul de tous les indices et les sous-indices de la résilience face aux inondations a été effectué à l'aide du logiciel SPSS 22.0 et la programmation python, et ensuite cartographié à l'aide du logiciel Arc Map 10.6.1.

IV.1 Indice de résilience aux inondations FRI (1)

- Etape 1: Variables de l'indice composite

Douze variables utilisées dans cette analyse sont intégrées dans quatre dimensions, notamment, naturelle, physique (infrastructure), sociale et économique. Néanmoins, l'institutionnelle n'a pas été prise en considération dans cette étude ; elle pourrait faire l'objet d'une autre analyse ultérieure.

Les variables relatives à la dimension physique concernent dans la présente recherche, l'état du bâti, le matériel de construction et le taux du raccordement aux réseaux de l'eau et d'assainissement. Quant à celles du volet social, elles focalisent sur les ménages, l'analphabétisme et sur les personnes vulnérables en cas d'inondation. Pour ce qui est de la dimension économique, elle s'intéresse aux taux de chômage, l'extension des bâtiments à vocation économique et lieux d'intérêt et enfin aux moyens de communication. Toutes les données concernant ces variables, elles ont été acquises auprès des Directions et Départements concernés.

Les variables relatives à la dimension naturelle sont extraites à l'aide du Système d'information Géographique (SIG) à partir de différentes sources résumées sur le tableau 7

Tableau 7:Données relatives à la dimension naturelle

Dimension	Donnée	Source
Naturelle	Elévation	Modèle numérique d'élévation ASTER (30 mètres de résolution spatiale)
	Densité du drainage	Réseau hydrographique (ABHL)
	Distance entre les points de dépressions	L'imagerie satellitaire de haute résolution de Google ; localisation des points à risque d'inondation (ABHL).

ABHL : Agence du Bassin Hydraulique du Loukkos

Les modules ArcHydro et Line Density d'ArcGIS© ont été utilisés pour générer une densité de réseau de flux à partir d'un modèle numérique d'élévation ASTER (30 mètres de résolution spatiale), tandis que l'imagerie satellitaire de haute résolution de Google a été utilisée pour

numériser la zone des différents bâtis. Celle-ci a d'abord été convertie en points, puis la densité de points a été calculée à l'aide du module ArcGIS© Point Density.

- Etape 2 : Normalisation

En respectant le cadre théorique et les propriétés des données, une normalisation appropriée était nécessaire. Nous avons utilisé la *Min-Max Normalisation*, celle-ci effectue une transformation linéaire sur les données d'origine. Afin d'agréger la variable sélectionnée en un sous-indice, chaque variable a été normalisée de 0 à 100 selon les équations suivantes (1) et (2) :

$$V^+ = \left(\frac{\text{valeur réelle} - \text{valeur minimale}}{\text{Valeur maximale} - \text{valeur minimale}} \right) * 100 \quad \text{Equation (1)}$$

$$V^- = \left(1 - \left(\frac{\text{valeur réelle} - \text{valeur minimale}}{\text{Valeur maximale} - \text{valeur minimale}} \right) \right) * 100 \quad \text{Equation (2)}$$

Ces équations (1) et (2) ont été appliquées pour les variables qui influencent la résilience, respectivement, de façon positive et négative.

- Etape 3 : Construction de l'indice de résilience aux inondations

Une fois que les données entrées et les valeurs de *chaque variable* définie sont mises dans une grille, une base de données géographiques est créée afin de calculer les sous-indices en utilisant le SIG. Chaque sous-indice correspond à la valeur moyenne de toutes les variables correspondantes (Fig.34). L'ensemble de sous indices est réuni sous l'appellation **Indice de résilience** correspondant à chaque dimension.

Nous rappelons que l'indice de résilience aux inondations FRI (1) est élaboré à partir de la résilience de chacune des quatre dimensions citées auparavant.

- Etape 4 : Pondération et agrégation

Une importance égale est attribuée à toutes les dimensions composant le FRI (1) et donc nous attribuons une pondération égale, plus couramment utilisées pour les indices composites à plusieurs sous-indicateurs (OECD, 2008).

En outre, le manque de justificatifs des interactions existantes entre les sous-indicateurs et l'indicateur composite au niveau local nous incite à utiliser le EW (Equal Weight) aussi pour éviter une concentration de quelques indicateurs.

La méthode d'agrégation simple est censée être transparente et facile à comprendre. Tous les indicateurs individuels ont la même unité de mesure.

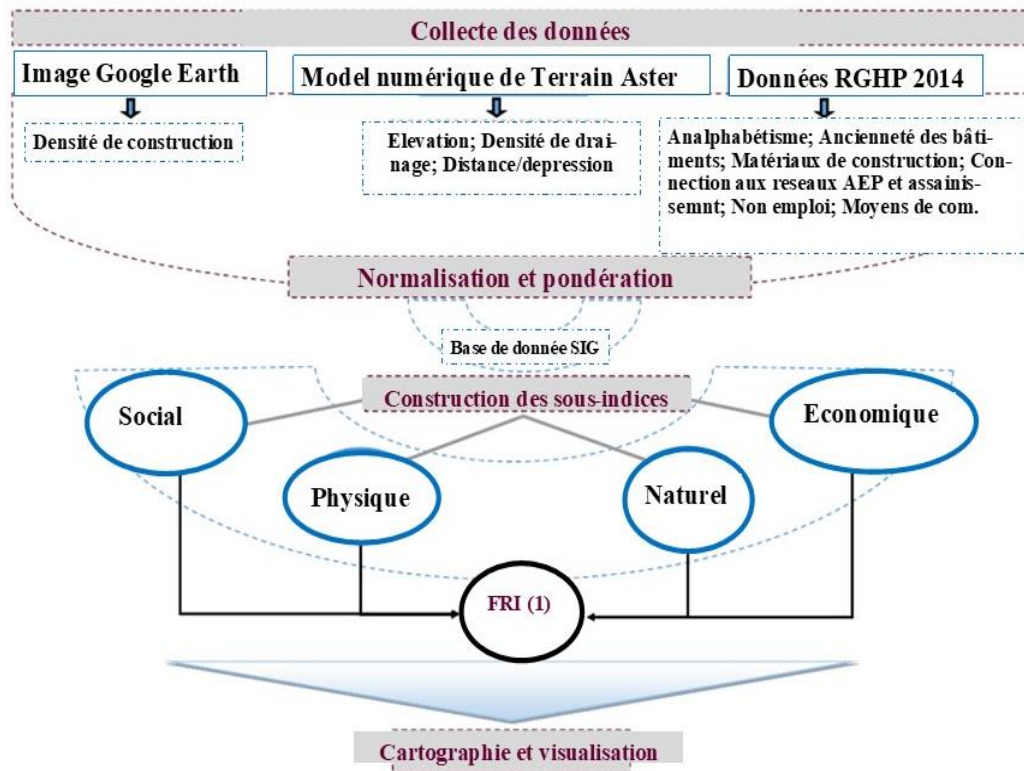


Figure 34: Procédure d’élaboration de l’indice de résilience aux inondations (FRI 1)

Par conséquent, nous utilisons une agrégation linéaire du FRI plutôt que géométrique suivant l’équation (3) :

$$FRI = \frac{IRN+IRP+IRS+IRE}{4} \quad \text{Equation (3)}$$

Avec (IRN) Indice de résilience naturelle ; (IRP) Indice de résilience physique ; (IRE) Indice de résilience économique et (IRS) l’Indice de résilience sociale ;

Le Zéro est considéré comme un faible niveau de résilience, 50 un niveau moyen et 100 un niveau de résilience élevé.

Etape 5 : Visualisation et validation

Tous les sous indices et indice (FRI 1) ont été cartographiés à l’aide du SIG. Ensuite la validation croisée a été adoptée en raison de sa faisabilité dans notre cas, car elle se base sur d’autres résultats réels et des travaux antérieurs. Le test de fiabilité est fait par comparaison entre les résultats de l’indice FRI (1) et ceux d’un autre modèle utilisé pour l’analyse des risques des dangers hydro-climatiques dans la zone locale de Satta et al. (2016). Le principe est d’explorer la corrélation inverse entre le risque et la résilience (Cutter et al., 2014 ; Sherrieb et al., 2010).

Etape 6 : Analyse statistique de la variance

-*Test de post-hoc de Tukey* : La Méthode de Tukey, ou méthode de Tukey-Kramer ou test DSH (différence significative honnête) de Tukey, nommé d'après John Tukey, est un test statistique permettant d'effectuer une comparaison multiple en une seule étape. Nous l'utilisons ici dans le cadre d'une ANOVA pour évaluer si les moyennes de FRI (1) sont significativement différentes l'une de l'autre. Ces différences ont été notées par le test post-hoc de Tukey avec une différence significative (HSD) à $p < 0,05$.

-*Coefficient rho de Spearman* : Appelé aussi ρ ou $r(s)$, le coefficient évalue l'association entre les variables mesurées dans une échelle ordinale. Pour déterminer si la corrélation entre les variables est significative, la valeur de p est comparée à notre seuil de signification (noté α ou α). Un α de 0,05 donne de bons résultats et indique que le risque de conclure à l'existence d'une corrélation lorsqu'en réalité il n'y en a pas est de 5 %. La valeur de p indique si le coefficient de corrélation est significativement différent de 0 (un coefficient nul indique qu'il n'y a aucune relation linéaire.) Seuls les coefficients de corrélation qui étaient significatifs à un niveau de 0,05 sont considérés.

IV.2 Indices de résilience aux inondations FRI (2) et FRI (3)

Deux techniques de pondération différentes ACP (*Analyse et Composantes Principales*) et SOM (*Self Organizing map*) ou *cartes auto-organisatrices* ont été adoptées pour une seconde et troisième évaluation de l'indice de résilience face aux inondations du territoire étudié, nommés FRI (2) et FRI (3). La démarche suivie est présentée sur la figure 35.



Figure 35 : Démarche d'élaboration des deux indices FRI(2) et FRI(3)

- Etape 1 : Variables des indices composites FRI (2) ET FRI (3),

Les données utilisées pour le calcul des deux indices FRI (2) et FRI (3) sont issues des rapports du dernier recensement de la population marocaine en 2014 (RGPH, 2014) et correspondent à celles des 126 Secteurs géographiques caractéristiques des trois communes Fnideq, M'diq et Martil. Les variables utilisées pour cette analyse, concernent surtout celles qui représentent la dimension physique, ainsi que celles des dimensions sociale et économique. L'élévation du terrain est ici le seul indicateur utilisé pour la dimension naturelle.

Le tableau 8 reprend toutes les données disponibles et décrit les variables utilisées dans cette étape d'analyse de FRI (2) et FRI (3).

Les variables relatives aux pourcentages, choisies sont :

- (i) Le pourcentage des enfants dont l'âge est inférieur à 14 ans, celui des personnes âgées et celles ayant des besoins spéciaux mentales et/ou physiques ainsi que celles à mobilité réduite. Cette variable est principalement dû aux contraintes de mobilité de cette catégorie de la population pendant les inondations et durant aussi le processus d'évacuation, comme cela a été soulevé par de nombreux auteurs (Qasim et al. 2016; kotzee et al., 2016; H-C. Hung et al., 2016).
- (ii) La variable « analphabétisme » peut rendre les processus de l'état d'urgence et de sensibilisation du public plus difficiles. En effet, une population analphabète serait difficilement à convaincre de la présence du risque et/ou des mesures préventives à prendre.
- (iii) de même, la variable du pourcentage de la population d'âge scolaire (7-12 ans) concerne les enfants classés aussi comme étant des individus vulnérables.

D'ailleurs, l'accès à l'éducation formelle permet de mieux comprendre les situations et les actions nécessaires pour se préparer et se protéger des inondations (M. Brilly, M. Polic 2005). De point de vue économique et social, un taux d'emploi élevé réduit la pauvreté et renforce la résilience économique (Qasim et al., 2016 ; Cutter et al., 2010). Cependant, un citoyen sans emploi est face à un handicap pour pouvoir récupérer, rebondir voire reconstruire les dommages provoqués par le désastre comme cela a été démontré par (Balica et al., 2012). La proportion de ménage quant à elle, est exprimée par rapport à la surface totale du secteur. Elle indique l'exposition de la population aux inondations et de ce fait, influence négativement la résilience (Balica et Wright, 2010). De même, d'autres détails sont inclus par rapport à l'état physique des bâtiments dans ces trois communes particulièrement pour ce qui est des trois variables, à savoir, les matériaux de revêtement des murs, des sols et des toits.

Tableau 8: Variables utilisées pour la mesure de la résilience aux inondations -Indices FRI (2) et FRI (3)

Variables (nombre)	Description
– Enfant < 14 ans (1)	Population âgée de 0 à 13 ans
– Personnes âgées >60 ans (1)	Population âgée de plus de 60 ans
– Besoins spéciaux/ mobilité réduite (1)	Taux de personnes à mobilité réduite ou besoins spéciaux
– Taux d’analphabétisme (1)	Personne qui n'a jamais apprise à lire
– Âge scolaire (1)	Population scolaire âgée de 7 à 12 ans
– Taux de Chômage (1)	Le chômeur est face à son handicap pour récupérer ou reconstruire ses dommages.
– Nombre de ménage (1)	Densité d'habitat
Matériaux de revêtement des murs (2)	A: Béton armé, briques avec mortier B : pierres agglomérées avec du mortier
Matériaux de revêtement des sols (2)	Matériau du sol Carrelage, mosaïque ou marbre Mélange de ciment et de sable ou de gravier
– Matériaux de construction des toitures (1)	Ciment
– Âge du logement (1)	Moins de 10 ans ou plus de 50 ans
– Propriété (2)	Propriété et copropriété ou locataire
– Approvisionnement en Electricité (1)	Raccordement au réseau public de distribution
– Approvisionnement en Eau potable AEP/ Réseau d’assainissement (1)	
– Télévision (1)	La disponibilité des moyens de communication
– GSM (1)	
– Internet (1)	
– Elevation (1)	Moyenne de l’Elévation au secteur d’étude

Selon certains auteurs le nombre de maisons en béton armé ou en briques avec mortier seraient plus résistantes lors des inondations que les maisons bâties en terre (Qasim et al., 2016). L’âge des bâtiments est aussi une variable importante selon (Cutter et al., 2010), surtout le pourcentage des unités de logement construites avant 50 années auparavant et ont moins de dix ans. Il s’agit d'un indice de rattachement à un lieu de logement.

De plus, la stabilité économique de la population est révélée par la variable de la situation de propriété de la maison (une maison de location/colocation ou de propriété), le pourcentage de la population connectée au réseau de distribution public d'approvisionnement en eau potable, d'assainissement et en électricité comme cela a été soulevé par (H.-C. Hung et al.2016) et (Cutter et al., 2010) qui renforce la résilience aux inondations. Un accès à l'eau et/ou à l'électricité non garanti pendant et après une situation d'urgence aggravera la crise (Pagano et al., 2017). Enfin, la disponibilité des moyens de communication, pendant, après et avant l'inondation renforce la résilience (Cutter et al., 2010). Une population communiquant rapidement l'arrivée du danger est une population sauvée avec moins de dommages renforçant ainsi sa résilience face à l'aléa.

Etape 2 : Transformation des données et Analyse multivariée

Contrairement à l'évaluation du FRI (1) dans le chapitre précédent, où nous avons fait appel à l'application d'un système de pondération (EW) pour construire l'indice composite, l'Analyse en Composante Principale (ACP) et la Carte Auto-Organisatrice Classique (SOM) sont utilisées respectivement pour évaluer les deux autres indices FRI (2) et FRI (3). Ceci a été proposé pour leur facilité dans la mise en œuvre et la compatibilité avec les données recueillies dans les enquêtes comme cela a été indiquée par Vyas et Kumaranayake, (2006).

Etape3 : Construction des indices composites FRI (2) et FRI (3)

a– Analyse Composantes Principales : FRI(2)

Soit $(X_1, X_2, \dots, X_p)$ des variables p décrivant l'économie, la société et la physique de la zone d'étude. L'objectif de la méthode est d'analyser mathématiquement les relations entre l'ensemble des variables disponibles et de trouver les meilleures combinaisons linéaires qui produisent les composantes principales $Z_1, Z_2, \dots, Z_p$ comme cela a été décrit par Nardo et al., (2005). Le groupe de variables fortement corrélées est comprimé en une seule composante. Celles obtenues sont agrégées pour calculer l'indice composite **FRI (2)**. Fondamentalement, l'ACP utilise la matrice de corrélation pour transformer séquentiellement les variables initiales en variables latentes. Les nouvelles variables sont obtenues en maximisant la variance d'une combinaison linéaire des variables initiales. Pour ce faire, un certain nombre de composantes latentes à variabilité maximale sont retenues pour représenter les données. La méthode de rotation Varimax de Kaiser pour le calcul de la décomposition en valeur propre d'une matrice de covariance de données est utilisée pour faciliter l'interprétation des composants. Alors cette variante de l'ACP est utilisée pour minimiser le nombre de variables qui ont une charge élevée sur un composant spécifique.

Pour la pondération du **FRI (2)**, une fois les composantes principales extraites, le calcul de l'indicateur intermédiaire de résilience (IRI_j) correspondant à chacune des composantes principales se fait par une agrégation pondérée d'indicateurs : $w_{kj}I_{ki}$ Qui est défini par Gómez et al .(2008)

$$IRI_{ji} = \sum_{k=1}^{k=n} w_{kj} I_{ki}$$

(IRI_{ji}) est l'indicateur intermédiaire de la résilience pour la composante j et le quartier I, et w_{kj} représente le poids de l'indicateur k dans la composante j et I_{ki} est l'indicateur normalisé k obtenu par le quartier i. Les poids w_{kj} sont obtenus à partir de la matrice de charge factorielle mentionnée ci-dessus basée sur la rotation Varimax selon l'expression suivante :

$$w_{kj} = \frac{(factor_loading_{kj})^2}{eignvalue_j}$$

Quant au $factor_loading_{kj}$, c'est la valeur de la charge factorielle de l'indicateur k dans la composante principale j et $eignvalue_j$ est la valeur propre de la $j^{ème}$ composante principale.

Ainsi **FRI_i** peut être calculé comme une agrégation pondérée des indicateurs intermédiaires de résilience comme suite :

$$FRI_i = \sum_{k=1}^{k=3} \alpha_j IRI_{ji}$$

FRI_i est la valeur de l'indicateur composite pour le i et α_j est le poids appliqué à l'indicateur intermédiaire de durabilité j. Ces poids sont calculés comme suivant cette équation :

$$\alpha_j = \frac{eignvalue_j}{\sum_{j=1}^{j=3} eignvalue_j}$$

Le résultat correspondant aux scores de l'indice montre que les valeurs obtenues peuvent être négatives ou positives, et la normalisation, à l'aide du min-max, est utilisée encore une fois pour normaliser les scores de l'indice **FRI (2)**.

b-Par le réseau de Neurones Artificiels « SOM » : FRI (3)

Des travaux de l'évaluation de la résilience se sont penchés récemment sur les possibilités offertes par l'apprentissage automatique (Machine Learning) pour identifier de meilleurs des indices de résilience à l'aide de réseaux neuronaux (Jones et al.,2021). Ce sont un ensemble connecté de neurones formels (Bennani., 2006) dont l'utilisation actuelle dans différents domaines valide leur robustesse (Amartur et al., 1992 ; Burel., 2018 ; En-Naimani., 2016 ; Lazaar., 2013). Le principe est simple : il s'agit d'un neurone biologique représenté artificiellement par un neurone artificiel. Ce dernier, selon Bennani, (2006), est considéré comme un modèle mathématique de traitement de l'information qui reçoit des données en

entrées sous forme d'un vecteur et produit une sortie réelle. Cette sortie est une fonction des entrées et des poids des connexions. Un neurone formel est caractérisé par cinq éléments (Fig.36) :

- Les vecteurs de R^p : la nature de ses entrées ;
- La fonction d'entrée totale qui définit le prétraitement effectué sur les entrées ;
- La fonction d'activation du neurone qui définit son état interne en fonction de son entrée totale ;
- La fonction de sortie qui calcule la sortie du neurone en fonction de son état d'activation ;
- La nature de la sortie du neurone.

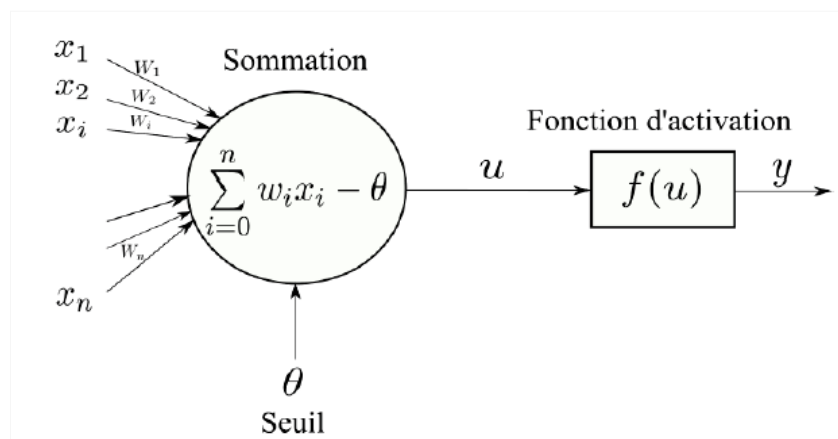


Figure 36: Eléments du Neurone artificiel (En -Naimani. 2016)

En général, la fonction de transformation f peut être une fonction à seuil, une fonction linéaire ou non linéaire qui dépend des données présentées aux neurones. La fonction de type sigmoïde est la plus utilisée car elle présente l'avantage d'être régulière, monotone, continument dérivable et bornée entre 0 et 1.

Chaque réseau de neurones artificiels repose sur deux caractéristiques importantes : *l'architecture et l'apprentissage*.

-L'architecture est décrite par la position des neurones les uns par rapport aux autres pour former la topologie du réseau. Deux grandes classes de réseaux de neurones artificiels sont notées (Fig 37) : (i) celle des réseaux non bouclés dans lequel l'information se propage dans un seul sens et (ii) celle des réseaux récurrents qui autorisent l'information à revenir sur un réseau déjà traversé.



Figure 37 : Architectures Neuronales (En-Naimani. 2016)

Dans ce travail nous avons opté pour le modèle de la carte Auto-Organisatrice par Teuvo Kohonen (Kohonen, T., 1982 ; Kohonen, T. et al., 2000). C'est un algorithme de classification, elle est probablement la plus proche de toutes les architectures de réseaux de neurones artificiels et des schémas d'apprentissage du réseau neuronal biologique (Kohonen. Et al 1997). Cette carte repose sur deux couches : une couche d'entrée et une couche de sortie (=la carte) (Fig.38)

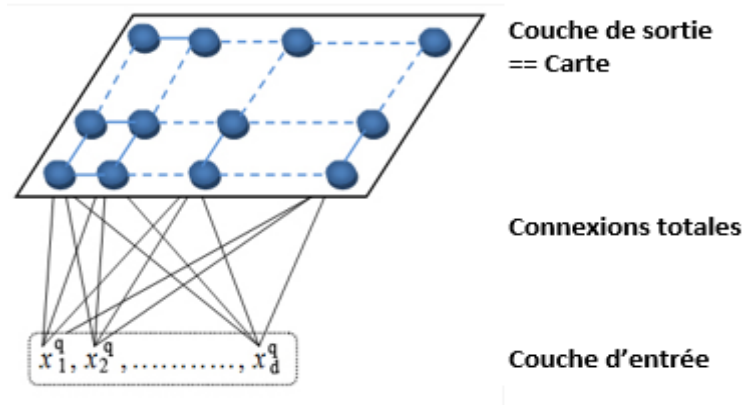


Figure 38:Architecture du réseau de neurones (SOM)

Le nombre de neurones dans la couche d'entrée est égal à la dimension de l'espace d'entrée (En-Naimani. Et al., 2016). Une architecture définie signifie que chaque neurone a un nombre fini de neurones comme les plus proches voisins, les deuxièmes voisins les plus proches, etc. Ce voisinage d'un neurone est habituellement arrangé soit en carrés, ce qui signifie que chaque neurone a soit quatre voisins les plus proches (Joudar et al., 2019)

- l'apprentissage de la carte Auto-Organisatrice : En général, il existe deux grandes catégories d'apprentissage : le supervisé et le non supervisé. Dans notre cas, le modèle de la carte autoorganisatrice SOM relève de la classe non supervisée. D'une manière plus formelle, les données d'entrée comme un vecteur dimensionnel $X = \{x^1, x^2, \dots, x^n\}$, with $x^i =$

$(x_1^i, x_2^i, \dots, x_d^i)$. Avec n la taille de l'échantillon et d la dimension d'entrée. Chaque neurone est alors associé à une référence vecteur :

$w^j = (w_1^j, w_2^j, \dots, w_d^j)$ $j = 1, \dots, N$, appartiennent à l'espace d'entrée.

Le but est de trouver les meilleurs poids W^* qui représentent les données d'entraînement X .

Dans la deuxième étape, chaque x^i à la fois t est comparée avec tous les w^j pour trouver le vecteur de référence w^k qui satisfait un critère de distance minimale ou de similarité maximale. Bien qu'un certain nombre de mesures soient possibles, la distance euclidienne est la plus couramment utilisée :

$$k = \arg \min_{j=1}^N \|x^i - w^j\| \quad \text{Équation (1)}$$

L'unité la mieux adaptée ($BMU=k$) et les neurones de son voisinage sont alors activés et modifiés :

$$w^j(t+1) = w^j(t) + \beta_{k,j}(t) \|x^i - w^j\| \quad \text{Équation (2)}$$

L'un des principaux paramètres influençant le processus de formation est la fonction de voisinage ($\beta_{k,j}(t)$), qui définit un modèle pondéré en fonction de la distance pour ajuster les vecteurs neuronaux. Elle est définie par la relation suivante :

$$\beta_{k,j}(t) = \exp\left(\frac{-d_{kj}}{2\sigma_k^2(t)}\right) \quad (3)$$

Ce dernier dépend à la fois de la distance (d_{kj}) entre le BMU et le neurone j respectif et aussi du pas de temps atteint dans le processus de formation global (t). En utilisant un modèle gaussien, cette fonction implique une largeur du noyau (σ) qui n'est pas un paramètre fixe. Le rayon du voisinage est utilisé pour définir la largeur du noyau avec laquelle la formation commencera. On débute généralement par un quartier couvrant la majeure partie de la SOM, afin d'obtenir un ordre global approximatif, mais la largeur du noyau diminue ensuite au cours des cycles de formation ultérieurs.

Dans cette étude, les corrélations sont d'abord estimées en utilisant la carte SOM entre les variables considérées, afin de comparer les FRIs.. A cette fin, les données X sont considérées comme des réalisations d fois de chaque variable $X_1, \dots, X_n$. i.e

$$X = \{x_q^i, i = 1, \dots, n; q = 1, \dots, d\}.$$

De plus, nous considérons l'ensemble des poids associés à la carte comme :

$$W = \{w_q^j; j = 1, \dots, N; q = 1, \dots, d\}$$

Avec $N \ll n$, ce qui signifie que le nombre de neurones considérés dans la carte est très faible par rapport au nombre d'éléments de la base de données. De plus, l'algorithme de carte auto-organisée peut être utilisé pour calculer (FRI) en fonction des poids optimaux.

$W^* = (w^{1*}, w^{2*}, \dots, w^{N*})$ est associé à N neurones.

Chaque neurone correspond à un indicateur intermédiaire de résilience (IRI_j), calculé itérativement selon la formule suivante :

$$IRI_j^i(t+1) = IRI_j^i(t) + \beta_{kj}(t) \| I^i - IRI_j^i(t) \|$$

En conséquence, après la convergence de l'algorithme, le vecteur $IRI_j^* = (IRI_1^{j*}, IRI_2^{j*}, \dots, IRI_d^{j*})$ représentent les valeurs de l'indicateur intermédiaire de résilience (IRI_j^*). Où w_q^{j*} est l'indicateur intermédiaire de résilience pour le neurone j et la salle i. Le weights w_i^j de chaque vecteur associé w j est normalisé.

$$FRI_i = \sum_{k=1}^{k=N} \beta_j IRI_{ji}$$

Où FRI i est la valeur de l'indicateur composite pour le quartier i et β_j est le poids appliqué à l'indicateur intermédiaire de viabilité j. Ces poids sont calculés et normalisés comme suit :

$$\beta_j = \frac{\text{total number of associated variables winning by neurone } j}{\text{total number of variables}}$$

-Etape 4 : Visualisation et validation

Les résultats de FRI (2) et FRI (3) ont été cartographiés à l'aide du SIG pour une meilleure visualisation. Aucun changement n'est mentionné au moyen de la validation, celle-ci de type croisé, a été adoptée pour les trois indices composites FRI (1), FRI (2) et FRI (3).

V. Conclusion

La résilience aux inondations urbaines fait l'objet de nombreux débats dans le domaine académique notamment concernant sa pertinence pratique. Sa multitude de définitions et d'approches ont favorisé son manque d'opérationnalisation. Au Maroc, malgré les dégâts enregistrés suite aux inondations récurrentes depuis plusieurs années, excepté le plan national de la résilience territoriale lancé en 2017, aucune initiative proprement dite d'évaluation de l'indice de résilience aux inondations n'a été encore entamée. Cette recherche sort par des conclusions et propose alors une première méthodologie pour analyser la résilience urbaine face aux inondations, et ce pour trois communes de la préfecture de Mdiq et Fnideq. L'évaluation est basée sur une approche quantitative du type *top-down*, selon la pondération égale- (EW) pour FRI (1) puis deux autres techniques de pondération différentes ACP (Analyse et Composantes Principales) et SOM (cartes auto-organisatrices) pour les deux autres indices, FRI (2) et FRI (3). L'objectif est de construire une analyse et une connaissance autour de la résilience urbaine au niveau de cette préfecture.

PARTIE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE 1 : ZONES « HOTSPOTS » DES INONDATIONS URBAINES DE LA PREFECTURE M'DIQ FNIDEQ

I. Introduction

Dans ce chapitre est consacré à une recension historique des inondations majeures qui ont marqué le territoire des communes urbaines Fnideq, M'diq et Martil, durant une soixantaine d'années. Cette reconstitution chronologique est suivie d'une brève analyse des principaux impacts qui y sont survenus. Pour ce faire, nous nous sommes basés sur diverses sources documentaires, rapports et registres ainsi que des témoignages de la population enregistrés sur des vidéos, et partagés aux réseaux sociaux, ainsi que les entretiens réalisés avec certaines personnes lors des campagnes de terrains.

II. Reconstitution des événements d'inondations (de 1960 à 2021)

La préfecture M'diq-Fnideq est une zone à risque d'inondation selon le Plan National des Inondations (PNI, Maroc). L'inventaire de l'Agence du Bassin Hydraulique de Loukkos a indiqué 18 sites comme zones à risque d'inondation par les eaux pluviales en 2015, réparties entre les trois communes Martil, M'diq et Fnideq, avec un degré d'urgence élevé à très élevé. Nous cherchons à étudier la répercussion des inondations, pas uniquement au niveau de ces sites identifiés, mais à l'échelle de toute la préfecture M'diq-Fnideq.

L'examen de la récurrence des inondations représentée sur la figure 39 révèle deux périodes :

1. De 1960 à 1990 : la fréquence atteint en moyenne 4 à 5 événements en un mois ; la récurrence des inondations s'étale du mois d'octobre au mois de février, elles durent un peu plus (6 mois) depuis 1990 avec des pics durant l'hiver par de 5 épisodes d'inondation (Fig39).
2. De 1990 à 2021 : Les inondations se produisent quand les mois de Mars arrive, en moyenne avec une récurrence de 3 fois plus que la période précédente entre (1960-1990). Des événements corrélés probablement aux orages d'été, surviennent 1 à 2 fois quand les mois d'Aout et Septembre. Un des exemples les plus marquants est celui enregistré en août 2013 est survenue après une longue période sèche, suivie d'une inondation éclair due à un ruissellement urbain assez fort.

La préfecture Mdid-Fnideq et la ville de Tétouan sont parmi les régions les mieux arrosées du Maroc. Les précipitations abondantes sont réparties entre novembre et mars. Selon les données climatiques enregistrées dans la station *Torreta*, située dans la partie centrale de la plaine de Martil, la pluviométrie moyenne inter-annuelle notée sur une période de 35 ans (1970/71 à

2004/05) est de 617 mm à *Torreta* et elle est un peu plus élevée dans la région Nord de la préfecture- plus exposée aux vents pluvieux de l'Ouest- avec environ 732 mm enregistrés à la station *Kalaya* sur la même période (Fig 40).

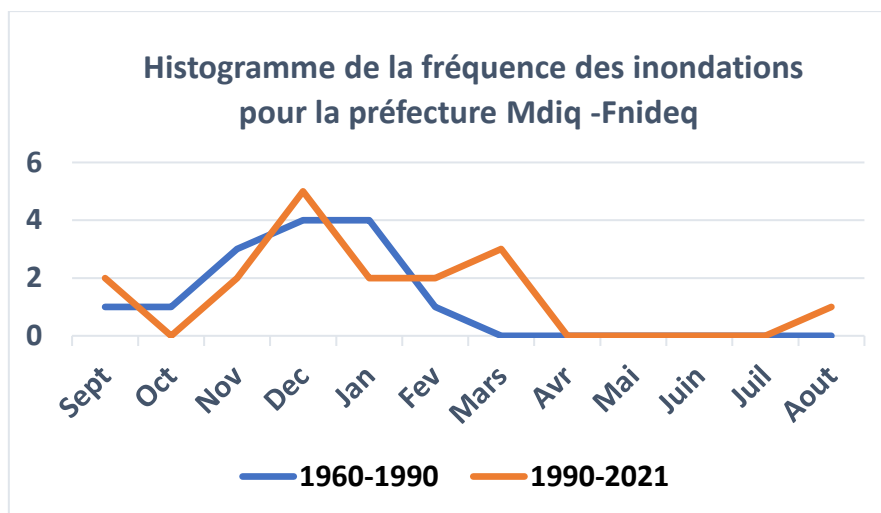


Figure 39: Fréquence saisonnière des inondations pour la préfecture M’diq -Fnideq

Selon les données climatiques enregistrées dans la station *Torreta*, située dans la partie centrale de la plaine de Martil, la pluviométrie moyenne inter-annuelle notée sur une période de 35 ans (1970/71 à 2004/05) est de 617 mm à *Torreta* et elle est un peu plus élevée dans la région Nord de la préfecture- plus exposée aux vents pluvieux de l'Ouest- avec environ 732 mm enregistrés à la station *Kalaya* sur la même période (Fig 40).

Bien que les précipitations montrent une certaine irrégularité dans une même région néanmoins elles finissent par engendrer des ruissellements rapides, parfois dévastateurs, en entraînant de graves inondations dans les communes avoisinantes par l'effet domino.

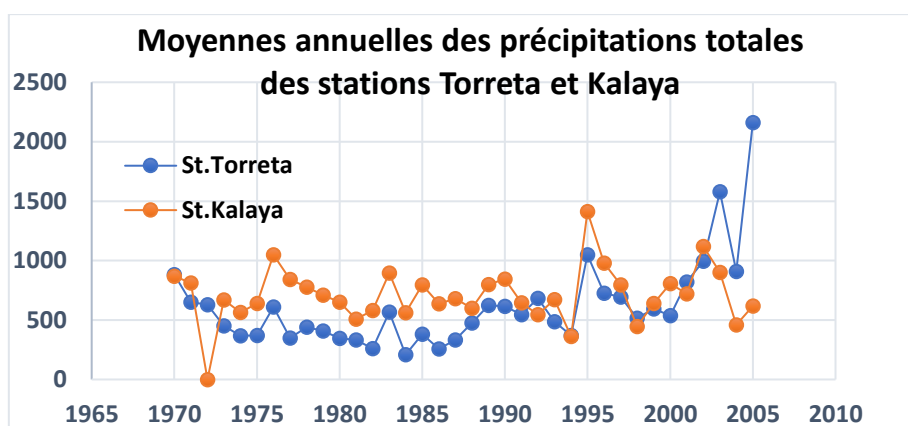


Figure 40: Moyennes annuelles des précipitations totales enregistrées au niveau des stations Torreta et Kalaya (source : Données ABHL)

En effet, le recensement des événements majeurs dans la préfecture étudiée révèle des inondations dont la population s'en rappelle fortement en raison des dégâts enregistrés :

- Le **19/12/1990**, et suite à des pluies intenses (300 mm en 3 heures), les crues d'oued Fnideq et Chaabats avaient enregistrées des débits spécifiques d'une valeur exceptionnelle de l'ordre de $20\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, et ont généré des inondations au centre-ville de Fnideq et au niveau de la zone de la nouvelle gare routière.
- **En 1991**, la commune M'diq a vécu le même scénario qu'à Fnideq avec des inondations intenses.
- Le **26 décembre 2000**, plus de 2400 ha de la plaine de Martil ont été inondées (débit de l'oued $3350\text{ m}^3/\text{s}$) par débordement de l'oued Martil. Les précipitations ont atteint 40mm durant un laps très court ce jour là (Fig.41)

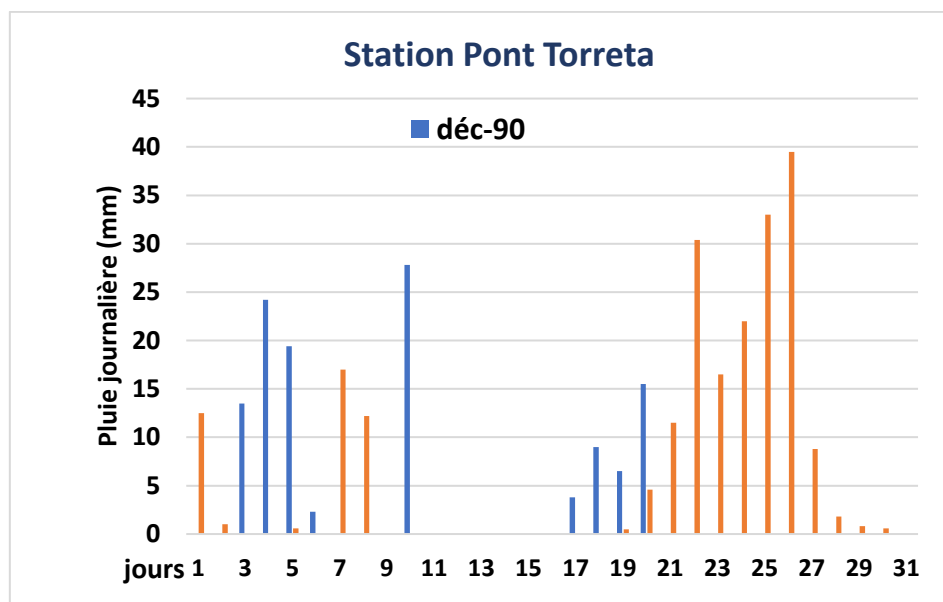


Figure 41: Précipitations journalières à la station Pont de Torreta sur Oued Martil (Décembre 1990- décembre 2000) (Source : Données ABHL)

- **17 Janvier 2006** : les crues ont causé des dommages matériels énormes évalués à 83 Million de Dirhams, et une submersion de 2400 ha à Martil- Tétouan.
- **En Septembre 2008 et 2009** : la nouvelle gare routière de Tétouan est située en pleine zone d'expansion de crue (secteur touché lors de la crue de 2000), elle se retrouve inondée encore deux fois dans son nouveau site située au lit d'Oued Martil (Fig.41)
- **En Février 2016 et 2018** : de fortes pluies se sont abattues sur Tétouan, Martil, Fnideq et M'diq entraînant des inondations dans de nombreux quartiers (Fig.42)

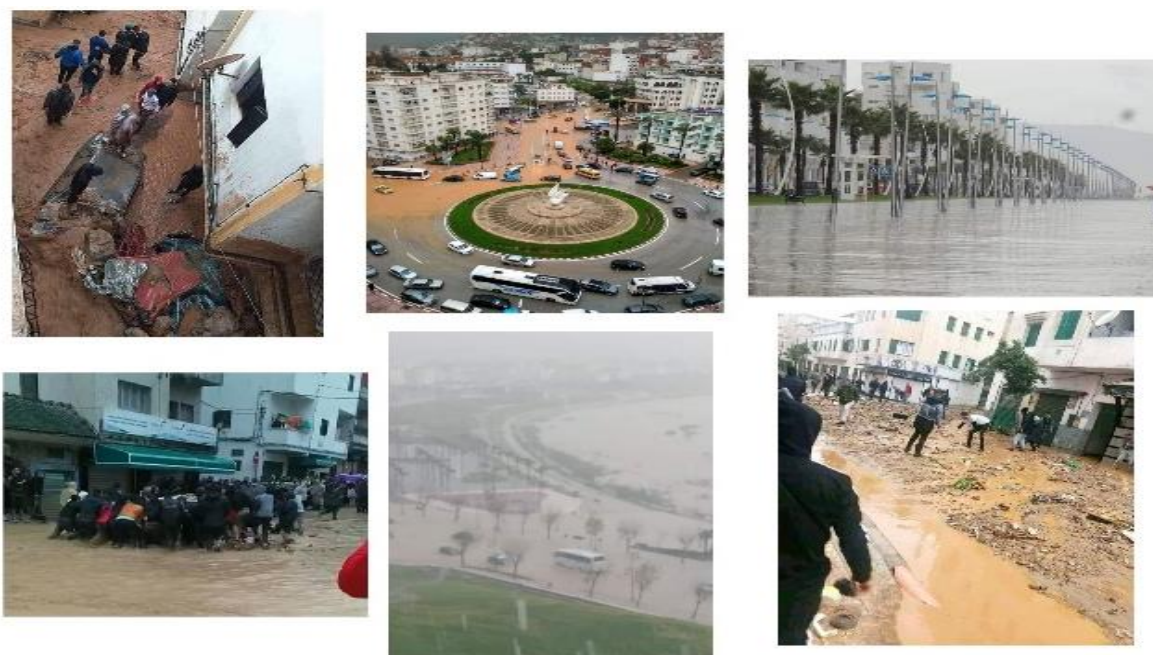


Photo 2 : Photos prises et partagées sur les réseaux sociaux lors des inondations 2021.

➤ **En Mars 2021 :** La catastrophe a récemment marqué la mémoire de la population avec 257 maisons endommagées au niveau de Tetouan, située dans des quartiers en amont de Martil, D'autres lourds degats dans les trois centres urbains Martil, M'diq et Fnideq sont analysées par la suite (Photo.2)

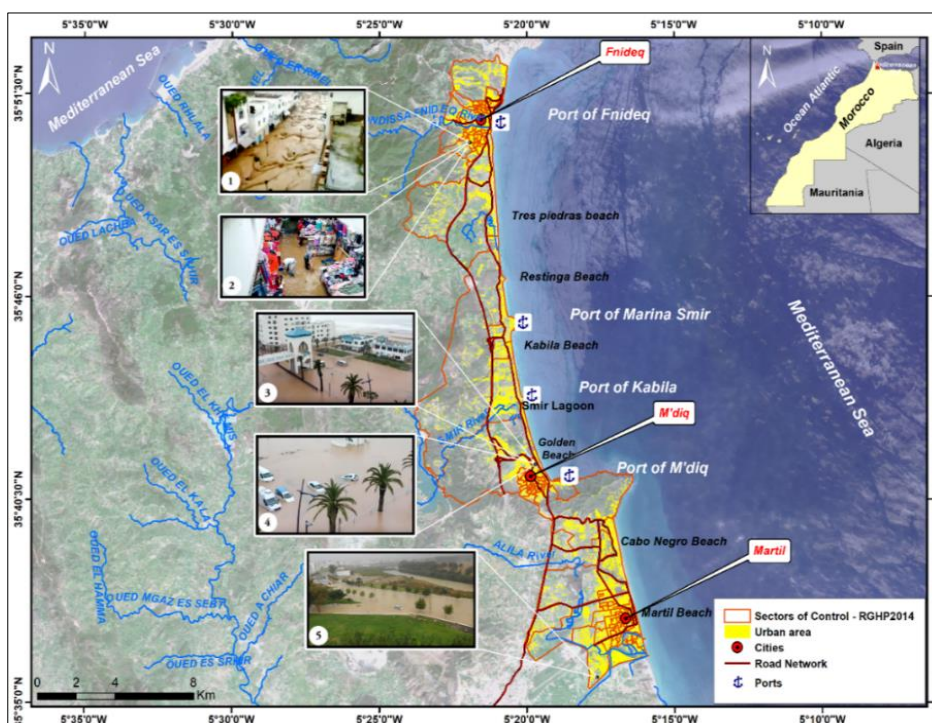


Figure 42: Exemples d'inondations aux communes de Fnideq, M'diq et Martil. (1 : Centre Fnideq le 28 septembre 2008 ; 2) : Centre Commercial Almassira Fnideq le 27 septembre 2014 ; 3) et 4) : M'diq le 06 mars 2010 ; 5) : Rivière Martil le 02 mars 2018

III. Ampleurs et impacts des inondations majeures par commune

L'intensité des impacts des inondations ayant touché les communes urbaines de la préfecture de Mdiq-Fnideq, diffère d'un territoire à une autre, et ce en relation avec en relation des mutations que ces villes ont connu au cours des dernières décennies.

III.1 Commune de Fnideq

III.1.1 Etalement urbain

Une analyse diachronique des images Google de 2003 et 2021 de la commune de Fnideq révèle un net étalement urbain en direction du lit de l'Oued Fnideq, marqué par l'édification en premier, de nouvelles constructions dans les talwegs et flancs de l'Oued Fnideq (appelé autre fois aussi Condessa et actuellement Oued Jdid), ensuite l'expansion du bâti se poursuit de façon radiale (Fig43). Différentes zones bâties sont régulièrement impactées par les crues (FIg.5) : Au niveau de la zone A se situent les Chaâba Condessa (Chaâbas = ravins), chaâba Aghattas, chaâba Sidi Boughaba, convergent vers la partie Nord de la ville. Ils ont été canalisés par des dalots dont les dalles de couverture ont été localement enlevées en raison, vraisemblablement, de nécessité d'entretien.

Expansion des surfaces urbanisées au Fnideq entre 2003 et 2021

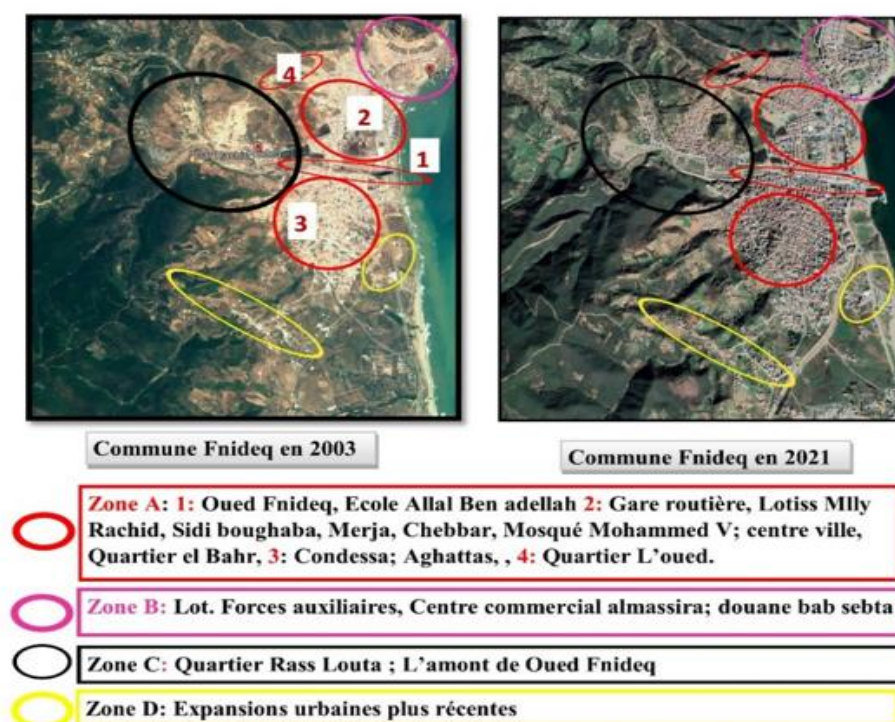


Figure 43: Expansion des surfaces urbanisées à Fnideq entre 2003 et 2021 ; A, B et C : Zones endommagées lors des inondations historiques ; Zone D : Suite des expansions urbaines.

Une canalisation des dalots converge vers un ouvrage unique qui passe sous les habitations et traverse le centre de la ville, puis la route nationale RN13 avant de déboucher en mer (Fig. 44). Ils reçoivent beaucoup de déchets. De plus, les pentes en amont des chaâbas telles qu'elles sont, conduisent à des transports de matières solides très importantes (limons, graviers, pierres, branchages, etc.). Quant au centre-ville, il est la zone de convergence des écoulements des eaux, celles-ci stagnent souvent voire inondent les quartiers après d'intenses pluies.

Plus en aval, une superficie d'environ 50 hectares, dont 40 ha sont situés aux abords de l'Oued Fnideq et 10 ha en périphérie, est occupée par le projet résidentiel « Al Massira », il s'agit d'un « pôle urbain » constitué de 42 immeubles résidentiels (R+3) bordés par la nouvelle gare routière. Des dalots y canalisent un kilomètre et demi de l'oued et finissent par recevoir tous ce que le lit de l'oued et les autres talwegs ramènent du continent (dépôts de matériaux de construction, de gravats, de déblais et de déchets domestiques) ; ce qui entrave encore plus l'écoulement entraînant alors la stagnation et/ou submersion des zones avoisinantes. (Fig.44).



Figure 44: Vue satellite du pôle urbain « Al Massira » étendue sur Oued Fnideq (image @Copyright Open Streets map 2021)

Il est à noter aussi que le bief de l'Oued Fnideq (ou Oued Jedid) situé à l'intérieur du périmètre urbain de la ville de Fnideq constitue le tronçon final de celui-ci avant son embouchure vers la mer, les pentes sont assez faibles. L'écoulement est principalement fluvial et les niveaux d'eau sont conditionnés par la marée.

Une expansion urbaine marque le nord de la ville vers Bab Sebta, par de nouveaux quartiers résidentiels localisés près des axes routiers (Zone B). La zone C, quant à elle, elle est marquée

par le développement de Quartier Rasss louta ; un cas concret de constructions sans aucune autorisation, depuis 2001, avec une prolifération d'habitations année après année (Nejjari., 2014). Cette tendance d'étalement du bâti se poursuit à ce jour (zone D). Toutes les zones mentionnées (Fig. 43. Zones A, B et C) contribuent à amplifier les dégâts des inondations de la ville de Fnideq. D'ailleurs, un dysfonctionnement remarquable apparaît au niveau de tous les réseaux : routier, d'assainissement, de distribution d'eau potable et d'électricité en raison des inondations notées dans la région.

III.1.2 Impacts sur le réseau d'assainissement

Pendant une période d'inondation, le réseau d'assainissement fait face à un excédent d'eau qui dépasse la capacité d'absorption. Lors des pluies intenses, le réseau n'est plus capable de jouer son rôle d'évacuation des eaux de ruissellement pluviales. En effet, au niveau de la commune de Fnideq, les canalisations pluviales sont souvent obturées par des dépôts d'ordures et par le charriage des sédiments, bloquant l'évacuation. L'Oued Fnideq est d'ailleurs souvent encombré par divers types d'ordures et dépôts limitant la capacité de drainage. En outre, suite à des constructions sur le collecteur Merja et la réduction de son diamètre, le collecteur a subi des dégâts durant des inondations récurrentes notées en 2008 et 2014. La cause n'était autre que le manque d'évacuateur d'eau sous les constructions.

Les stations de pompes restent non opérationnelles bien qu'elles étaient destinées à pressuriser les eaux usées afin qu'elles sortent jusqu'à un point où elles sont déversées dans l'égout principal. D'ailleurs la principale station de pompage d'oued Fnideq est située dans une zone inondable par les eaux, elle ne peut pas néanmoins drainer les eaux usées qui dépassent sa capacité hydraulique, en temps d'orage ou en période de crue. Ce dysfonctionnement de la station de pompage est dû à plusieurs causes : au chauffage des câbles électriques suite à des fuites dans les équipements de la pompe, à la stagnation des eaux pluviales et aussi au blocage des caniveaux par la boue et les débris de végétaux charriés.

III.1.3 Impacts sur le réseau d'électricité

L'énergie électrique est aussi concernée par les effets négatifs des inondations au niveau de la commune de Fnideq. Desservir les consommateurs en moyenne et en basse tension, est en fonction des postes intermédiaires de transformation ayant le rôle de diminution ou d'augmentation du voltage en fonction des besoins. Le poste 60/22 KV de Ras Louta Fnideq, mis en service en 2014, est situé dans une zone inondable (Fig. 45). Ce qui explique le dysfonctionnement sporadique et l'impact sur le réseau électrique durant les périodes de pluie intense.



Figure 45: Situation la station d’approvisionnement de l’électricité de Ras Louta- Fnideq

III.1.4 Impacts sur le réseau d’approvisionnement en eau potable (AEP)

Le centre de Fnideq est alimenté à partir d’une conduite provenant de M’diq. Issue de la station de traitement de SMIR, celle-ci est située à une distance de 4km, du centre-ville. Le centre de M’diq est lui-même alimenté en eau brute à partir du barrage SMIR dont la capacité est de $43,5 \text{ Mm}^3$. Encore une fois, la zone où se situe la station de traitement de l’eau potable de Smir constitue la confluence de plusieurs châabas, au niveau desquelles plusieurs dégradations des clôtures sont constatées à cause de l’accumulation et de la stagnation des eaux des châabas. En cas des inondations, des perturbations affectent fortement la station de traitement.

III.1.5 Impacts sur le réseau routier

L’impact de fortes intempéries est enregistré sur l’axe la route nationale RN16 et R13 (Photo.3) ainsi que toutes les artères de la ville lors des inondations en raison de l’incapacité du réseau d’assainissement à évacuer rapidement le trop plein d’eau.



Photo 3 : Photos illustrant l’impact d’inondation sur l’axe de la route nationale R16 - R13

Source: (<https://www.youtube.com/watch?v=sd3xOCcztgQ>)

III.2 Commune de M'diq

III.2.1 Etalement urbain

La commune de M'diq se situe entre des reliefs et depuis les années 2000, elle connaît une extension des surfaces urbanisées, même tendance notée à Fnideq. Lors des fortes précipitations, les bassins versants qui drainent les eaux des chaâbas y sont à l'origine des inondations de plusieurs quartiers et les zones du centre-ville. En effet, au niveau de la zone A (Fig.46), les eaux empruntent l'avenue Imam El Boukhari, arrivent au quartier Rabat. Ce dernier est caractérisé par son relief plat favorisant assez souvent la stagnation des eaux.

Les risques d'inondation au niveau du territoire de M'diq sont amplifiés principalement par : (i) l'urbanisation anarchique de quelques quartiers périphériques (en Zone B) qui s'y est développée, et (ii) par l'absence d'un réseau d'évacuation des eaux d'assainissement et de crues adaptés aux infrastructures présentes sur ce territoire. De même ; la récurrence des inondations au niveau du quartier Sekka (Zone B) serait due principalement à l'occupation irresponsable des chaâbas par des constructions résidentielles.

Expansion des surfaces urbanisées au M'diq entre 2003 et 2021

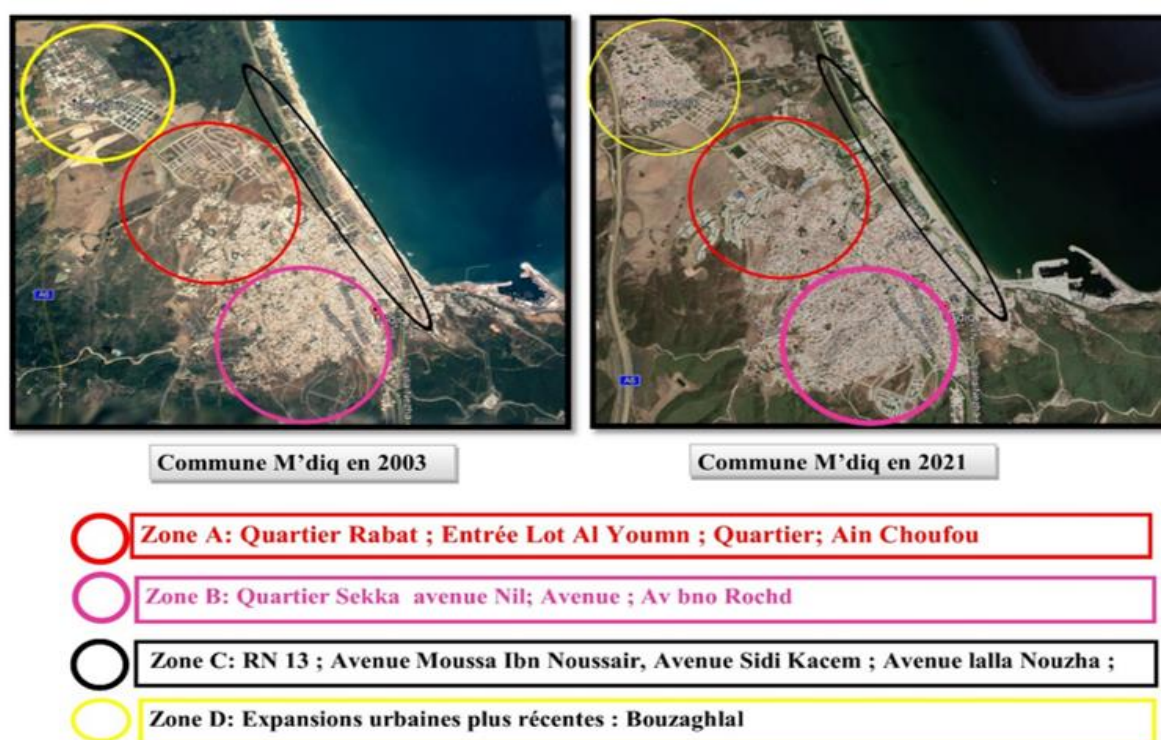


Figure 46: Expansion des surfaces urbanisées au M'diq entre 2003 et 2021 :Zones A, B et C : endommagées lors des inondations historiques ; Zone D : Etalement urbain.

Au nord de Mdiq , à Bouzaghlal au niveau de la zone D (Fig.46), certains quartiers ont été complètement submergés pendant les inondations de mars 2021 (Photo.4). Un dysfonctionnement a touché tous les réseaux d'assainissement, de distribution d'eau potable, d'électricité et de nombreux tronçons routiers.



Photo 4 : Inondations des certains quartiers à Bouzaghlal (Mars 2021)

III.2.2 Impacts sur le réseau d'assainissement

Durant les inondations, le refoulement des eaux pluviales au niveau du réseau d'assainissement constitue un autre problème à surmonter au niveau de cette commune. Les déblais extraits des fondations sont souvent versés en amont des talwegs ; drainés par les eaux pluviales vers les collecteurs, ils empêchent l'évacuation normale des eaux. Cette perturbation est provoquée encore une fois par l'étalement des constructions dans des zones inondables ce qui provoque le dysfonctionnement du réseau d'assainissement ; tel est le cas des zones A et B, au niveau des quartiers de Sekka, à savoir Ain Choufou, Kalaa, Chrifa, Foum al Oulik, D'ailleurs, en 2014, l'évacuation gravitaire des eaux pluviales était pratiquement impossible à M'diq, à cause de la perturbation que connaît l'ouvrage souterrain de l'évacuation des eaux pluviales.

III.2.3 Impacts sur le réseau d'électricité

Dans cette commune de M'diq, le poste de livraison de l'électricité se situe sur la route du barrage Smir; il est en service depuis 1995 et alimente la zone de Fnideq, M'diq, Cabo negro et une partie de la ville de Martil. Néanmoins, ce poste -source de Smir- (en zone D) se situe encore une fois dans une zone d'accumulation des eaux des châabas, issues des massifs qui dominant le centre de M'diq (Fig.47). L'absence de canalisations pour l'évacuation des eaux

de crues des châabas entraîne souvent un débordement rapide des eaux à l'intérieur du poste, s'en suit alors une perturbation de la distribution d'électricité dans la région.



Figure 47: Localisation de la station Source Smir - Commune de M'diq.

III.2.4 Impacts sur le réseau routier

Plusieurs sections de la route nationale RN13 se trouvent submergées à chaque fois que les intempéries sont intenses, la circulation y est alors perturbée (Photo 5a): Une paralysie du flux, des dégâts matériels sur la chaussée et des commerces avoisinants sont souvent enregistrés au niveau des mêmes tronçons routiers à savoir au niveau de :

- Mallayéne-Colainord ;
- Saniat Torres ;
- Marina Smir.



Photo 5 : (a) Route inondée au niveau de Saniat Torres inondée, (Mars 2016)
(b) Rues inondées lors des intempéries de Mars 2010.

Comme cela est montré par la photo 5b, les artères de la ville sont souvent impactées par l'incapacité du réseau d'assainissement à évacuer le trop plein d'eau suite aux fortes précipitations.

III.3 Commune de Martil

III.3.1 Etalement Urban

La commune de Martil est traversée par les oueds Alila au Nord et Martil au sud. Cette cité balnéaire a connu un étalement urbain des plus importants du pays (Fig. 48). Ayant débuté en 1993 , l'expansion du bâti devint plus intense depuis les années 2009.

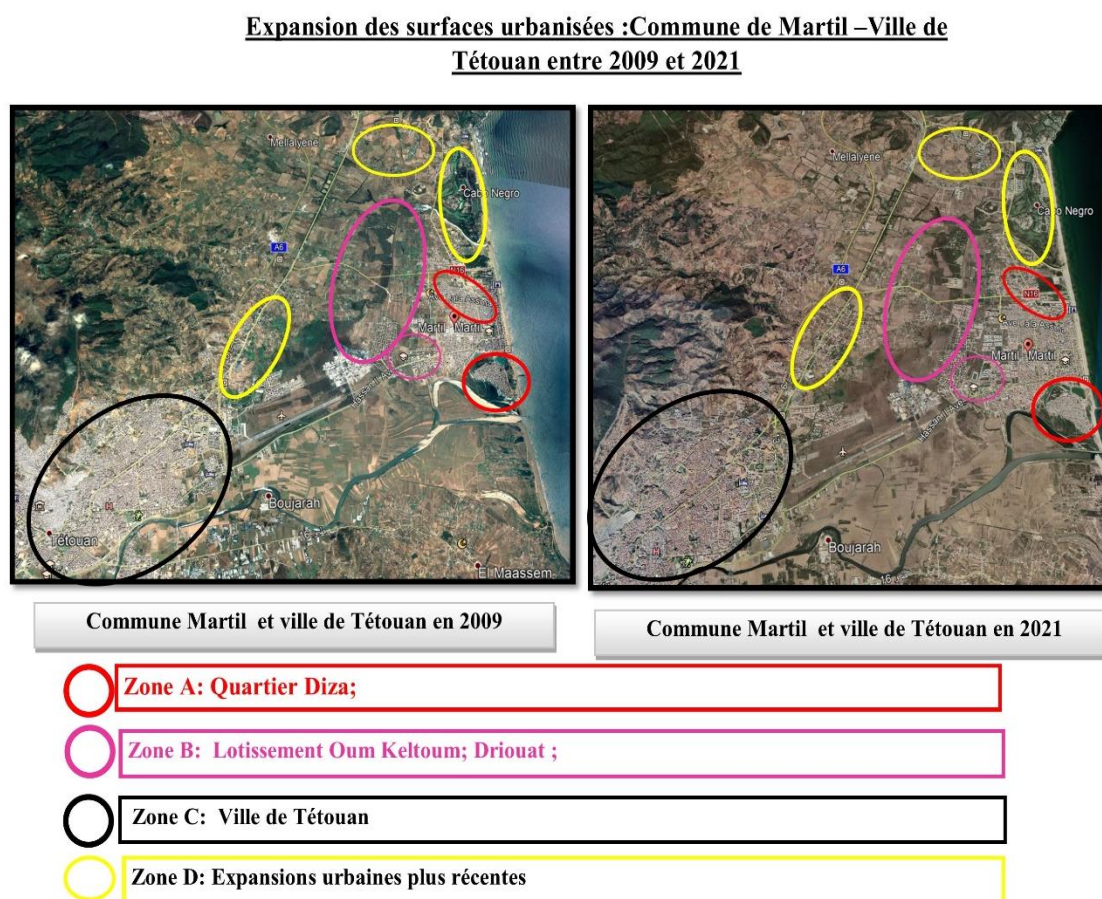


Figure 48: Etalement urbain entre Tétouan et Martil (2009 à 2021); A, B et C : Zones perturbées avec de nombreux dégâts lors des inondations de Mars 2021; Zone D : autres formes d'expansions urbaines

La zone A, représentée par le quartier Diza, se situe au niveau du bras mort d'Oued Martil (Fig.48) ; elle est l'une des expressions des zones à habitats insalubres qui s'étend sur une presque île marécageuse. Elle est la zone la plus fortement exposée à l'aléa inondation (Le Tellier. 2006). Lors des pluies torrentielles de 2021, le quartier a connu des dégâts (*souk Diza*) qui auraient été moins intenses comparés aux quartiers de la ville de Tétouan, (zone C), fortement inondés.



Photo 6, a- Situation du Quartier Diza (Martil) ; **b-** Inondation des ruelles ; **c-** Précarité du quartier (urbanisation anarchique)

Quant à la zone B (Fig.48), elle a été fortement paralysée lors des inondations de mars 2021, précisément, au niveau du périmètre « Driwat » où s’installent des unités industrielles, et les lotissements résidentiels « Oum Kaltoum ». Cette partie de la commune est reliée à l'exutoire de la rivière par un canal de drainage, relié à son tour à la branche habituellement inactive de l’oued, mais elle le devient pendant les périodes pluvieuses.

III.3.2 Impacts sur le réseau d’assainissement

Le réseau d’assainissement de la ville de Martil, entamé au début des années 1990 souffre d’énormes problèmes et demeure inefficace en l’absence de station de traitement. Ce réseau défaillant résulte de la précarité des quartiers et où habitants déversent les eaux usées directement dans les ruelles (Photo 7). De plus, le bras mort des oueds Martil et El Maleh constituent des dépotoirs pour ordures (Lamribah, 2014). Durant les inondations la situation devient alors déplorable.



Photo 7 : Dépotoirs à l’air libre des déchets ménagers et les eaux usées – Martil (AUT, 2011)

Bien que de nombreux programmes de l'Etat soient programmes pour la mise à niveau de la ville, les défaillances des infrastructures dans cette ville continuent à être révélées à chaque événement pluviométrique intense. De plus, dans certaines zones de ce territoire, le mode d'assainissement basé sur les fosses collectives y est toujours présent.

Les réseaux d'assainissement liquide et solide sont des éléments clés dans le dispositif de salubrité publique et des facteurs importants dans la résilience face aux inondations d'un territoire. En effet, leur défaillance perturbe le fonctionnement de la ville tout en affectant et le réseau routier qui bloque la circulation et affecte les habitations du rez de chaussée (Photo 8), les infrastructures de base, voire même la dotation en électricité. Les résiliences sociale et économique se trouveraient alors affaiblies.



Photo 8 : Inondations du réseau routier à Martil lors de fortes intempéries

III.4 Etalement urbain sur des zones humides : cas de lagune de Smir

L'expansion urbaine marque aussi la frange littorale entre M'diq et Fnideq. L'exemple que nous avons choisi ici est celui de la lagune de Smir. Selon Nejari et al., 2014, la lagune est le cas concret d'un non-respect des documents d'urbanisme. D'ailleurs, cette zone humide est inscrite comme Réserve de la Biosphère Intercontinentale de la Méditerranée (RBIM), et considérée un espace à grande valeur culturelle et naturelle reconnue par l'UNESCO en 2006 (Fig.49), néanmoins, elle est la cible d'un étalement urbain sur l'espace de liberté de cet écosystème. Lors des inondations, ni les infrastructures de base, ni les habitations ne seraient épargnées par les dégâts.

Expansion des surfaces urbanisées: Lagune de Smir entre 2003 et 2021

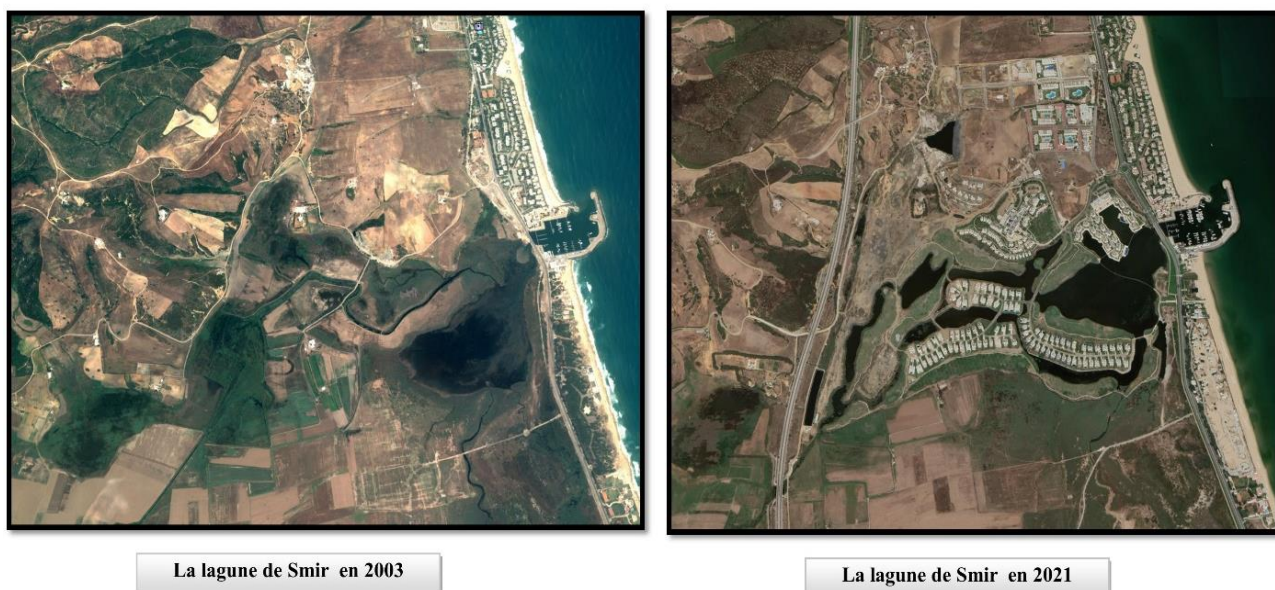


Figure 49: Expansion des surfaces urbanisées au pourtour de la lagune de Smir entre 2003 et 2021

IV. Conclusion

Ce chapitre porte essentiellement sur la reconstitution de l'historique des inondations des communes Fnideq, M'diq et Martil au cours des années 1960-2021. Les crues hivernales sont souvent la cause principale des inondations, bien qu'on note des inondations majeures qui se sont produites durant la saison estivale, notamment les inondations d'Aout 2013 à Tétouan. Une augmentation de la pluviométrie, généralement soudaine et intensive, provoque des inondations éclairs imprévisibles.

Bien que les conditions climatiques constituent un facteur explicatif de premier ordre dans la récurrence des inondations de la zone d'étude, une attention particulière doit être affectée aux facteurs anthropiques, qui contribuent, directement ou indirectement, sur l'ampleur et l'intensité des inondations sur ce territoire. Elles font apparaître la défaillance des différentes infrastructures ce qui affaiblirait d'avantage la résilience de ces communes à cet aléa et mènerait la gestion de l'inondation urbaine par les autorités vers une impasse. Chose notée lors des inondations récurrentes de ces dernières années qui mettent à l'épreuve les infrastructures, la population et les autorités locales.

CHAPITRE 2: EVALUATION DE L'INDICE MULTIDIMENSIONNEL DE LA RESILIENCE FACE AUX INONDATIONS DES COMMUNES URBAINES DE FNIDEQ - MDIQ ET MARTIL

I. Introduction

Ce chapitre est consacré à l'évaluation quantitative de la résilience aux inondations et à sa représentation spatiale dans les communes urbaines de la préfecture M'diq -Fnideq, et ce, en se basant sur une forme synthétique et simplifiée d'un indicateur de résilience aux inondations. Cet indice multidimensionnel de résilience utilisé est un indicateur composite basé sur des dimensions dont les cartes thématiques ont été produites, d'abord après la normalisation et l'agrégation des variables, ensuite le calcul de leurs moyennes pondérées.

L'étude ne fait pas de distinction entre les inondations provoquées par : i) le débordement d'un cours d'eau, ii) un ruissellement excessif, iii) un refoulement d'égout ou iv) la défaillance du système de drainage des fondations. L'étude prend en considération l'inondation en globalité due par un ou ces différents aléas sur la base des données issues des organismes officiels ainsi que les missions de terrain.

Dans une première étape seront présentés les résultats obtenus pour les indices de résilience relatives à chaque dimension, ensuite dans un second paragraphe sera présenté l'évaluation globale de l'indice de résilience dans la préfecture de Mdiq –Fnideq puis la résilience en tant que moteur de changement territorial dans la préfecture de Mdiq –Fnideq.

II. Approche *top-down* pour l'évaluation de la résilience face aux inondations urbaines dans les communes urbaines de la préfecture Mdiq-Fnideq.

L'approche utilisée est la *top-down* ou nomothétique est une des principales approches de l'estimation de la résilience face aux catastrophes et changements climatiques (Rufat S., 2018) Elle repose sur la sélection d'indicateurs et la construction d'indices synthétiques à partir de bases de données nationales. Les indicateurs choisis sont des variables quantifiables, elles caractérisent quatre dimensions de la résilience. Ces indicateurs individuels sont ensuite combinés pour créer un indice de résilience aux inondations de nature donc multidimensionnelle qui est résumé en une valeur numérique puis cartographié.

Les interconnexions dans un territoire se font globalement entre les systèmes naturels, physiques, économiques, sociaux et institutionnels. Bien qu'il soit communément admis que la

résilience n'est pas une caractéristique ni une particularité isolée des institutions, mais plutôt le fruit de la performance institutionnelle (Barma, Huybens et Vinuela, 2014), cette dimension ne sera pas traitée dans notre étude. Nous nous sommes intéressés uniquement aux dimensions, naturelle, physique, sociale et économique pour évaluer l'indice de résilience aux inondations **FRI (1) (Flood Resilience index=FRI)**. Chacune d'entre elles a été évaluée à partir de trois sous indices dont les descriptions sont présentées sur les tableaux correspondants.

Le long de cette étude, nous garderons cette abréviation **FRI** pour indiquer l'indice de résilience aux inondations.

II.1 Indice de Résilience Naturelle

L'indice de résilience naturelle est établi sur la base de trois sous indices de la dimension naturelle (Élévation, Densité de drainage et Distance des dépressions) dont la description est présentée sur le Tableau 9 :

Tableau 9: Sous indices choisis et évalués pour caractériser la résilience naturelle des communes M'Diq, Fnideq et Martil.

Dimension	Sous indices	Description
Naturelle	Elevation (E)	La variable élévation caractérise l'altitude des zones du territoire. Les terres de haute altitude plus élevées sont moins exposées aux inondations et à leurs dommages qu'en zone basse. Le transfert des masses d'eau y est soumis à la force gravitaire et elles sont évacuées plus loin.
	Densité de drainage (DD)	Ce sous-indice décrit le degré de développement du réseau de drainage et la connectivité hydrologique. C'est un paramètre de synthèse entre les facteurs climatiques, lithologiques et hydrologiques (Humbert J, 1990). Il a été reconnu comme étant significativement lié à la formation des crues (Pallard et al 2009).
	Distance entre les points de dépressions (DD)	Il exprime la distance entre les points de dépressions naturelles susceptibles d'accumuler des masses d'eau du fort débit, inclus les retenues de barrages.

Les scores de l'élévation des zones dans le territoire étudié, varient entre 0 et 100, montre une extension des terrains peu élevés le long de la frange littorale, où s'installent l'essentielle des communes de la préfecture M'Diq –Fnideq. Les scores les plus élevés caractérisent l'amont et la zone de Capo-Negro (Fig.50A). Pour ce qui est de la densité du drainage, elle est moyennement à fortement représentée sur la zone d'étude (Fig.50B). Le graphe (Fig.50C)

représente la faible distance entre les dépressions, très marquée dans les communes de Martil et de M'diq et au niveau de l'aval de l'oued Negro.

Les scores de trois sous-indices ont permis d'estimer l'indice de résilience naturelle de ce territoire. La figure 50D montre que les zones à forte résilience naturelle se situent en amont des communes de Fnideq et M'diq (zones de haute altitude) ainsi que Capo Negro ; elles présentent des scores élevés à très élevés allant de 40 à 85. Les terres à résilience naturelle moyenne sont très diffuses et celles où la résilience est quasiment faible à très faible occupent Fnideq (oued et littoral nord) au Nord, la zone de l'oued Negron (Aswad), la quasi-totalité de la commune de Mdiq excepté le cap de Koudiat Taifor (Capo Negro) et enfin la commune de Martil, où les scores varient de 1.5 à 29.

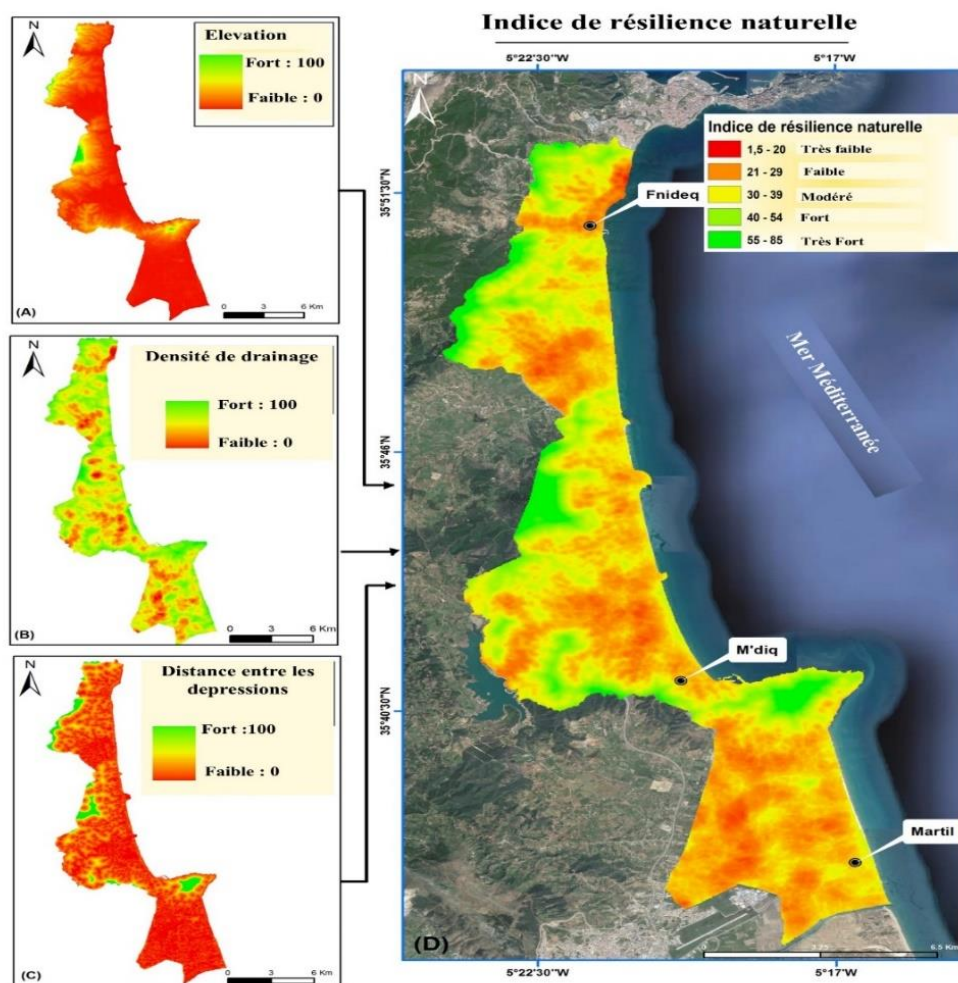


Figure 50: Indice de la résilience naturelle du territoire des communes urbaines de la préfecture M'Diq et Fnideq. A : Sous-indice d'élévation, B : Sous-indice de densité de drainage et C : Sous-indice de la distance entre les points de dépressions.

Sur la base des caractéristiques naturelles du territoire et celles des sous indices intégrés dans cette étude montre que dans sa globalité, ce territoire est modérément à faiblement résilient face aux inondations. Il a connu de nombreuses transformations qui font qu'aujourd'hui le système naturel de l'eau est rompu. Ceci pourrait expliquer la surcharge rapide du réseau en eau lors de fortes intempéries induisant ainsi des inondations.

II.2 Indice de Résilience physique (Infrastructures)

L'indice de résilience physique correspond à la résilience des infrastructures en général et les habitations en particulier qui constituent un facteur important de résilience d'une communauté. Il est établi sur la base de trois sous indices (Ancienneté des bâtiments, Taux des bâtiments construits en matériaux plus résistants (en béton armé et/ou brique en mortier) ainsi que les réseaux du branchement en eau potable et assainissement) ; ils sont représentés graphiquement après normalisation. Les variables de cette dimension sont décrites sur le Tableau 10.

Tableau 10: Sous indices choisis et évalués pour caractériser la résilience physique (Infrastructures) des communes M'Diq, Fnideq et Martil.

Dimension	Sous indices	Description
Physique (Infrastructure)	Ancienneté des bâtiments	C'est le pourcentage de bâtiments ayant plus de 50 ans d'ancienneté ; il exprime l'état de fragilité des bâtis face aux inondations, au fur et à mesure que les années passent.
	Taux de bâtiments avec matériaux résistants	Cette variable reflète le pourcentage du bâti construit avec des matériaux résistants (en béton armé et en briques avec mortier), susceptibles de subir moins de dommages lors des inondations.
	Taux de branchement (AEP et assainissement)	Le taux de raccordement au réseau d'assainissement et de distribution d'eau potable.

Les scores (0 à 100) de l'étendu du sous-indice d'anciens bâtiments sur le territoire des différentes communes Fnideq-M'diq et Martil, montrent une forte présence dans les parties Nord et Sud de la préfecture, alors que dans la partie médiane leur extension est moindre (Fig.51A). Quelques noyaux, avec des bâtiments moins anciens, sont localisés au niveau des trois centres urbains. Parallèlement, le taux des bâtiments construits avec des matériaux résistants relatifs au béton et /ou en briques avec mortier est très marqué dans les centres urbains étudiés (Fig. 51B) , avec globalement une extension modérée dans la partie médiane du territoire étudié ; de plus, certaines zones très ponctuelles montrent une faible expansion de ce type de bâti voire l'absence de toute construction.

Quant au troisième sous-indice, les scores cartographiés montrent un branchement généralisé dans toutes ces communes, avec un taux moindre dans des régions situées en amont de Restinga et de l'Oued Negron (Aswad) (Fig51.C). Selon le Ministère de l'économie, des finances et de la réforme de l'administration (MEFRA, 2019), M'Diq-Fnideq est la mieux lotie de toute la région avec un taux d'accès à l'électricité de 95% et à plus de 80% pour l'eau potable. Le résultat global (Fig 51.D) montre qu'une résilience physique élevée à très élevée grâce à l'extension du bâti et du réseau de branchement (AEP et Assainissement) est notée au niveau des centres des trois villes étudiées. Dans la partie médiane de ce territoire, la résilience physique est modérée à faible et elle est nettement plus faible en amont de la plaine de l'oued Negron (Aswad). Elle est marquée par une absence de réseau d'évacuation d'eau et des constructions peu solides, ceci explique la très faible résilience physique (Impact négatif) de cette partie de la préfecture de M'diq-Fnideq.

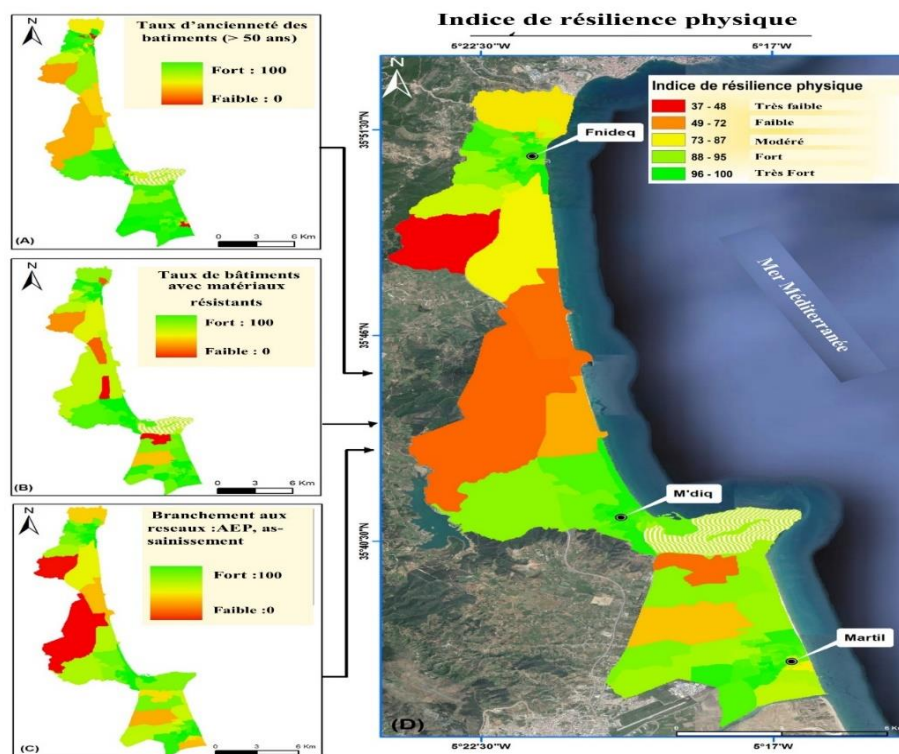


Figure 51: Indice de la résilience physique du territoire des communes urbaines de la préfecture M'Diq et Fnideq. **A** : Sous –indice du taux d'expansion des bâtiments anciens (+50 ans), **B** : Sous-indice du taux de bâtiments construits avec des matériaux en béton et briques avec mortier, et **C** : Sous-indice du taux du branchement aux réseaux de l'eau potable et d'assainissement.

Certes, tous les constructeurs savent depuis fort longtemps que l'eau -sous toutes ses formes - est l'ennemie numéro un du bâtiment. Ainsi, des constructions bien conçues, bien réalisées et

bien entretenues ne devraient pas subir de dommages consécutifs à une agression par l'eau lors des inondations. Alors qu'un tissu urbain ancien constituerait un facteur de vulnérabilité aux inondations. En outre, dans certaines zones du territoire étudié, des habitations hétérogènes sont présentes avec tantôt des maisons en bon état, tantôt des habitations avec des matériaux locaux ; cependant une précarité de celles-ci y amplifierait l'impact des inondations en raison de l'effet domino : L'inondation d'un site peut en effet créer une succession d'endommagements et de désagréments sur des bâtiments situés à proximité.

La résilience de l'infrastructure est une partie essentielle de la résilience urbaine (Collier et al 2013), elle est associée à la capacité de sa composante « dure » de ce fait, des infrastructures et un bâti bien conçu devraient supporter les perturbations majeures et être capable de surmonter la crise relative aux inondations- entre autres catastrophes naturelles.

II.3 Indice de Résilience sociale

Les inondations ont des conséquences directes sur les bâtiments et les occupants par évidence, mais aussi d'autres effets indirects interviennent, notamment ceux marqués par des perturbations de la vie sociale et économique. Ainsi, l'indice de résilience sociale a été évaluée dans notre étude sur la base de trois sous –indices (Tab.11), notamment, la densité des ménages, le taux d'analphabétisme, et la vulnérabilité de certaines personnes dont l'évacuation peut être difficile, en raison soit de leurs difficultés de mobilité et/ ou de leur état de santé. Le manque d'autonomie de ces personnes les rend plus vulnérables et justifie donc l'identification de cette variable dans l'évaluation de la résilience sociale.

Tableau 11: Sous indices choisis et évalués pour caractériser la résilience sociale des communes M'Diq, Fnideq et Martil.

Dimension	Sous indices	Description
Sociale	Densité des Ménages	Cette variable indique le nombre de ménages par unité de surface, et reflète également la densité de la population sur un territoire donné, susceptible d'être impactée par les inondations.
	Taux d'analphabétisme	Ce sous-indice caractérise le pourcentage de personnes analphabètes ; celles-ci pourraient rendre difficiles les processus d'urgence d'évacuation en cas d'inondations ou de sensibilisation du public aux risques d'inondations.
	Vulnérabilité du public	Il s'agit de toutes les personnes (de 0-14 ans, au-delà de 60 ans et à mobilité réduite) susceptible de rendre les opérations d'évacuation délicates et opération difficile (Qasim et al., 2016).

La représentation graphique du sous-indice de la densité des ménages est quasiment élevée sur la totalité du territoire étudié (Fig 52.A) et plus faible aux centres des communes. La préfecture de M'diq-Fnideq ressort comme la plus urbanisée au niveau régional et elle y est une des plus dynamiques au plan démographique selon le Centre d'Etudes et de Recherches Démographiques (CERED). D'ailleurs, ce dernier prévoit un accroissement du nombre de ménages d'ici 2030 dans cette préfecture, qui s'accompagnerait d'un changement dans la structure des ménages, selon l'âge et le sexe.

L'éducation formelle est une des clés de la résilience sociale : Au niveau de cette préfecture, l'extension du taux de l'analphabétisme montre une disparité régionale avec un taux plus élevé d'analphabètes dans les zones périurbaines (Fig52 B). Il en est de même pour la présence actuellement des personnes vulnérables. Cette variable évolue dans le temps et dans l'espace et reste un indicateur évolutif qui impacterait fortement la résilience sociale dans la quasi-totalité du territoire analysé.

Basée sur les trois sous indices, la carte globale de l'indice de résilience sociale sur ce territoire reste généralement faible à très faible dans la quasi globalité de la préfecture. Les zones à résilience sociale assez significative sont peu étendues et se poncturaient au cœur des trois villes (Fig 52).

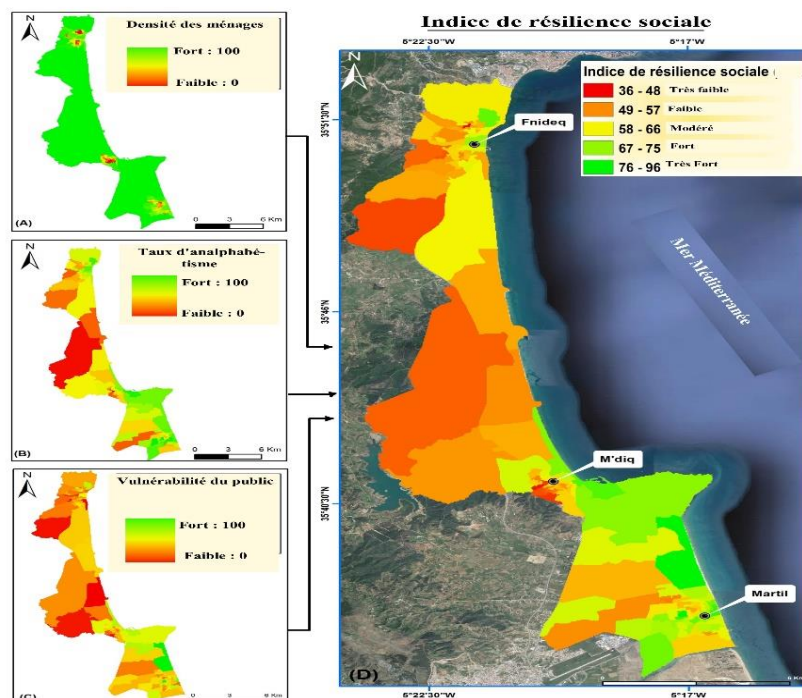


Figure 52: Indice de la résilience sociale du territoire des communes urbaines de la préfecture M'Diq et Fnideq. **A** : Sous –indice de la densité des ménages ; **B** : Sous-indice du taux d'analphabétisme, et **C** : Sous-indice du taux de personnes vulnérables lors des inondations

La résilience sociale de la préfecture de Mdiq- Fnideq est fortement corrélée à la capacité ou non de sa communauté humaine à faire face aux inondations, en montrant d’abord un intérêt de la part de la population résidente en matière de risques et aussi un pouvoir à faire mieux ou différemment.

II.4 Indice de Résilience économique

La résilience économique fait référence à la manière comment l’économie d’une région réagit positivement aux chocs, sa capacité à se rétablir/se réadapter à des changements de la nature de chocs externes dans une période plus courte, moins dommageable pour les valeurs économiques (PIB, emploi) et avant la manifestation de phénomènes négatifs. Elle correspond aussi à l'utilisation efficace des ressources restantes à un moment donné. Dans notre étude trois sous indices les plus pertinents ont été utilisés dans l’évaluation de l’indice de résilience économique sur le territoire des trois communes urbaines (Tab.12).

Tableau 12: Sous indices choisis et évalués pour caractériser la résilience économique des communes M’Diq, Fnideq et Martil.

Dimension	Sous indices	Description
Economique	Taux de chômage	Cette variable exprime la diminution de la capacité économique individuelle. Les chômeurs sont confrontés à des difficultés financières pour récupérer ou reconstruire leurs biens endommagés (Sherrieb et al., 2010). la capacité de résistance et de rebond en termes d’emplois ou de revenus est un indicateur clé de la résilience des territoires.
	Bâtiments à vocation économique	Ce sous-indice reflète la concentration des bâtiments et locaux dédiés aux activités économiques. Il est susceptible d’impacter la résilience économique si ces enjeux maintiennent leurs capacités productives pour la durabilité de l’action locale en matière d’économie.
	Moyens de télécommunication	C'est le taux de personnes disposant de moyens de télécommunication pour assurer la diffusion de l’information pendant et après la catastrophe. Cette variable a un fort impact dans la gestion des risques et renforcerait la résilience face aux inondations.

Les dégâts causés par les inondations ont un coût et un impact social énormes sur les communautés de la région. Les scores des sous indices cartographiés montrent que le taux de chômage est assez conséquent dans les zones périurbaines et risque d’impacter négativement la

résilience (Fig53 A). La concentration des locaux à activités économiques sont focalisés particulièrement dans les noyaux urbains (Fig 53 B), ceci pourrait impacter négativement la résilience économique lors des inondations, alors que l'extension est moindre en périphérie. Quant aux moyens de télécommunication, la disparité régionale influencerait négativement la résilience en cas de catastrophe. D'ailleurs, la figure 55.C montre que la commune de Martil semble bien servie et faciliterait la communication des nouvelles ou des informations lors d'une catastrophe due à l'inondation, favorisant alors une résilience dynamique, par contre dans les communes de Fnideq et Martil, l'extension est encore insuffisante (Fig 53 C).

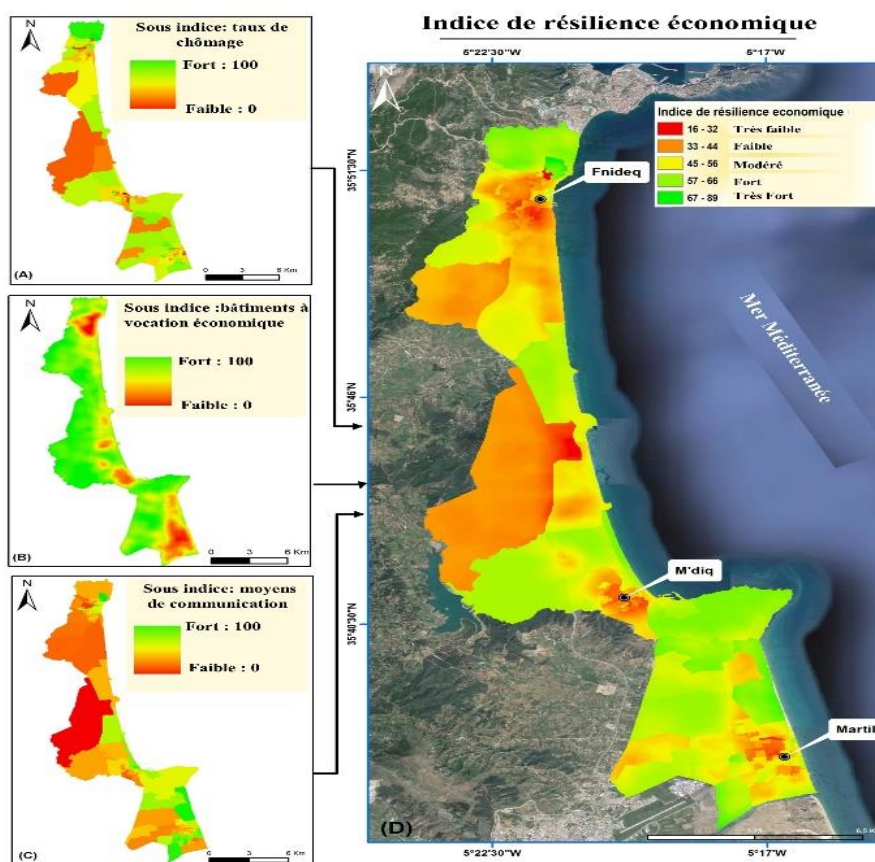


Figure 53: Indice de la résilience économique du territoire des communes urbaines de la préfecture M'Diq et Fnideq. A : Sous –indice du Taux de chômage, B : Sous-indice du taux des bâtiments vocation économique et C : Sous-indice du taux de personnes vulnérables lors des inondations

Le score global de l'indice de résilience économique montre une plus grande variabilité spatiale tels les indices sociaux et physiques (Fig.53D). Elle serait globalement faible à très faible sur l'ensemble du territoire de la préfecture de Mdiq et Fnideq. Elle est nettement influencée par le chômage et par l'impact sur la résilience que peut avoir le peu de locaux à vocation « activités

économiques » lors d'un évènement hydrologique extrême. La préfecture possède une dépendance vis-à-vis du secteur du tourisme et du commerce ce qui peut conduire à une fragilisation de l'économie territoriale tel le cas de la période de la pandémie COVID 19, car autres la pêche et l'agriculture, les communes étudiées manquent d'activités industrielles diversifiées et sont moins capables d'attirer de nouveaux emplois tirant avantage de nouveaux secteurs économiques porteurs. Les inondations pourraient induire à une instabilité de la production agricole et celle des exportations de biens et de services. La résilience économique de la préfecture Mdiq –Fnideq serait alors impuissante devant l'impossibilité de maintenir un continuum d'activités en absorbant les ruptures ou les remous lors des inondations catastrophiques.

II.5 Variabilité spatiale de l'indice de résilience face aux inondations urbaines dans la préfecture de M'diq –Fnideq.

Après avoir intégré les différents sous indices, un indice agrégé de la résilience aux inondations a été cartographié dans le but d'observer spatialement la distribution de la résilience aux inondations à travers de l'aire d'étude. La valeur de l'indice résilience est évaluée par un scoring de 80.50 à 30.50 avec, respectivement, un système du plus résilient aux inondations vers le moins résilient.

La carte montre une disparité spatiale de l'indice de résilience aux inondations dans la préfecture de Mdiq –Fnideq (Fig.54) : 37% (45 km²) de la zone étudiée présenterait une résilience aux inondations faible à très faible ; 43% de la superficie de ce territoire (soit 52 km²), a été classée comme modérément résiliente et seulement 20% de la zone étudiée (17 km²) a été classée comme résilientes. Ceci dit que les caractéristiques sociales, naturelles, physiques et économiques confèrent une résilience face aux inondations faible à modérée à ce territoire.

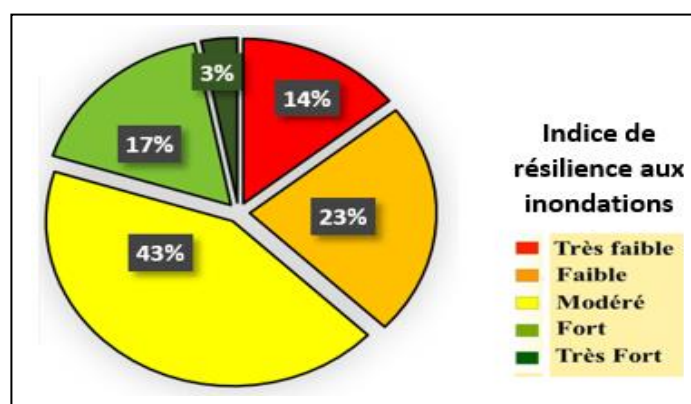


Figure 54: Répartition de l'indice de résilience aux inondations par surface du territoire urbain de la préfecture de M'diq-Fnideq

La construction d'indice de résilience aux inondations est utilisée pour examiner la variabilité spatiale et aider le contrôle ou le suivi des progrès accomplis à l'échelle du territoire. Il ressort de cette analyse que la partie médiane du territoire concentre les zones les moins résilientes sur la base des données actuelles. La faible résilience semble être davantage concentrée dans la partie périurbaine alors que les centres urbains proprement dits, montrent une résilience modérée à faiblement élevée face aux inondations, avec des secteurs éparpillés dans les tissus fortement urbanisés (Fig 5). Les zones paraissant plus résilientes aux inondations seraient celles non traversées par un écoulement d'un oued et dont les résiliences physique, sociale et économique, les impactent positivement pour un redressement et un rebond dans le cas d'une catastrophe Hydro-météorologique. C'est le cas du cap de Koudiat Taifor (Cabo Negro) et la lisière littorale de Martil au nord du bras mort de l'oued Martil et celle de M'diq jusqu'au port de Kabila (Fig.55).

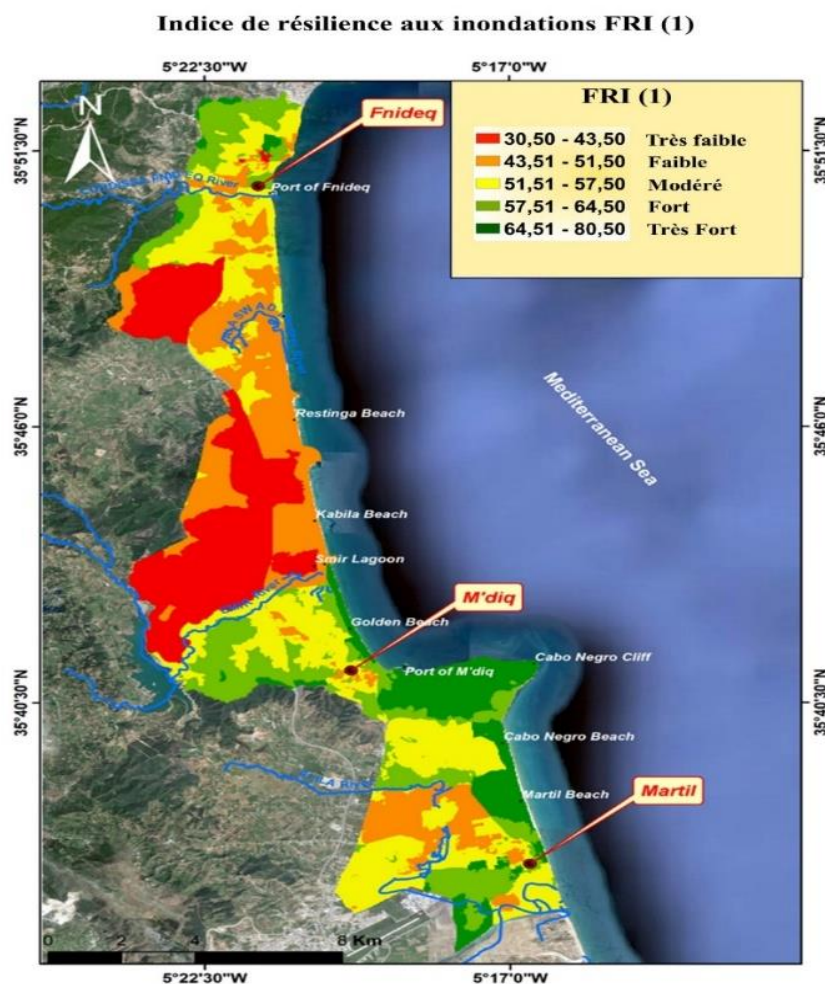


Figure 55: Illustration cartographique de l'indice de résilience aux inondations FRI (1) du territoire urbain de la préfecture Mdiq-Fnideq

Une superposition de la carte de résilience aux inondations avec celle de la distribution spatiale des ménages extraite des données du RGPH (2014) révèle qu'à peu près 1150 ménages (soit 2,4%) et 7800 ménages (soit 16%) se trouveraient, respectivement, dans des zones de très faible à faible résilience aux inondations. Approximativement 7400 ménages (15,2%) se trouveraient sur des zones légèrement plus résilientes et 180 ménages (0,4%) pourraient être qualifiés sur des terres urbaines beaucoup plus résilientes voire loin d'être touchées par des inondations (Fig.56).

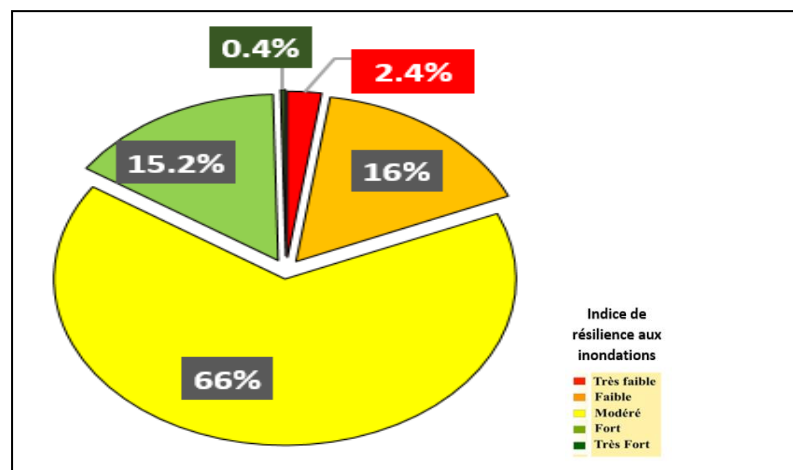


Figure 56: Pourcentage des ménages par zones selon le degré relatif de résilience aux inondations du territoire de la préfecture Mdiq –Fnideq.

Dans l'ensemble du territoire, la résilience aux inondations serait dominée par une capacité modérée à faible (84,4%), d'où la nécessité de renforcer les indicateurs à impact positif pour un rebond plus efficace en cas d'inondations récurrentes.

Dans l'étape suivante, une corrélation de Spearman ou rho de Spearman entre l'indice total de résilience aux inondations FRI (1) et celui de chaque dimension analysée, a été effectuée (Tab.13) afin de dégager la dimension à fort impact sur la résilience aux inondations sur ce territoire.

Tableau 13: Corrélation de Spearman ou rho de Spearman entre l'indice total de résilience aux inondations (FRI) et les sous indices des dimensions : Naturelle (IRN), Physique (IRP) ; Sociale (IRS) et Economique (IRE). * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

Sous indices		IRN	IRP	IRS	IRE
Indice	Fnideq	0.650***	0.378*	0.643***	0.441**
	M'diq	0.544**	-	0.800***	0.425**
	Martil	0.470**	0.589***	0.764***	0.408*

Les résultats obtenus montrent que :

- (i) le sous-indice de la résilience naturelle a une corrélation élevée au niveau de Fnideq et modérée au niveau de Martil et M'diq avec FRI (1), révélant ainsi le rôle que peut jouer la géomorphologie et la dimension naturelle dans la résilience des trois communes urbaines face aux inondations.
- (ii) La corrélation de l'indicateur physique (Infrastructure) considéré dans cette étude par la résistance et état du bâti ainsi que le branchement à l'AEP et au réseau d'assainissement avec FRI est élevée dans la commune de Martil ($p < 0,001$), faible au niveau de Fnideq ($p < 0,01$) et nettement plus faible dans la commune de M'diq.
- (iii) le volet social à son tour, jouerait un important rôle dans la résilience aux inondations dans les trois centres urbains ($p < 0,001$) ; facteur clés pour une résilience réussie
- (iiii) le sous-indice de la résilience économique semble aussi impacter de façon modérée la résilience aux inondations des trois communes Fnideq, M'diq et Martil.

III. Résilience : Moteur du changement du territoire de Mdiq-Fnideq

Les 12 sous indices construits dans cette étude ont permis d'acquérir des informations sur les dimensions de contrôle (économique, politique-non traitée ici) et les dimensions de contingence qui influencent la résilience (sociale, naturelle et physique). Les données disponibles à cette date, et utilisées dans cette étude, constituent la principale source de jugement pour la prise de décision en matière de gestion de risques d'inondation sur ce territoire. Toutes les composantes significatives de l'analyse de résilience ont été considérées et la carte obtenue a permis de classer le territoire de la préfecture de M'diq-Fnideq selon cinq degrés de résilience aux inondations, relatifs aux zones qui pourraient montrer une plus forte, forte, modérément forte, faible et à très faible résilience face aux inondations. Toutefois, ce concept ne constitue pas un but ni un état fixe, mais un objectif en constante évolution, vers lequel chaque territoire ne peut que tendre. D'ailleurs une mutation de ces zones est évidente avec la dynamique actuelle que connaît la préfecture de M'diq-Fnideq et la résilience en dépend.

La disparité de l'Indice Multidimensionnel de Résilience FRI (1) face aux inondations sur le territoire de la préfecture de Mdiq-Fnideq est corollaire à *la défaillance des infrastructures* notées dans de nombreuses zones (Photo 9), révélées comme les moins résilientes dans les communes. Les infrastructures et les réseaux sont vitaux dans le

fonctionnement des territoires, tantôt ils peuvent être des agents de propagation et d'amplification de la crise, tantôt, des éléments clés dont le rétablissement est incontournable pour le fonctionnement du territoire. En effet la récurrence des inondations y est principalement due à la vétusté des infrastructures d'assainissement des villes de Martil et Fnideq.

Pour M'diq, bien que cette commune fût en 2013 dotée d'une galerie souterraine de 600m qui devait protéger la ville contre l'inondation, les dégâts dus aux événements hydrométéorologiques ultérieurs n'ont pas été évités. En effet, les canaux de drainage dans certaines zones de ce territoire semblent ne pas pouvoir absorber les eaux des crues, les rues sont alors rapidement inondées. La défaillance des infrastructures signifie un service qui n'est plus rendu (Photo.9), d'où la nécessité de mettre en place des politiques de gestion des risques plus durables.



Photo 9 : a -"M'diq sous les eaux: Petites infrastructures et gros dégâts" (Sources : Liberation, 30 Aout 2013 https://www.libe.ma/M-diq-sous-les-eaux_a41621.html, **b**-Fortes pluies et inondations à Fnideq (Source : <https://www.bladi.info/threads/fortes-pluies-inondations-fnideq.387164/> et **C** : Défaillance du réseau d'assainissement à Martil (Source : https://www.slideshare.net/ayoublahlouh/la-planification-stratgique-de-la-commune-urbaine-martil)).

De même, certains quartiers clandestins sous équipés se forment le long de l'Oued Martil, sur la plaine dont l'altitude est parfois inférieure à celle de l'Oued. Cet espace est sujet à des inondations fréquentes qui menacent les populations, leurs biens ainsi que toutes, les infrastructures publiques, de même elles perturbent aussi un certain nombre d'activités suite à *l'effet domino*. Dans une perspective de crues récurrentes et incontrôlées, la poursuite de

l'étalement urbain inapproprié sur des territoires vulnérables est une menace réelle pour la résilience face aux inondations dans ces communes.

En outre, un autre maillon faible de la résilience aux inondations apparaît sur ce territoire est la présence de nombreuses *personnes à situation précaire* (Photo 10) fortement exploitées dans la contrebande (cas des transporteurs), particulièrement des femmes et des jeunes. En conséquence à cela, ces derniers mois, l'état a prévu via des programmes, une mise en place des dispositifs de création d'emplois, d'amélioration de l'employabilité ainsi que la création d'une vaste zone d'activités économiques dans la commune de Fnideq, en vue de créer des opportunités d'emploi et d'améliorer les conditions économiques et sociales de la population, en particulier des femmes et des jeunes de la région.



Photo 10 : Economie informelle dans la préfecture de M'diq et Fnideq : Porteuses de marchandises et marché des précarisations (<https://m.le360.ma>)

Dans toutes les approches de la résilience, les habitants apparaissent comme un facteur clé dans la gestion de l'urgence et le retour à la normale. De ce fait, le renforcement de la résilience aux inondations devrait passer par l'élaboration d'une stratégie de résilience territoriale au niveau de la préfecture de Mdiq- Fnideq. Elle ne peut se faire qu'avec les habitants pour rendre acceptable toute situation dégradée. La capacité d'adaptation et d'auto-organisation des habitants est une condition nécessaire afin d'assurer la pérennité d'une société et sa résilience face à une perturbation (Daluzeau et al , 2013).

L'opérationnalisation de la résilience reste un défi corollaire à la normativité et un but stimulant pour penser au développement durable des villes, en premier lieu celles exposées au risque d'inondation. Toute approche pour une résilience territoriale est une mise en mouvement du territoire, une recherche perpétuelle « d'équilibre dynamique » entre des caractéristiques paradoxales et des processus souvent contraires. En effet, ce concept incite des limites d'une

logique normative des règles de construction et de prévention des risques naturels (Daluzeau et al , 2013).

IV. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons développé une méthode simple pour une évaluation de l'indice de résilience aux inondations FRI (1) des communes urbaines de la préfecture de Mdiq-Fnideq. Quatre dimensions (Naturelle, Physique relative aux infrastructures, Sociale et Economique) les plus pertinentes d'un territoire ont été utilisées dans cette approche *Top-down*. Douze indicateurs à signification et représentativité particulières dans ces trois villes ont été intégrés, premièrement, dans le calcul des sous indices composites de résilience de chaque dimension ensuite dans l'évaluation de l'indice multidimensionnel de résilience face au risque d'inondation du territoire des communes urbaines de la préfecture Mdiq-Fnideq. Les résultats illustrés graphiquement ont mis :

- (i) en exergue la disparité spatiale du degré de résilience face aux inondations due à des inégalités territoriales (sociale, physique et économique) et à la nature des enjeux à préserver en cas d'évènements hydrométéorologiques ;
- (ii) des indicateurs qui impactent la pertinence de la résilience sur ce territoire. Les résultats ont permis aussi de dresser un portrait de la résilience du système complexe des communes urbaines de la préfecture de M'diq-Fnideq afin d'identifier les pistes d'amélioration. En effet, dans un contexte naturel dominant, un territoire en cours de transformation, des événements météorologiques imprévisibles et des risques d'inondations récurrents, la résilience sociale y est prônée et celle des infrastructures devrait être posée comme un impératif au niveau des communes urbaines de la préfecture de M'diq-Fnideq.

Il n'est pas facile de rendre opérationnelle la résilience aux inondations mais l'adoption de nombreuses approches, comme celles proposées dans le chapitre suivant, permettraient de mieux intégrer le concept dans la politique de gestion des inondations.

CHAPITRE 3 : ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES ET MACHINE LEARNING POUR UNE EVALUATION DE L'INDICE DE RESILIENCE AUX INONDATIONS

I. Introduction

Dans ce chapitre, deux autres approches sont utilisées pour l'évaluation de l'indice de résilience aux inondations dans les trois communes urbaines, notamment, l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et le « machine Learning » ou Apprentissage automatique. Sur ce territoire, 126 Secteurs ont été différenciés avec chacun un code national « CNSC » et seules trois dimensions (Physique, Sociale et Economique) ont été intégrées dans l'analyse présentée dans ce chapitre.

Deux indices composites FRI (2) et le FRI (3) ont été évalués pour mesurer la résilience aux inondations en faisant appel à l'application d'un système de pondération. Elle est très souvent adoptée pour sa facilité de mise en œuvre et sa compatibilité avec les données recueillies dans les enquêtes et les bases de données (Vyas et Kumaranayake, 2006).

Dans le présent chapitre, nous proposons d'utiliser les techniques de pondération selon deux méthodes : (i) l'Analyse en Composantes Principales (**ACP**) et (ii) la Carte Auto-Organisatrice Classique (*Self organizing Map*.-SOM), dont les résultats sont présentés, dans une première étape ensuite à la fin de ce chapitre, une comparaison entre les méthodes utilisées est discutée.

II. Construction des indices composites FRI (2)

La démarche méthodologique adoptée dans cette analyse est encore une fois l'approche *top-down*. Le détail des 21 variables des dimensions interconnectées utilisées et la procédure d'analyse suivie dans ce travail sont détaillées dans le chapitre 2 partie II (Méthodologie).

II.1 Analyse en Composantes Principales (ACP)

Dans le but de réduire le nombre de variables et de rendre l'information moins redondante une analyse en composante principale (ACP) est réalisée. C'est une analysée statistique qui a été popularisée dans le domaine d'évaluation de la vulnérabilité par Cutter, Boruff et Shirley ,2003) ensuite utilisée par plusieurs autres chercheurs dans différents contextes et à plusieurs échelles. Nous avons choisi donc cette méthode en raison de sa pertinence pour la compréhension et la simplification des systèmes sociaux complexes, tel le cas de notre zone d'étude.

En outre, pour faciliter l'interprétation des composantes, nous avons intégré dans l'analyse la mise en œuvre de **la rotation Varimax** ; celle-ci est utilisée pour le calcul de la décomposition

en valeur propre d'une matrice de covariance de données. Le calcul des vecteurs de pondération de ces composantes principales implique alors le calcul du vecteur propre correspondant et le résultat des scores de l'indice montrent que les valeurs obtenues peuvent être négatives ou positives. Enfin, la normalisation à l'aide du min-max est utilisée pour normaliser les scores de l'indice évalué.

L'Analyse a révélé six composantes principales qui sont retenues pour cette étude expliquant alors 75% de la variance totale. Pour la transformation linéaire des variables initiales en composantes les charges factorielles, déterminées sur le Tableau 14. En fait chaque charge factorielle tournée peut être utilisée pour analyser la signification des composantes et spécifier les variables.

Tableau 14: Extraction des composantes principales constructives du FRI (2).

Composantes	Extraction de la somme des carrés			Rotations de la somme des carrés		
	Total Valeur propre	% of variance	Cumulative %	Total Valeur propre	% of variance	Cumulative %
1	5.903	28.111	28.111	4.663	22.206	22.206
2	3.598	17.132	45.243	3.366	16.030	38.236
3	2.533	12.061	57.304	3.149	14.995	53.231
4	1.628	7.753	65.057	2.220	10.571	63.802
5	1.148	5.468	70.526	1.298	6.183	69.985
6	1.052	5.011	75.536	1.166	5.551	75.536
Kaiser-Meyer-Olin : Mesure de l'adéquation de l'échantillonnage						0.795
Le test de la sphéricité de Bartlett		$\chi^2 = 1819.319$	d.l.l = 210	$p < 0.0001$		

La variance expliquant chacune de ces six composantes est respectivement de 28 % ; 11 % ; 17% ; 13% ; 12,06% ; 7,75% ; 5,46% et 5,05% (Fig.57) ; néanmoins, seules quatre composantes principales sont retenues ; elles correspondent à 75% de la variation totale des données. Les variables utilisées dans l'ACP contribuent fortement à la construction des première et deuxième composantes et légèrement aux composantes 3 et 4 (Tab.15) : Les variables relatives à l'analphabétisme et la scolarisation des enfants, aux matériaux de revêtement du sol, à l'électricité et aux moyens de télécommunication (télévision, téléphone mobile et internet) ont obtenu un score élevé pour la première composante (Tab.15.). En raison de la prédominance des variables relatives aux services publics dans la composante 1, celle-ci a été classée comme une composante de résilience économique.

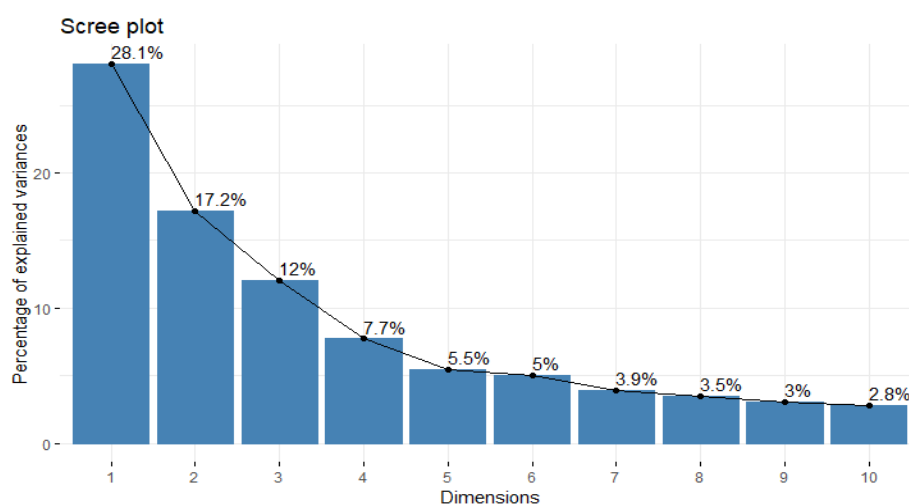


Figure 57: Scree plot du pourcentage des six composantes principales

Tableau 15: Matrice des composantes principales de l'ACP

	Composantes					
	1	2	3	4	5	6
L'analphabétisme	-.825					
Age scolaire 7-12 ans	.567					
Matériau de revêtement du sol	-.792					
Taux de branchement à l'électricité	.603					
Moyen de com : Télévision	.826					
Moyen de com : Téléphone mobile	.733					
Moyen de com : Internet	.794					
Matériaux de construction de murs : briques avec mortier / pierres agglomérées avec du mortier		0.90				
Matériaux de revêtement des sols : carrelage et ciment		-0.88				
Matériaux de construction des toitures : Ciment		0.86				
Population âgée moins de 14 ans			-0.65			
Personnes âgées			0.74			
Personnes à besoins spéciaux/ mobilité réduite			0.62			
Taux de chômage			0.66			
Âge du logement <10ans			-0.82			
Âge du logement >50ans			0.63			
Propriétaire / propriétaire de la maison				-0.91		
Locataire				0.84		
Branchement à l'AEP/ réseau d'assainissement				0.46		
Taux de ménage					0.878	
Elevation						0.861

Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales

Méthode de rotation : Varimax avec normalisation Kaiser

a. Convergence de la rotation en 9 itérations

Pour la première composante, les variables ayant obtenu un score élevé sont : l'analphabétisme, l'âge scolaire entre 7-12 ans, les matériaux de revêtement de sol, le taux de branchement à l'électricité et les moyens de télécommunication (télévision, téléphone mobile et internet). Vue la prédominance des variables relatives aux services publics, cette première composante 1 a été classée comme étant relative à la résilience économique.

La 2^{ème} composante explique la résilience physique ; elle inclue trois variables qui sont : les matériaux de construction des murs (béton armé, briques avec mortier et pierres agglomérées avec mortier), les matériaux de revêtement des sols et ceux de construction des toitures. Ensuite, la troisième composante est constituée des variables : (i) corrélées positivement, notamment, la population âgée (plus 60 ans), les personnes avec un besoin particulier et ou une mobilité réduite et les enfants âgés de moins de 14 ans ; et (ii) celles avec une corrélation négative élevée ; ces variables sont relatives aux maisons de moins de 10 ans, et des enfants de moins de 14 ans. Sur la base de toutes ces variables, la composante 3 est classée celle de la résilience sociale.

La quatrième composante deux variables représentant la propriété des lieux (maisons), et le branchement à l'AEP et au réseau d'assainissement. Quant aux deux variables relatives à la densité des ménages et à l'altitude, elles s'accordent respectivement, au niveau des composantes 5 et 6.

II.2 Analyse spatiale des scores de l'Indice FRI (2)

L'indice composite de résilience aux inondations FRI (2) a été élaboré à partir des composantes principales de l'ACP, suivant la procédure détaillée dans le chapitre 2 partie II (Méthodologie). La distribution spatiale des scores de l'indice FRI (2) est cartographiée à l'aide des systèmes d'Information Géographiques (Fig.58).

La valeur de l'indice de résilience FRI (2) est évaluée par un scoring de 0,59 à 0,33 avec, respectivement, un système du plus résilient aux inondations vers le moins résilient. Il ressort de cette analyse que quelques secteurs des centres urbains des trois communes concentrent une résilience forte aux inondations. La résilience modérée à faible semble correspondre à quelques zones périurbaines. Quant à la très faible résilience, elle est davantage plus étalée dans la partie médiane du territoire étudié, notamment, au niveau de la lagune de Smir, la région de l'oued Negron (Aswad) et dans les périphéries des centres urbains. En effet, au centre de la commune de Fnideq, une résilience très faible correspond aux zones relatives à certains quartiers, particulièrement, au niveau des quartiers Ras louta, Aghttass et Sidi Boughaba, au niveau des berges de l'oued Fnideq spécialement où sont localisés la gare routière et le projet Almassira, et de même au nord vers Bab Sebta (Fig. 58).

Au niveau de la commune de Martil, les localités à résilience très faible sont nettement visibles et correspondent, particulièrement, aux quartiers, Diza, Dwirat, du lotissement Oum keltoum et de la plage de Cabo Negro (Fig.58). Quant à la commune de Mdiq, elle montre un territoire globalement plus résilient avec cet indice que les autres centres urbains, de même pour le secteur territorial en amont de Martil, Le cap Koudiat Taifor montre quant à lui un indice faiblement résilient avec l'analyse ACP.

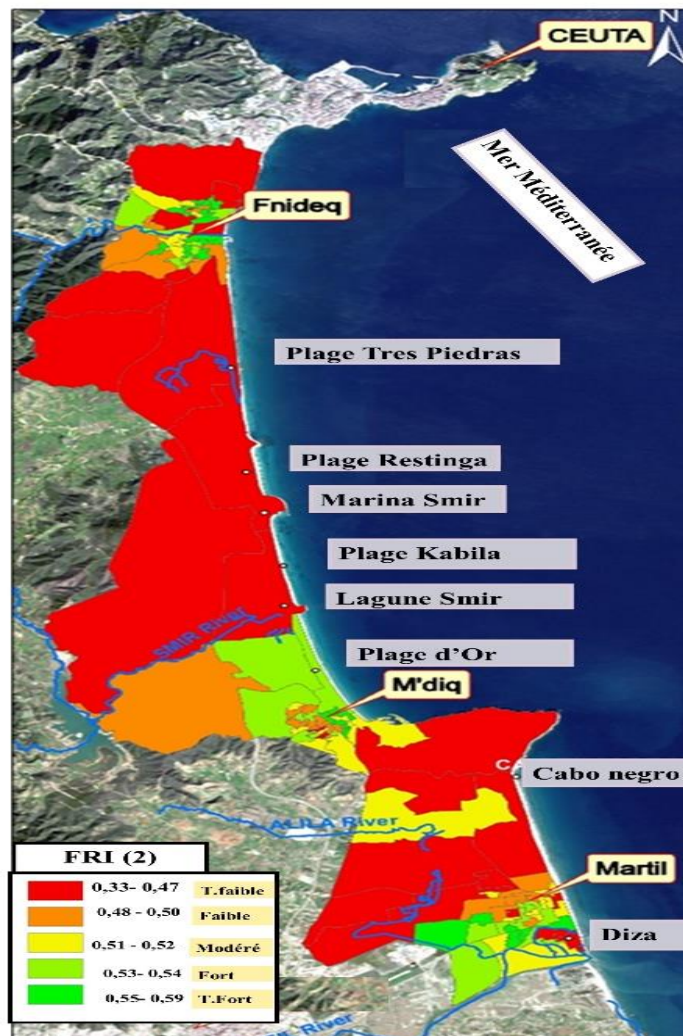


Figure 58: Distribution spatiale de l'Indice de résilience aux inondations FRI (2) évalué sur la base de l'ACP, sur le territoire urbain de la préfecture de Mdiq-Fnideq.

II.3 Résultat de la désagrégation de l'Indice FRI (2) sur ses composantes

L'objectif ultime de cette phase de désagrégation est d'extraire les paramètres déterminants de l'indice de résilience aux inondations calculé FRI (2). En réponse à la question « Quelle est la composante qui influe sur le niveau de résilience observé dans la distribution spatiale de l'indice

FRI (2). Une cartographie de l'indice FRI (2) désagrégé sur les quatre principales composantes de l'ACP (Fig.59) montre que la distribution spatiale de la résilience économique présente des scores plus élevés dans certaines localités des trois centres urbains. Les scores moyens relèvent des terres périurbaines. Les plus faibles sont au niveau de la partie médiane et des secteurs en cours de développement en activités économiques, aussi bien au Nord de Fnideq que Mdiq (Fig.59-1).

La distribution spatiale de la résilience physique (Fig.59-2) est représentée par des scores plus élevés au niveau des centres urbains. Les modérés sont relatifs aux secteurs périurbains. Tandis que les niveaux plus faibles de la résilience physique, caractérisent la partie médiane du territoire de la préfecture et aussi les zones d'habitations ; bien qu'elles fassent parties de l'urbain, elles ont gardé le caractère rural dans la partie Sud Est de Fnideq.

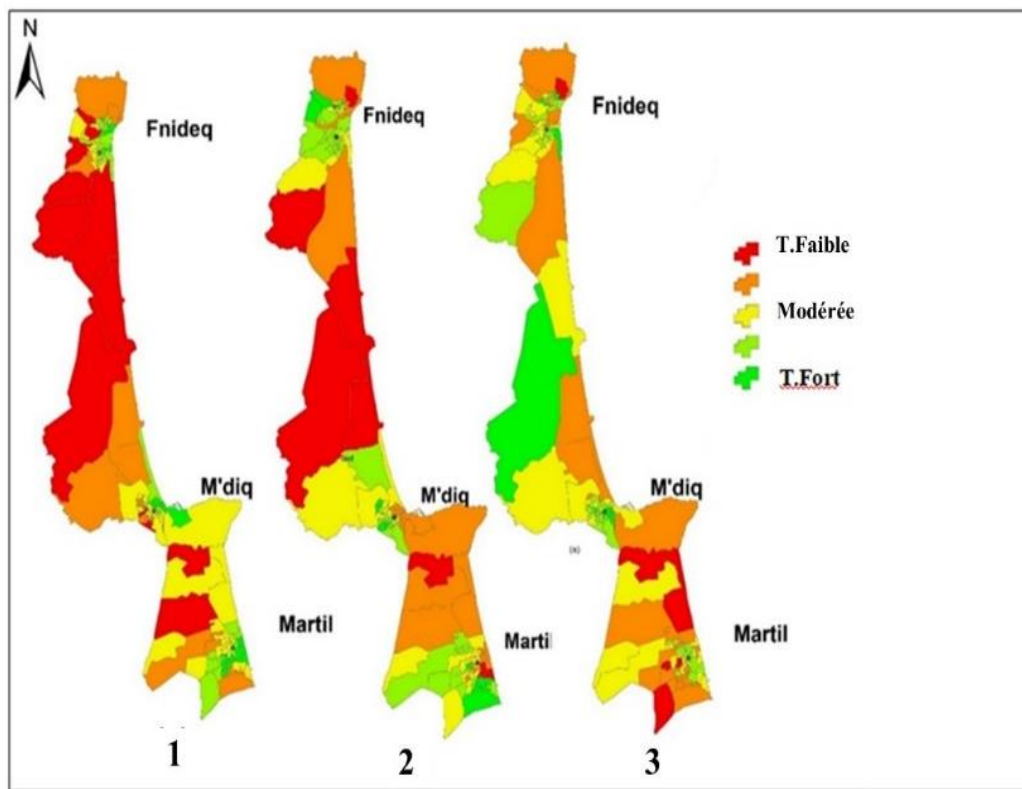


Figure 59: Distribution spatiale de l'Indice de Résilience aux Inondations FRI (2) désagrégé sur les composantes de l'ACP : Avec en (1) Résilience économique, (2) Résilience physique, (3) Résilience sociale

En termes de résilience sociale, (Fig. 59-3) un niveau généralement modéré à faible se concentre davantage sur tout le territoire urbain étudié. Le plus score a été enregistré en amont de la partie médiane.

III. Construction des indices composites FRI (3)

Les dimensions interconnectées utilisées et la procédure d'analyse suivie par le réseau de neurones artificiels (SOM) sont détaillées dans le chapitre 2 partie II (Méthodologie).

III.1 Réseau de Neurones Artificiels « SOM »

La carte auto-organisatrice (SOM) projette les résultats dans une forme de topologie hexagonale. Le SOM a regroupé les 21 variables utilisées pour cette évaluation d'indice, en quatre clusters. (Fig.60)

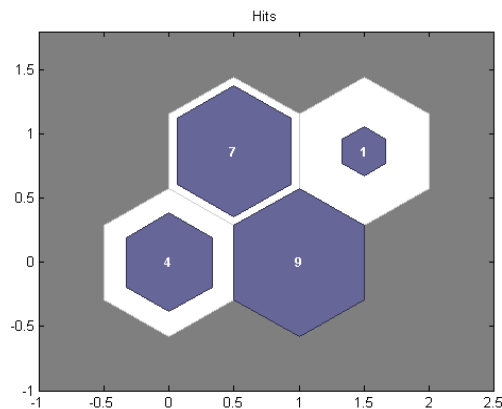


Figure 60: Catégorisation des clusters avec le nombre de variables correspondant utilisées dans l'étude.

Les variables relatives à l'analphabétisme, au taux de chômage, aux enfants de moins de 14 ans et aux matériaux de construction des toitures, se regroupent en un premier neurone sur la base de la prédominance des variables sociales. Ainsi, ce neurone est attribué au neurone de la résilience sociale.

Les variables ayant un score élevé du neurone 2 comprennent, le taux de la population âgée (plus de 60 ans), les personnes avec des besoins spéciaux ou à mobilité réduite, le taux de ménage, les matériaux de revêtement des sols, l'âge des maisons, le taux d'utilisateurs d'internet et l'altitude du terrain. De ce fait, ce neurone 2 correspond à la résilience physique du territoire.

Le troisième neurone contient la variable relative à l'âge de scolarisation des enfants (7 à 12 ans), aux matériaux de construction de murs, aux taux de branchement à l'électricité à l'eau, et finalement aux moyens de télécommunication disponibles. Sur la base de la prédominance des variables des services et bien publics, le neurone 3 a été classé comme étant un neurone de la

résilience économique. Quant au neurone 4, il ne contient qu'une seule variable de propriété qui est la location.

III.2 Analyse spatiale des scores de l'Indice FRI (3)

La distribution spatiale des scores de l'indice FRI (3) est cartographiée en utilisant toujours SIG (Fig 61). La valeur de l'indice de résilience FRI (2) est évaluée par un scoring de 0,59 à 0,33 avec, respectivement, un système du plus résilient face aux inondations vers le moins résilient. C'est le même scoring obtenu pour FRI (2).

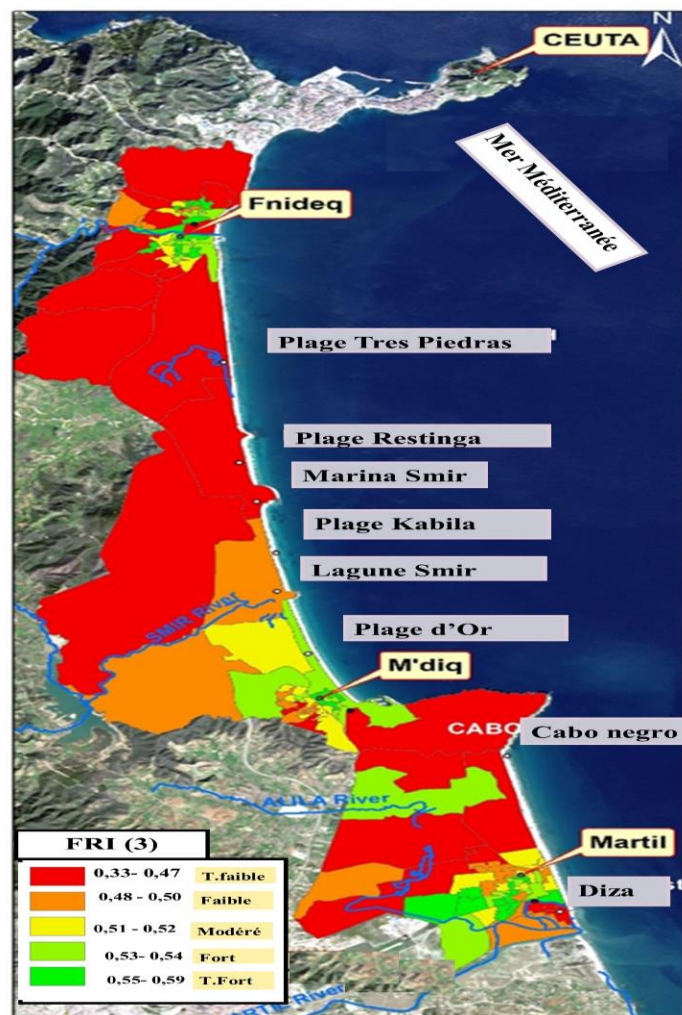


Figure 61: Distribution spatiale de l'Indice de résilience aux inondations FRI (3) évalué sur la base du réseau de neurone (SOM), sur le territoire urbain de la préfecture de Mdiq-Fnideq.

Au centre des trois communes, une disparité des niveaux de résilience aux inondations est notée avec des zones à résilience forte face à cet aléa et d'autres secteurs à résilience très faible, notamment celui du Diza, Driwat, du lotissement Oum keltoum à Martil. A Fnideq, ce sont les quartiers de Ras louta, Aghttass, Sidi boughaba, au niveau berges d'Oued Fnideq (Gare routière,

projet Almassira), chebbar, Merja, et au nord vers bab Sebta qui montreraient une résilience très faible face aux inondations. La partie médiane de ce territoire quant à elle, présenterait une résilience globalement faible, particulièrement, les zones périurbaines qui s'étalent de Bazaghlal au Nord de M'diq jusqu'aux quartiers périphériques de la ville de Fnideq (Fig.61).

III.3 Résultat de la désagrégation de l'Indice FRI (3) sur ses neurones

Le FRI (3) a été désagrégé en trois neurones : le premier relatif à la résilience sociale (Fig. 62-1), dont les scores élevés se concentrent majoritairement dans les zones périurbaines. Le centre de la commune de Martil est marqué par une disparité des zones allant des plus résilientes aux plus faibles ; cette dernière correspond encore une fois au quartier Diza. La résilience physique (Fig. 62-2) se montre élevée dans une grande partie de ce territoire, très faible dans quelques secteurs au niveau des centres urbains de Martil, M'diq et Fnideq. En ce qui concerne le neurone de la résilience économique, la résilience élevée se limite à quelques secteurs des centres urbains très ponctuels alors que l'étendu de d'un faible score d'une résilience économique lors des inondations s'avère importante et très marquée au Nord de Mdiq (Fig.62-3)

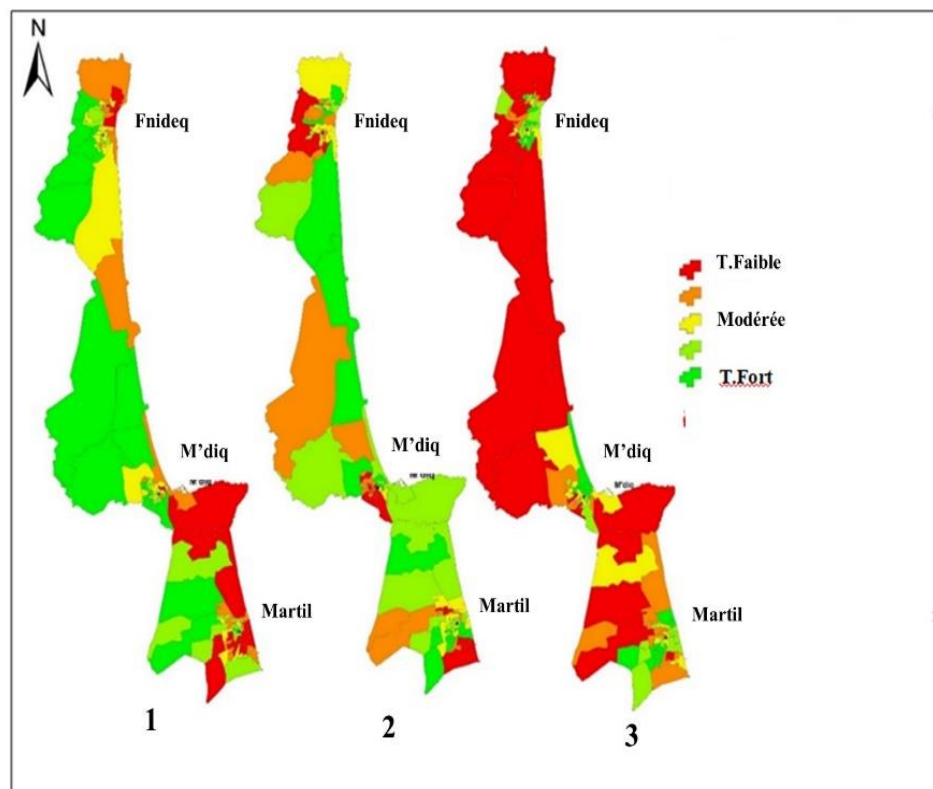


Figure 62:Distribution spatiale de l'Indice de Résilience aux Inondations FRI (3) désagrégé sur ses neurones : montrant (1) Résilience sociale, (2) Résilience physique, (3) Résilience économique.

IV. Comparaison des trois indices de FRI

Dans les deux chapitres 2 et 3 de la partie 3, nous avons réussi à élaborer trois méthodes d'évaluation de la résilience aux inondations en utilisant trois approches, *Top-down*, avec indicateur composite. Les indices de résilience aux inondations FRI (1), FRI (2), et FRI (3), calculé avec des moyens différents et des données parfois différentes ou similaires, ont un seul objectif principal qui est une proposition d'une stratégie de renforcement de la résilience territoriale aux inondations au niveau de trois communes urbaines choisies, celles de la préfecture M'diq Fnideq. Cependant, et pour un meilleur choix de l'indice à recommander afin d'atteindre l'objectif escompté, nous allons procéder à une comparaison entre les trois indices FRI (1), FRI (2) et FRI (3) selon, d'abord, un point de vue procédure d'analyse et ensuite selon un point de vue validation par comparaison avec la réalité du terrain.

V. Comparaison des Procédures d'analyse adoptées

La phase initiale dans l'élaboration de l'indice composite consiste à définir le cadre général de l'indice et son objectif ultime. Dans le cas de nos trois indices FRI(s), l'objectif était bien défini. Il s'agit de l'évaluation de la résilience territoriale aux inondations au niveau des communes de Fnideq, M'diq et Martil. Toutefois, cet objectif nous a fourni la base pour la sélection et la combinaison des variables explicatives de la résilience territoriales aux inondations (Tab.16)

Les variables sont sélectionnées pour refléter quatre dimensions de résilience aux inondations pour l'indice FRI (1) : les dimensions, naturelle, physique, économique et sociale ; et uniquement trois dimensions sont incluses dans l'élaboration du FRI (2) et FRI (3), à savoir, les dimensions physiques, économique et sociale. Cette exclusion de la dimension naturelle au calcul de FRI (2) et FRI (3) ne traduit pas une diminution du nombre de variables utilisées en allant de FRI (1) (avec 17 variables) vers FRI (2), FRI (3), avec 21 variables pour la construction des deux autres indices de résilience aux inondations.

De point de vue procédure méthodologique pour la construction des indices FRI(s), la moyenne des sous indices de résilience des dimensions utilisées, a été définie. Le premier indice évalué -FRI (1) - est élaboré par une méthode simple, claire et facile à adopter. Sauf que, l'inclusion de toute donnée redondante n'est pas signalée, en ajoutant que la procédure de l'élaboration de ses sous indices est moyennement lente. Plus le nombre de variables s'élève plus le risque de perturber la fiabilité du scoring des sous indices, apparaît, et celui de l'indice final augmente. La formule de l'indice FRI (1) ne permet pas de révéler ou traiter les interactions entre les variables. Néanmoins, la pondération égale facilite sa mise en œuvre et garanti une transparence

particulière de chaque sous-indice constituant l'Indice FRI (1) global. Ce qui va à la fois refléter la réalité tel qu'elle est sur le terrain et de là, ouvrir la porte aux subjectivités des recommandations proposées par et /ou pour un décideur.

Quant aux indices FRI (2) et FRI (3), ils sont développés par deux approches totalement différentes de FRI (1). Le FRI (2) est construit par l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et le FRI (3) développé, pour la première fois, dans cette étude par « machine Learning » ou réseau de neurones artificiels. La technique de pondération n'est plus égale dans ces deux cas, car la génération est automatique. Ce qui fait que le processus opératoire est moins lent par rapport au premier cas (FRI (1)). L'ACP demande alors une attention particulière aux corrélations entre les variables de chaque composante. Celles de FRI (2) et FRI (3) sont désagrégeables. Mais l'ACP appliquée à l'indice FRI (2) reste une méthode linéaire contrairement à la méthode SOM, destinée pour résoudre les problèmes non linéaires et réduire les données multidimensionnelles même en travaillant par un Big data ; par conséquent, obtenir des résultats plus précis.

La mise à jour de l'indice FRI (3) ne consommera pas beaucoup de temps, si le manipulateur maîtrise les fondamentaux de la méthode SOM. La visualisation des résultats est faisable pour tous les indices FRI (s). C'est la phase la plus simple d'ailleurs. Quant à la validation, le libre choix de la méthode optimale est à la portée de l'auteur qui évalue l'indice de résilience aux inondations. Dans notre recherche, nous avons choisi la technique de la validation croisée pour les trois indices FRI (1), FRI (2) et FRI (3) évalués.

VI. Comparaison des Résultats obtenus et la réalité du terrain

Les trois indices développés dans ce travail FRI (s), ont tous pour objectif d'évaluer le niveau de résilience aux inondations au niveau de trois communes urbaines de la préfecture M'diq Fnideq et décrire la capacité d'un territoire urbain à persévérer le maximum de ses fonctionnalités face à un événement perturbateur, le cas ici de l'aléa inondation, et à rebondir rapidement après la catastrophe. Aucun de ces indices utilisés ne se concentre sur une seule dimension, ou une seule fonction spécifique mais les plus importantes qui sont interconnectées.

Les indices FRI (2) et FRI (3), utilisent un système de pondération différent et leur représentation cartographique identifie une distribution similaire. Pourtant, malgré ces

Tableau 16: Comparaison entre les trois indices de résilience face aux inondations adoptées dans cette étude.

Indice Différences & similitudes	FRI (1)	FRI (2)	FRI (3)
Objectif	Evaluation de la résilience territoriale aux inondations aux communes urbaines Fnideq, M'diq et Martil.		
Dimensions du territoire prises en considération	Naturelle, Physique, Economique et Sociale	Physique, Economique et Sociale	
Nombre de variables sélectionnées	17 Variables	21 variables	
Structure mathématique	$FRI (1) = \frac{SRI + PRI + ERI + NRI}{4}$	$FRI (2) = \sum_{k=1}^{k=N} \alpha_j IRI_{ji}$ $\alpha_j = \frac{eigvalue_j}{\sum_{j=1}^{j=3} eigvalue_j}$	$FRI (3) = \sum_{k=1}^{k=N} \beta_j IRI_{ji}$ $\beta_j = \frac{\text{nombre totale des variables associées par neurone } j}{\text{nombre totale des variables}}$
Analyse multivariée & Pondération	Pondération égale (EW)	Analyse en Composantes Principales (ACP)	Réseaux de neurones artificiels (SOM)
Validation	Technique de la validation croisée		
Visualisation	Tableaux, Graphes et Cartes (SIG et analyse statistique)		
Résultats	Recommandations subjectives	Moyennement significatif	Plus significatif et précis
Méthodologie et limitations	• Simple, claire et facile à adopter • Négligence des interactions, et relations entre les variables • Redondance non signalée • Procédure lente	• Application simple • Composantes désagrégables. • Méthode linéaire	• Application plus sophistiquée • Composantes désagrégables. • Très efficace à la réduction des données multidimensionnelles • Méthode non linéaire, non supervisée. • Temps optimisé

Similitudes, les résultats de l'indice FRI (2) et FRI (3) ne sont pas aussi cohérents. Une analyse comparative est établie entre les méthodes proposées à l'aide de tests t sur des échantillons appariés pour l'égalité des moyennes. Le tableau 17 présente les résultats de ce test.

Il démontre qu'il existe une différence significative ($p\text{-value} = 0,0000 < 0,05$ et $t = 6,569$) entre deux mesures de FRI (2) et (3) calculées par les deux méthodes. Le test t justifie les principales différences mises en évidence sur les cartes en termes de résilience économique, physique et sociale (Fig.61)

Tableau 17: Tests t pour la comparaison globale entre FRI2-ACP et FRI 3 - SOM

FRI (2) – FRI (3) Comparaison	Différence par paires			t	d.f	$p\text{-value}$
	Moyen	Std. deviation	Std. error mean			
FRI (2) - FRI (3)	.01031	.0175	0.0016	6.569	124	.000

Par ailleurs, l'analyse des cartes de l'indice de résilience aux inondations FRI (3) indique que le quartier Diza, dans la commune de Martil présente d'une résilience très faible face aux inondations avec une attention particulière en termes de résilience physique et sociale. Par contre, l'indice FRI (2) attribue au même site une résilience aux inondations modérée. Le quartier Diza, est situé sur le bras mort d'Oued Martil, il est l'un des *Hotspots* (cités au chapitre 1 de ce chapitre) de zones à vulnérabilité physique et socioéconomique élevée, et de là, sa résilience face aux inondations reste difficilement opérationnelle. D'ailleurs, ce quartier rebondi difficilement après chaque événement hydro climatique intense et fait l'objet actuellement d'une interdiction de toute constructions (Fig.63).

Un autre exemple pour lequel l'indice FRI (1) montre une résilience aux inondations forte à très forte, c'est le cas de koudiat Taifour, une zone loin d'être inondable vue ses particularités géomorphologique et naturelle. Toutefois, les résultats semblent être différents pour les autres indices FRI (2) et FRI (3) qui présentent sa résilience comme plus faible, et cette contradiction de résultats est corrélée à la non intégration des variables de la dimension naturelle dans l'évaluation de l'indice de résilience face aux inondations de FRI (2) et (3) (Fig. 64).

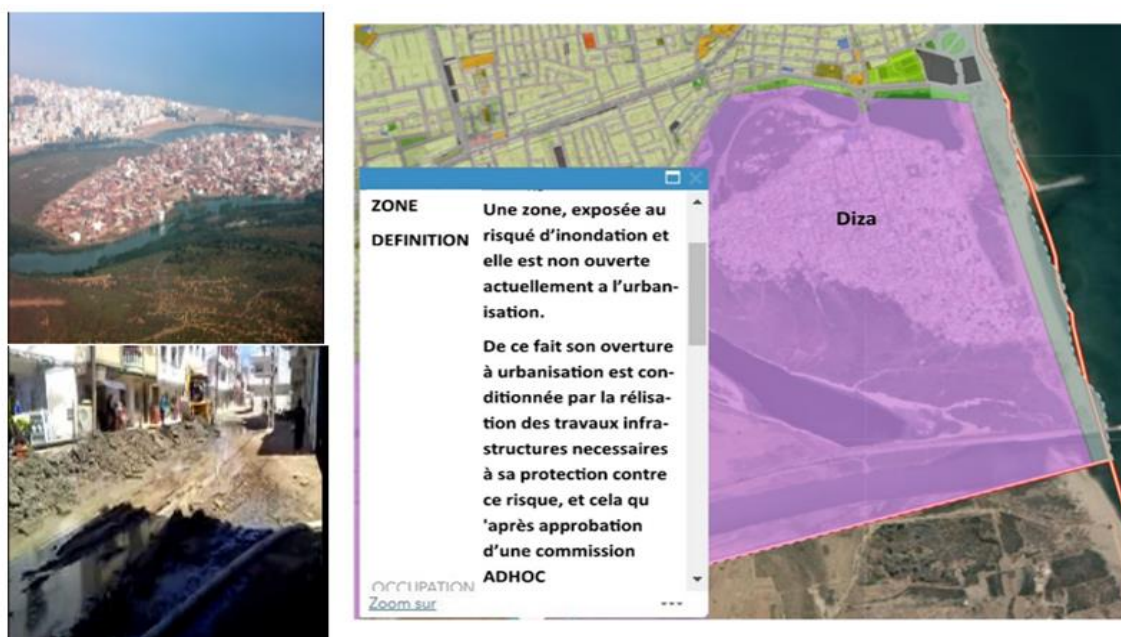
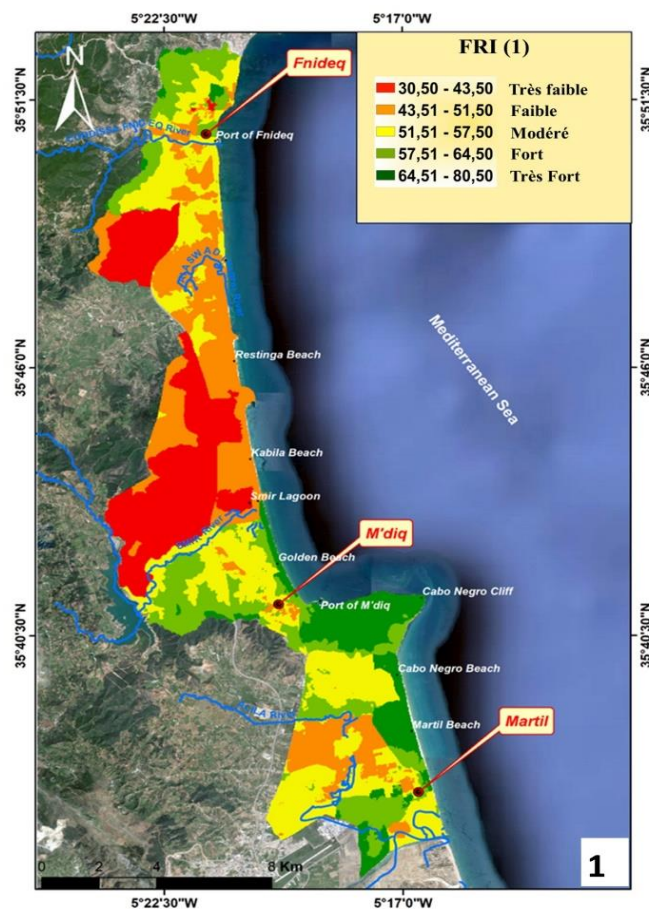


Figure 63: Photos de la localisation de Diza en zone inondable (en haut, à gauche) ; un rebond difficile et très précaire après une inondation (En bas à gauche) et un extrait des documents homologués interdisant toute constructions par les autorités mis en ligne (source <http://www.geomatic-online.ma/agut/>)

En perspective et suite à la recherche d'une approche pertinente pour l'évaluation de la résilience des territoires urbains face aux inondations particulièrement, ceux sujets aux inondations récurrentes, une recommandation de la création d'un nouvel indice de résilience face aux inondations, issus d'un mixage entre FRI (1) et FRI (3) serait intéressant pour les gestionnaires du risque d'inondation. De même, le développement d'un prototype Web-SIG, en parallèle, permettrait de rendre cet indice de résilience opérationnelle, à l'instar de ce qui se fait à Dublin ; ceci aiderait les autorités et les décideurs à adapter une stratégie de résilience plus efficace.

Carte de l'indice de résilience FRI (1)



Cartes de l'indice de résilience aux inondations FRI(2) et FRI(3)

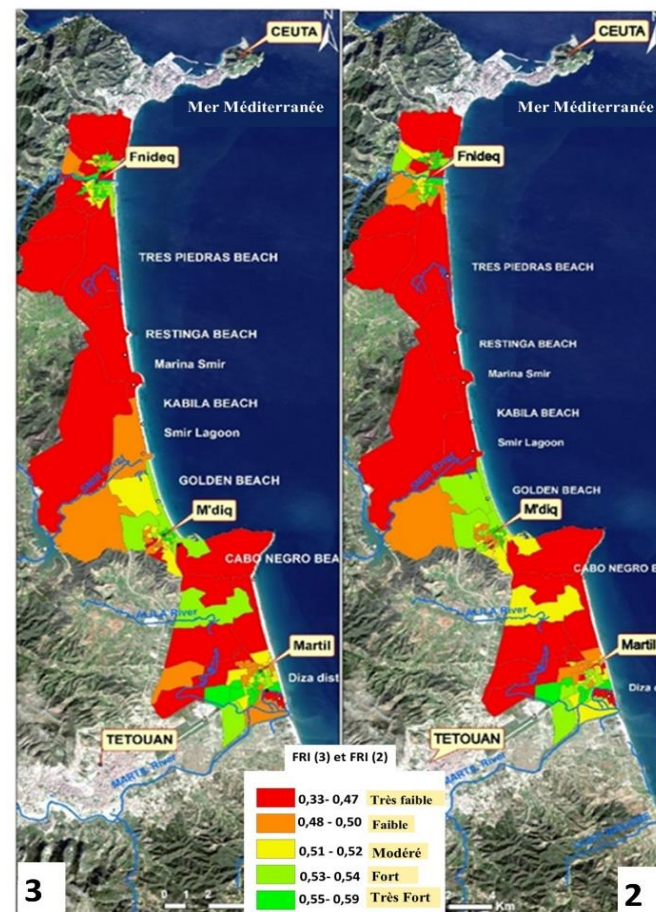


Figure 64 : Distribution spatiale des indices de résilience aux inondations 1 - FRI (1), 2 - FRI (2) et 3 - FRI (3)

VII. Conclusion

L'opérationnalisation de la résilience aux inondations est un challenge difficile mais faisable. Nous avons calculé encore une fois deux autres indices de résilience aux inondations FRI (2) et FRI (3). La méthode des neurones artificiels est nouvellement appliquée ici. Elle a démontré son efficacité, efficacité et sa pertinence au calcul de l'indice FRI (3). La seule limitation que nous devons franchir est l'inclusion de la dimension Naturelle comme utilisée dans dans l'Indice FRI (1) pour une meilleure validation sur le terrain.

En outre, il faut garder à l'esprit que de tels algorithmes de machine Learning sont très dépendants des données utilisées. Le défi le plus important souligné ici est lié à l'accessibilité et à la qualité des données (non aberrantes). Finalement, l'intégration de données climatiques (données sur les inondations ou données de simulation d'inondations) est aussi suggérée comme future axe d'amélioration dans la génération de l'indice de résilience aux inondations. Toutefois le développement d'un outil Web-SIG, parallèlement à l'élaboration d'un indice à variables interconnectées comme celles choisies dans les indices aussi bien dans le FRI (1) est nécessaire pour faciliter le renforcement la résilience des sites les plus vulnérables à l'inondation et assurer une meilleure gestion possible par les décideurs.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Dans le contexte du changement climatique, les inondations figurent parmi les risques hydro climatiques les plus fréquents et menaçants, particulièrement, pour les systèmes urbains. Tous les pays ont un historique récent d'inondations, dont les impacts vont d'incidents relativement localisés à des incidents majeurs. L'intérêt porté à la résilience des villes ces dernières années, est devenu en effet significatif puisque d'ici 2030, plus de 60% de la population mondiale vivra dans des centres urbains selon le PNUD.

Au Maroc, de nombreuses villes n'ont pas été épargnées par des inondations dont les dégâts sont ancrés dans la mémoire de la population. En effet, pas moins de 40 événements exceptionnels d'inondations entre 1951 et 2021 sont enregistrés. Suite à la récurrence de cet aléa, la résilience est venue s'insérer dans le dispositif sécuritaire du pays de façon récente auquel a fait suite le lancement du projet de la Stratégie Nationale de Gestion Intégrée des Risques Naturels au Maroc à l'horizon 2020-2030 et plus récemment, un Plan d'Action National sur la Résilience Territoriale. Néanmoins, aucune évaluation de la résilience face aux inondations urbaines n'a été entamée. Cette thèse représente alors un travail novateur sur une première évaluation de la résilience aux inondations de trois communes urbaines.

L'objectif de cette recherche était de pouvoir évaluer le degré de résilience urbaine face aux inondations, dans les communes de Fnideq, M'diq et Martil, appartenant à la préfecture de M'diq-Fnideq (Nord du Maroc). Un choix incité par le développement économique et social que ces centres urbains connaissent et par les dégâts conséquents des inondations après chaque intempérie dont la dernière date de quelques mois (mars 2021).

Face à une panoplie d'approches d'opérationnalisation de la résilience aux inondations urbaines, et l'absence d'une uniformité des moyens et méthodes d'évaluation, une approche *Top down* multidimensionnelle et spatiale est utilisée pour cette analyse. Trois indicateurs composites de la résilience territoriale aux inondations ont été déterminés, dont 38 variables sont recensées et se regroupent en quatre dimensions (Naturelle, Physique, Sociale et économique). Cette analyse prospective n'exclut pas pour autant de prendre en considération les événements passés, pour garder en mémoire l'existence du risque, situer les zones *hotspots* des inondations et en tirer les enseignements utiles pour mieux anticiper cet aléa et catastrophe naturelle à l'avenir.

La démarche analytique adoptée a permis d'évaluer d'abord les sous indices relatifs à chaque dimension et ensuite trois indices composites de la résilience aux inondations :

- *Le premier* FRI (1) est développé par le biais d'une méthode simple de normalisation ;
- *le second* FRI (2) est évalué par l'Analyse en Composantes Principales (ACP) ;
- *le troisième* FRI (3) est basé sur l'apprentissage automatique par les réseaux de neurones artificiels.

Les données des différentes variables ont été collectées auprès des Directions, Administrations, Organismes, Agence et aussi, in situ, auprès de la population locale. Le calcul statistique a été élaboré par le logiciel SPSS.22 et programmation par Python ensuite la cartographie des indices a été réalisée par le logiciel Arc Map 10.6.1 afin de mieux visualiser la disparité du degré de résilience aux inondations sur ce territoire. Une comparaison des approches utilisées et une validation avec la réalité du terrain ont été réalisées.

Les résultats obtenus ont permis de dresser un portrait de la résilience du territoire urbain de la préfecture de M'diq-Fnideq. De cette analyse, il ressort une disparité territoriale du degré de résilience face aux inondations, avec :

- 1-La commune de Fnideq qui présenterait plusieurs quartiers à résilience faible à très faible face à cet aléa, particulièrement, au niveau de Ras Louta, Aghttas, Sidi Boughaba, Centre-ville, gare routière, projet Al Massira. Même résultat est obtenu par les deux indices FRI (2) et (3) ;
- 2- La commune de M'diq, son territoire serait caractérisé par une résilience aux inondations forte à modérée. La similitude du résultat est obtenue par les trois indices FRI (1), FRI (2) et FRI (3). Une résilience un peu plus faible est notée par FRI (2) et (3) dans les quartiers périphériques, au nord-ouest du centre.
- 3-La commune de Martil, à son tour, montrerait des zones à faible voire très faible résilience face aux inondations, notamment, au niveau des quartiers Diza, Dwirat, et du lotissement Oum keltoum. Ces résultats sont obtenus par FRI (3), ils reflètent plus la réalité du terrain.

De toute l'analyse des indices calculés ressort que les principales causes du faible degré de la résilience aux inondations noté sur ce territoire, seraient en général d'ordre physique (géomorphologie et infrastructures) et socio-économique (chômage/ emploi, culture du risque,etc....) dont les variables sont interconnectées. Des efforts colossaux de l'état et des acteurs locaux vont dans le sens de renforcer l'infrastructure de ces communes mais ce sont des mesures purement structurelles qui ne devraient plus être suffisants. Les inondations de mars 2021 révèlent que le passage d'une stratégie de lutte contre les inondations vers une stratégie de renforcement de la résilience à cet aléa s'avère urgente et primordiale. En outre, la

dynamique qu'elle soit climatique ou territoriale, entraîne l'imprévisibilité des risques, de l'exposition et de la vulnérabilité. Alors une approche complémentaire en matière de politique de prévention devrait reposer sur le concept de la résilience ; celui-ci vise à augmenter la capacité des villes à s'adapter aux risques naturels et à faciliter un retour à un état stable le plus rapidement possible. Ceci tient aussi bien à une planification préventive, à des systèmes techniques de prévention qu'à la culture du risque des populations concernées, de là, préparer la gouvernance des risques de demain.

Cette approche territoriale de la résilience face aux inondations a défini une démarche analytique dont la complexité demandera certes des améliorations concernant la méthodologie, mais les principes de base sont posés. En effet l'approche des indices composite adoptée n'est donc pas finale, mais évolutive en vue de son amélioration continue, son adaptation au territoire voire son opérationnalisation. Les indicateurs de résilience utilisés dans cette évaluation viseraient alors à aider les gestionnaires dans les décisions de gestion des trois centres urbains en donnant une direction approximative dans la stratégie de résilience. De plus, le mixage de deux indices proposés (FRI (1) et FRI (3)) est une porte d'optimisation de cette approche opérationnelle. Aussi, un mixage des approches *Top-down* et *Bottom-up* est recommandé pour une évaluation plus pertinente. La dimension naturelle devrait être associée à toute évaluation de la résilience territoriale aux inondations, sans oublier la dimension institutionnelle qui intervient majoritairement à la réalisation de toute action de renforcement de la résilience.

L'accroissement de la résilience sur certaines zones de ce territoire qui connaissent une défaillance de leurs infrastructures de base, n'est pas quelque chose réalisable rapidement, mais plutôt un processus continu, qu'il est primordial de poursuivre perpétuellement. La stratégie de résilience dans la préfecture de Mdiq-Fnideq se veut être d'abord concentrée autour de population qui bien informée sur le risque (culture du risque) serait résiliente, ensuite sur l'urbanisation qui est une tendance déterminante dans les trois communes. Les constructions sur des zones inondables devraient être bannies car la nature reprend le dessus, et l'analyse devrait focaliser sur le réseau d'assainissement qui subit les impacts les plus importants.

En pensant la résilience comme un processus plutôt qu'un résultat, implique de se concentrer sur la définition des actions ou des changements souhaités qui pourraient améliorer la capacité des populations, des communes, à résister, à s'adapter et à récupérer après chaque inondation. Quelques suggestions pourraient intéresser les décideurs et gestionnaires de la région dans un contexte de renforcement de la résilience à l'inondation, notamment :

- ***Construire des systèmes d'alerte précoces dans les zones à résilience faible*** : il serait plus judicieux de doter les territoires moins résilients de technologies servant à collecter des données et à fournir des alertes précoces ; ceci permettrait d'analyser la pluviométrie et d'anticiper les inondations en identifiant les zones vulnérables de chaque ville ;
- ***Une approche basée sur la nature et des solutions vertes*** : elle considère l'eau – source des inondations- comme une ressource qui peut être retenue sur un site, réutilisée tout en réduisant le stress exercé sur le drainage des villes pendant les pluies intenses.
- ***Une approche basée sur la mise en place de la culture aux risques naturels*** : en favorisant l'émergence de toute nouvelle action de sensibilisation et d'éducation pour mieux appréhender le risque inondation d'autant s'il s'adapte aux contextes locaux de chaque commune.

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Principales disciplines de la Résilience.....	9
Figure 2: Cadres de la vulnérabilité et de la résilience liés par le concept de la capacité d'adaptation (Engle, 2011).....	11
Figure 3 : Phases du Cycle adaptatif (Gunderson & Holling, 2002).	12
Figure 4: Modèle de la Panarchy avec trois niveaux de cycles adaptatifs (d'après Gunderson et Holling eds. 2002 ; modifié par S. Robert, 2019).....	13
Figure 5: Fonctionnement du système territoire (MOINE. 2005)	18
Figure 6: Facteurs du risque manifesté par une catastrophe (Source : Wikipédia).....	20
Figure 7: Inondations torrentielle et de plaine (Nivesse M.in OIEau, 2018).....	22
Figure 8. Inondation par ruissellement (Nivesse M.in OIEau, 2018)	22
Figure 9. Inondation par remontée de nappe (MEDD, 2004)	23
Figure 10. Inondation par rupture d'ouvrage hydraulique (cas du Barrage -à gauche- et d'un embâcle d'un torrent (à droite) (graphes de MEDD-DPPR, 2004)	24
Figure 11. Submersion marine (Nivesse M.in OIEau, 2018).....	24
Figure 12. Bassin hydrographique ou Bassin versant (Source : SMBVL).....	25
Figure 13. Nombres de catastrophes naturelles par type entre 1998 et 2017 et la part des dégâts matériels et les pertes humains par type de catastrophe	27
Figure 14. Schéma conceptuel de VigiRisque inondation –Maroc (ROUMAGNAC, A. 2021).....	31
Figure 15. Sites pilotes pour les opérations de veille, d'alerte d'aide à la gestion des risques d'inondation –Projet « Vigirisque Inondation » (Ministère de l'Intérieur, 2019)	33
Figure 16. Situation géographique de la zone d'étude : (a) Territoire de la préfecture M'diq Fnideq au Maroc et (b) Communes de Fnideq, M'diq et Martil ; Communes rurales.....	36
Figure 17. Principales unités géomorphologiques de la zone d'étude (EL MRINI et al., 2008)	37
Figure 18. Carte structurale de la chaîne du Rif et de l'arrière-pays de la marge marocaine d'Alboran (Suter, 1980; complétée par Achalhi et al.,2016)	38
Figure 19. Carte géologique et structurale du Rif interne	41
Figure 20 : Répartition annuelle moyenne des précipitations dans la région « Tanger-Tétouan-Al Hoceima » entre 1958 et 2015 après interpolation des données TerraClim. Zone d'étude (Carré rouge) (Salhi A. et al 2019)	42
Figure 21 : Nombre de fortes précipitations : nombre total de jours avec précipitation supérieure au 90 ème centile, calculé sur les jours humides de la période de référence pour les stations météorologiques du Barrage Smir et Pont Torreta (Tétouan) Période :1980-2010) (Pateau M., 2014)	43
Figure 22: Rose annuelle des directions des vents dominants à M'diq entre 2002 et 2018 (www.windfinder.com)	44
Figure 23: Situation des bassins versants de Fnideq, de Smir et de Martil –Préfecture de M'diq-Fnideq.	45
Figure 24: Réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Fnideq	46
Figure 25: a-Complexe marécageux de l'oued Smir (1969 et 1994) (Ennabili ; 2003) ; b- Réseau hydrographique et zone humide au niveau du bassin versant de Smir.....	47
Figure 26: Représentation de la lagune, de la retenue du barrage et du réseau hydrographique de l'oued Smir	48
Figure 27: Réseau hydrographique du bassin versant Martil-Alila	50
Figure 28: Localisations des nappes aquifères la région du Nord (zone d'étude – carré rouge) (PDAIRE 2012).....	51

Figure 29: Frange littorale de la préfecture de Mdiq et Fnideq (Benkhatab et al., 2020)	52
Figure 30: Situation des zones commerciale de Fnideq et industrielles de Tétouan	55
Figure 31: Distribution spatiale des unités géographiques retenues pour le recensement de l'HCP (RGHP. ; 2014)	58
Figure 32: Procédure globale de mesure de la résilience par indicateur composite.....	60
Figure 33: Procédure générale de la construction des trois indices de résiliences aux inondations FRI (1), FRI (2) et FRI (3).....	61
Figure 34: Procédure d'élaboration de l'indice de résilience aux inondations (FRI 1)	64
Figure 35 : Démarche d'élaboration des deux indices FRI(2) et FRI(3)	65
Figure 36: Eléments du Neurone artificiel (En -Naimani. 2016)	70
Figure 37 : Architectures Neuronales (En-Naimani. 2016)	71
Figure 38: Architecture du réseau de neurones (SOM)	71
Figure 39: Fréquence saisonnière des inondations pour la préfecture M'diq -Fnideq	76
Figure 40: Moyennes annuelles des précipitations totales enregistrées au niveau des stations Torreta et Kalaya (source : Données ABHL)	76
Figure 41: Précipitations journalières à la station Pont de Torreta sur Oued Martil (Décembre 1990- décembre 2000) (Source : Données ABHL)	77
Figure 42: Exemples d'inondations aux communes de Fnideq, M'diq et Martil. (1 : Centre Fnideq le 28 septembre 2008 ; 2) : Centre Commercial Almassira Fnideq le 27 septembre 2014 ; 3) et 4) : M'diq le 06 mars 2010 ; 5) : Rivière Martil le 02 mars 2018	78
Figure 43: Expansion des surfaces urbanisées à Fnideq entre 2003 et 2021 ; A, B et C : Zones endommagées lors des inondations historiques ; Zone D : Suite des expansions urbaines.....	79
Figure 44: Vue satellite du pôle urbain « Al Massira » étendue sur Oued Fnideq	80
Figure 45: Situation la station d'approvisionnement de l'électricité de Ras Louta- Fnideq	82
Figure 46: Expansion des surfaces urbanisées au M'diq entre 2003 et 2021 : Zones A, B et C : endommagées lors des inondations historiques ; Zone D : Etalement urbain.	83
Figure 47: Localisation de la station Source Smir Commune de M'diq.	85
Figure 48: Etalement urbain entre Tétouan et Martil (2009 à 2021) ; A, B et C : Zones perturbées avec de nombreux dégâts lors des inondations de Mars 2021; Zone D : autres formes d'expansions urbaines.....	86
Figure 49: Expansion des surfaces urbanisées au pourtour de la lagune de Smir entre 2003 et 2021	89
Figure 50: Indice de la résilience naturelle du territoire des communes urbaines de la préfecture M'Diq et Fnideq. A : Sous-indice d'élévation, B : Sous-indice de densité de drainage et C : Sous-indice de la distance entre les points de dépressions.	92
Figure 51: Indice de la résilience physique du territoire des communes urbaines de la préfecture M'Diq et Fnideq. A : Sous –indice du taux d'expansion des bâtiments anciens (+50 ans), B : Sous-indice du taux de bâtiments construits avec des matériaux en béton et briques avec mortier, et C : Sous-indice du taux du branchement aux réseaux de l'eau potable et d'assainissement.	94
Figure 52: Indice de la résilience sociale du territoire des communes urbaines de la préfecture M'Diq et Fnideq. A : Sous –indice de la densité des ménages ; B : Sous-indice du taux d'analphabétisme, et C : Sous-indice du taux de personnes vulnérables lors des inondations	96
Figure 53: Indice de la résilience économique du territoire des communes urbaines de la préfecture M'Diq et Fnideq. A : Sous –indice du Taux de chômage, B : Sous-indice du taux des bâtiments vocation économique et C : Sous-indice du taux de personnes vulnérables lors des inondations	98
Figure 54: Répartition de l'indice de résilience aux inondations par surface du territoire urbain de la préfecture de M'diq-Fnideq	99
Figure 55: Illustration cartographique de l'indice de résilience aux inondations FRI (1) du territoire urbain de la préfecture Mdiq-Fnideq	100

Figure 56: Pourcentage des ménages par zones selon le degré relatif de résilience aux inondations du territoire de la préfecture Mdiq –Fnideq.	101
Figure 57: Scree plot du pourcentage des six composantes principales.....	108
Figure 58: Distribution spatiale de l'Indice de résilience aux inondations FRI (2) évalué sur la base de l'ACP, sur le territoire urbain de la préfecture de Mdiq-Fnideq.	110
Figure 59: Distribution spatiale de l'Indice de Résilience aux Inondations FRI (2) désagrégré sur les composantes de l'ACP : Avec en (1) Résilience économique, (2) Résilience physique, (3) Résilience sociale.....	111
Figure 60: Catégorisation des clusters avec le nombre de variables correspondant utilisées dans étude.	112
Figure 61: Distribution spatiale de l'Indice de résilience aux inondations FRI (3) évalué sur la base du réseau de neurone (SOM), sur le territoire urbain de la préfecture de Mdiq-Fnideq.....	113
Figure 62: Distribution spatiale de l'Indice de Résilience aux Inondations FRI (3) désagrégré sur ses neurones : montrant (1) Résilience sociale, (2) Résilience physique, (3) Résilience économique.	114
Figure 63: Photos (sur le net) de la localisation de Diza en zone inondable (en haut, à gauche) ; un rebond difficile et très précaire après une inondation (En bas à gauche) et un extrait des documents homologués interdisant toute constructions par les autoritites mis en ligne (source http://www.geomatic-online.ma/agut/	119
Figure 64 : Distribution spatiale des indices de résilience aux inondations 1 - FRI (1), 2 - FRI (2) et 3 - FRI (3)	120

LISTE DES TABELAUX

Tableau 1: Cinq types de stratégies de gestion des risques d'inondation (Hegger et al. 2014).....	29
Tableau 2: Trois capacités de résilience en application aux inondations : définitions, indicateurs et sources (Hegger et al.2016).....	30
Tableau 3: Centres touchés par des inondations fluviales à caractère exceptionnel depuis 1965 à 2020) (Source : DRPE et LAHSAINI, 2017 modifiées.....	31
Tableau 4: Précipitation moyennes annuelles par décennie (en mm) au niveau de la station météorologique de Smir et de Tétouan (Pateau M. 2014).....	43
Tableau 5: Précipitation moyennes annuelles par décennie (en mm) au niveau de la station météorologique de Smir et de Tétouan (Pateau M. 2014).....	44
Tableau 6: Nombre d'habitants et taux d'accroissement annuel moyen par communes en 2004 et 2014, de la Préfecture de M'diq-Fnideq (Source : RGPH, 2014).....	54
Tableau 7: les données relatives à la dimension naturelle.....	62
Tableau 8: Variables utilisées pour la mesure de la résilience aux inondations -Indices FRI(2) et FRI(3).....	67
Tableau 9: Sous indices choisis et évalués pour caractériser la résilience naturelle des communes M'Diq, Fnideq et Martil.....	91
Tableau 10: Sous indices choisis et évalués pour caractériser la résilience physique (Infrastructures) des communes M'Diq, Fnideq et Martil.....	93
Tableau 11: Sous indices choisis et évalués pour caractériser la résilience sociale des communes M'Diq, Fnideq et Martil.....	95
Tableau 12: Sous indices choisis et évalués pour caractériser la résilience économique des communes M'Diq, Fnideq et Martil.....	97
Tableau 13: Corrélation de Spearman ou rho de Spearmand entre l'indice total de résilience aux inondations (FRI) et les sous indices des dimensions : Naturelle (IRN), Physique (IRP) ; Sociale (IRS) et Economique (IRE). *p<0.05 ; **p<0.01 ; ***p<0.001.	101
Tableau 14: Extraction des composantes principales constructives du FRI (2).	107
Tableau 15: Matrice des composantes principales de l'ACP	108
Tableau 16: Comparaison entre les trois indices de résilience face aux inondations adoptées dans cette étude	117
Tableau 17: Tests t pour la comparaison globale entre FRI2-ACP et FRI 3 - SOM	118

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Drame de Tanger : Inondation d'un espace souterrain d'une unité industrielle.....	26
https://lepetitjournalmarocain.com/2021/02/page/27/	
Photo 2 : Photos prises et partagées sur les réseaux sociaux lors des inondations 2021.....	78
Photo 3 : Photos illustrant l'Impact des inondations sur l'axe de la route nationale R16 - R13.....	82
Photo 4 : Inondations des certains quartiers à Bouzeghlal Mars 2021.....	84
Photo 5 : (a) Route inondée au niveau de Saniat Torres inondée, (Mars 2016) et (b) Rues inondées lors des intempéries de Mars 2010.....	85
Photo 6 : a- Situation du Quartier Diza (Martil) ; b- Inondation des ruelles ; c- Précarité du quartier (urbanisation anarchique).....	87
Photo 7 : Dépotoirs à l'air libre des déchets ménagers et les eaux usées – Martil	87
Photo 8 : Inondations du réseau routier à Martil lors de fortes intempéries	88
Photo 9 : a -"M'diq sous les eaux: Petites infrastructures et gros dégâts" (Sources : Liberation, 30 Aout 2013 https://www.libe.ma/M-diq-sous-les-eaux_a41621.html , b-Fortes pluies et inondations à Fnideq (Source : https://www.bladi.info/threads/fortes-pluies-inondations-fnideq.387164/ et C : Défaillance du réseau d'assainissement à Martil (Source : https://www.slideshare.net/ayoubhlouh/la-planification-stratgique-de-la-commune-urbaine-martil).	103
Photo10: Economie informelle dans la préfecture de M'diq et Fnideq : Porteuses de marchandises et marché des précarisations (https://m.le360.ma).....	104

BIBLIOGRAPHIE

A

ABHL, Agence de Bassin Hydraulique de Loukkos., (2016). Typologie et inventaire des sites à risque d'inondation. Projet de protection contre les inondations réalisé par ABHL.pd.f. Page,2.<http://www.abhloukkos.ma/abhl/index.php/fr/2016>.

Achalhi, M., Münch, P., Cornée, J. J., Azdimousa, A., Melinte-Dobrinescu, M., Quillévéré, F., ... & Feddi, N. (2016). The late Miocene Mediterranean-Atlantic connections through the north Rifian corridor: new insights from the Boudinar and Arbaa Taourirt basins (northeastern Rif, Morocco). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 459, 131-152. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.06.040>

Adger N, (2000). Social and ecological resilience: are they related? School of Environmental Sciences and CSERGE, University of East Anglia, Norwich NR4 7TJ, UK. *Progress in Human Geography* 24,3 pp. 347–364

Adger W.N., Arnell N.W., Tompkins E.L. (2005). Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environmental Change*, vol. 15, p. 77-86.

Aerts, J. C. J. H., W. Botzen, A. van der Veen, J. Krykow, and S. Werners. (2008). Dealing with uncertainty in flood management through diversification. *Ecology and Society* 13(1):41. <http://dx.doi.org/10.5751/es-02348-130141>

Alexander, M., S. Priest, A. P. Micou, S. Tapsell, C. Green, D. Parker, and S. Homewood. (2016b). Analysing and evaluating flood risk governance in England - enhancing societal resilience through comprehensive and aligned flood risk governance. *STAR-FLOOD Consortium*, Utrecht, The Netherlands. [online] URL: <http://www.starflood.eu/documents/2016/03/wp3-en-final-webversion.pdf>.

Amatur, S., Piraino, D. and Takefuji, Y., (1992). Optimization Neural Networks for the Segmentation of Magnetic Resonance Images. *IEEE Transaction on Medical Imaging*, Volume 11, pp. 215 - 220.

Andjelkovic, I. (2001). Guidelines on non-structural measures in urban flood management. International Hydrological Programme (IHP), United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). <http://lib.riskreductionafrica.org/bitstream/handle/123456789/607/3613.Guidelinesonnon-structuralmeasuresinurbanfloodmanagement.pdf?sequence=>.

Anfuso G., Martinez del Pozo A., Nachite D., Benavente J. & Macias A. (2007). Morphological characteristics and medium-term evolution of the beaches between Ceuta and Cabo Negro (Morocco). *Environmental Geology*, 52: pp. 933–946.

Angeon, V., & Bates, S (2015). reviewing composite vulnerability and resilience indexes : A sustainable approach and application. *World Development*, 72, 140-162. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.02.011>.

Asadzadeh, A., Kötter, T., Salehi, P., & Birkmann, J. Operationalizing a concept. (2017): The systematic review of composite indicator building for measuring community disaster resilience. *International journal of disaster risk reduction*, 25, 147-162. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.09.015> .

ASTM-TMSA, (2010). Agence spéciale Tanger méditerranée. TMSA, maître d'ouvrage. Projet Offshore Tétouan. Etude d'impact sur l'environnement (Etude). Tétouan . Maroc. 58 p.

Azzouz, O., El Fellah, B., & Chalouan, A. (2002). Processus de glissement dans le Massif de Bokoya (Rif interne, Maroc): exemple de Cala Bonita. *Bulletin de l'Institut scientifique*, Rabat, section Sciences de la Terre, 24, 33-40.

B

Balica, S., & Wright, N. G. (2010). Reducing the complexity of the flood vulnerability index. *Environmental Hazards*, 9(4), 321-339. DOI: [10.3763/ehaz.2010.0043](https://doi.org/10.3763/ehaz.2010.0043)

Balica, S. F., Wright, N. G., & Van der Meulen, F. (2012). A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. *Natural hazards*, 64(1), 73-105.

Banque mondiale 2020 : Développement urbain
<https://www.banquemondiale.org/fr/topic/urbandevelopment/>

Barroca B., Amdal J. R., Diab Y., Becue V., Serre D, (2013). Analysing urban resilience through alternative stormwater management options: application of the conceptual Spatial Decision Support System model at the neighbourhood scale, *Water Science & Technology*, IWA 68 (11): 2448-2457, DOI: 10.2166/wst.2013.527.

Barroca B.et D. Serre, (2013). « Behind The Barriers: A Resilience Conceptual Model », S.A.P.I.E.N.S [En ligne], 6.1 | 2013, mis en ligne le 21 mars 2014, URL : <http://journals.openedition.org/sapiens/1529>.

Barroca B., DiNardo M., Mboumoua I. (2013). De la vulnérabilité à la résilience : mutation ou bouleversement ? *EchoGéo*, (24), 2013. <https://doi.org/10.4000/echogeo.13439>.

Baudelot, C., & Establet, R. (1984). Suicide: l'évolution séculaire d'un fait social. *Économie et statistique*, 168(1), 59-70.

Baptista, S.R. 2014. Design and Use of Composite Indices in Assessment of Climate Change Vulnerability and Resilience; *The Earth Institute*, Columbia University: New York, NY, USA,

Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof, Eds., (2008): Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp

Batica, J. (2015) : Methodology for Flood Resilience Assessment in Urban Environments and Mitigation Strategy Development. Ph.D. Thesis, Université Nice Sophia, Antipolis, France,

Bayed, A. & Chaouti, A., (2005). Diversité taxonomique et structure de la macrofaune benthique des substrats meubles de la lagune de Smir. *Travaux de l'Institut Scientifiques Rabat*. Série générale, 4, 33-42.

Bekkali, R. (1987). Les ostracodes du Lac Smir (Maroc Nord-Occidental). Th. Doct. Univ. Mohammed V, Rabat (Maroc), 165.

Belhadad.F.(1983). Etude géologique des zones internes du Rif septentrional (Maroc) au cours de l'Oligocène et du Miocène inférieur. Le Jbel Zem Zem. Thèse 3^e cycle, Rabat, 120p

Belmonte, F., Schon, W., Hurley, L., & Capel, R. (2011). Interdisciplinary safety analysis of complex socio-technological systems based on the functional resonance accident model: An application to railway traffic supervision. *Reliability Engineering and System Safety*, 96(2), p. 237-249

Benkhattab, F. Z., Hakkou, M., Bagdanavičiūtė, I., El Mrini, A., Zagaoui, H., Rhinane, H., & Maanan, M. (2020). Spatial-temporal analysis of the shoreline change rate using automatic computation and geospatial tools along the Tetouan coast in Morocco. *Natural Hazards*, 104(1), 519-536.

Bennani., (2006). Apprentissage connexionniste. *Hermes Science*. Laboratoire d'Informatique de Paris-Nord (LIPN) Book. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00084647/>.

Ben Yaich, A. (1981). Etude géologique de la dorsale calcaire entre Tleta Taghrant et Ben Younès (Haouz, Rif, Maroc). Diplôme Etudes Supérieures Thèse, Université Mohammed V, Rabat.

Ben Yaich, A., Maaté, A., Feinberg, H., Magné, J., & Durand Delga, M. (1986). Implications de niveaux du Miocene inférieur dans les rétrochevauchements de la Dorsale calcaire rifaine (Maroc): signification à l'échelle de l'Arc de Gibraltar. *CR Acad. Sci. Paris*, 302, 587-592.

Benyaich A. (1991). - Evolution tectono-sédimentaire du Rif externe centro-occidental (régions de M'sila et Ouezzane, Maroc): la marge africaine du Jurassique au Cretace; - les bassins néogènes d'avant-fosse. Thèse d'Etat Univ. de Pau et Pays de l'Adour, 308 p.

Born, K., Fink, A. H., & Paeth, H. (2008) . Dry and wet periods in the northwestern Maghreb for present day and future climate conditions. *Meteorologische Zeitschrift*, 17(5), 533-551. DOI [10.1127/0941-2948/2008/0313](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2008/0313).

Bourcart L, (2015). Émergence et usages du concept de résilience dans les mondes académique et institutionnel. *Science politique*. Université Grenoble Alpes, 2015. Français. p 297.

Boubchir, A. (2007). Risques d'inondation et occupation des sols dans le THORE, région de Labruguière et de Mazamet (*Doctoral dissertation*).

Boughaba, A. (1992). Les littoraux meubles septentrionaux de la péninsule de tanger (maroc). Géomorphologie et intervention anthropique sur leur environnement. (Effet de l') (Doctoral dissertation, Nantes).

Boschetti L , D. Provitolo, E. Tric , (2017). La modélisation conceptuelle comme aide à la construction de villes résilientes. – *Risques urbains*, 17(2), p.15.

Brilly M., & M. Polic (2005). Public perception of flood risks, flood forecasting and mitigation. *Natural hazards and earth system sciences*, 5(3), 345-355. <https://doi.org/10.5194/nhess-5-345-2005>, 2005.

Burel, G., & Alani, H. (2018). Crisis event extraction service (crees)-automatic detection and classification of crisis-related content on social media. In: *15th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*, 20-23 May 2018, Rochester, NY, USA.

C

Cai, H., Yang, J., Zhang, W., Han, S., & Yu, Y. (2018). Path-level network transformation for efficient architecture search. In *International Conference on Machine Learning* (pp. 678-687). PMLR.

Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J. M., & Abel, N. (2001). From metaphor to measurement: resilience of what to what?. *Ecosystems*, 4(8), 765-781. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0045-9>.

Chalouan A., A. Michard, K. ElKadiri, F. Negro, D. FrizondeLamotte, J.I. Soto, O. Saddiqi. (2008). The Rif Belt A. Michard (Ed.), Continental Evolution: The Geology of Morocco, Stratigraphy and Tectonics of the Africa-Atlantic-Mediterranean Triple Junction. *Lectures and Notes in Earth Sciences*, 116 (2008), pp. 203-302

Chapin, III, F. S., Kofinas, G. P., & Folke, C. (Eds.). (2009). Principles of Ecosystem Stewardship: Resilience-based Natural Resource Management in a Changing World, *Springer Science & Business Media*.

Chataignier J.M., (2014) Fragilités et résilience, Les nouvelles frontières de la mondialisation, Eds Karthala, 482 p, 2014.

Cutter, S. L., L. Barnes, M. Berry, C. Burton, E. Evans, E. Tate, and J. Webb. (2008). “A place-based model for understanding community resilience to natural disasters.” *Global Environmental Change* 18 : 598-606. p.5.

Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2012). Social vulnerability to environmental hazards (pp. 143-160). Book Hazards Vulnerability and Environmental Justice Routledge. Ebook ISBN :9781849771542.

Cutter, S. L., Ash, K. D., & Emrich, C. T. (2014). The geographies of community disaster resilience. *Global environmental change*, 29, 65-77. DOI:10.1016/j.gloenvcha.2014.08.005 .

Cutter, S. L. (2016). Resilience to what? Resilience for whom? *The Geographical Journal*, 182(2), 110-113.

Cutter, S. L., (2016). The landscape of disaster resilience indicators in the USA, *Natural Hazards*, 80(2), pp. 741-758. DOI : 10.1007/s11069-015-1993-2.

Cutter, S (2019): Community resilience, natural hazards, and climate change: Is the present a prologue to the future? Norsk Geografisk Tidsskrift - *Norwegian Journal of Geography*, DOI: 10.1080/00291951.2019.1692066.

Cyrulnik B, (1998) : ces enfants qui tiennent le coup, Desclée de Brouwer, Coll. Hommes et perspectives- p5-13.

Comentale, B., Ménanteau, L., & Nachite, D. (2007). Géomorphologie et remblaiement récent de la plaine de Martil (région de Tétouan, Maroc septentrional). In Colloque Géomorphologie et Quaternaire du Maroc.

Comfort L. K., Boin A., Demchak C. (2010). Designing Resilience. Preparing for Extrem Events, Pittsburgh, *University of Pittsburgh Press*.

Cutter, S.L.; Barnes, L.; Berry, M. ; Burton, C. ; Evans, E. ; Tate, E. ; Webb, J. (2008) Un modèle basé sur le lieu pour comprendre la résilience des communautés aux catastrophes naturelles. *Glob. Environ. Chang.-Hum. Dimens de la politique.* , 18 , 598–606

Crespo-Blanc, A., & de Lamotte, D. F. (2006). Structural evolution of the external zones derived from the Flysch trough and the South Iberian and Maghrebian paleomargins around the Gibraltar arc: a comparative study. *Bulletin de la Société géologique de France*, 177(5), 267-282.

D

De Graaf, R., N. van de Giesen, and F. van de Ven. (2009). Alternative water management options to reduce vulnerability for climate change in The Netherlands. *Natural Hazards* 51 (3):407-422. <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-007-9184-4>.

De Lara, M. (2018). A Mathematical Framework for Resilience: Dynamics, Uncertainties, Strategies, and Recovery Regimes. *Environmental Modeling & Assessment*, 23(6), 703-712. <https://doi.org/10.1007/s10666-018-9595-5>

Didon, J., Durand-Delga, M., & Kornprobst, J. (1973). Homologies géologiques entre les deux rives du détroit de Gibraltar. *Bulletin de la Société géologique de France*, 7(2), 77-105.

Driessen, P.; Hegger, D.; Kundzewicz, Z.; van Rijswijk, H.; Crabbé, A.; Larrue, C.; Matczak, P.; Pettersson, M.; Priest, S.; Suykens, C.; et al. 2018, Governance Strategies for Improving Flood Resilience in the Face of Climate Change. *Water* 2018, 10, 1595.

Doocy, S., Daniels, A., Packer, C., Dick, A., & Kirsch, T. D. 2003. The human impact of earthquakes: a historical review of events 1980-2009 and systematic literature review. *PLoS Currents*, 5. <https://doi10.1371/currents.dis.67bd14fe457f1db0b5433a8ee20fb833>

Durand delga M., HOTTINGER L., MARI;:AIS J., MATTAUER M. & SUTER G. (1960-62) – Données actuelles sur la structure du Rif. In: Liv. et Mem. P. Fallot. Mem. h. ser., Soc. geol. Fr., 1,399-422

Durand-Delga, M. (1972). La courbure de Gibraltar, extrémité occidentale des chaînes alpines, unit l'Europe et l'Afrique. *Rev. Micropal.* Birkhäuser.

E

EDA, (2016). United States Economic Development Administration Comprehensive Economic Development Strategy (CEDS) Content Guidelines. Retrieved from: <https://www.eda.gov/ceds/>.

El Fellah.B, (2005) Géomorphologie et cartographie du bassin versant de l'Oued Smir Université Mohammed V – Agdal, Institut Scientifique, Département de Géomorphologie et de Cartographie, Bayed A. & Scapini F. (éditeurs). Ecosystèmes côtiers sensibles de la Méditerranée : cas du littoral de Smir Travaux de l'Institut Scientifique, Rabat, série générale, 2005, n° 4, 1-8.

El Gharbaoui, A. (1981). La terre et l'homme dans la péninsule tingitane: étude sur l'homme et le milieu naturel dans le Rif Occidental (Vol. 15). Institut scientifique.

El Hatimi, N. (1982). Contribution à l'étude géologique et structurale de la région d'Assifane (Rif, Maroc). *Doctorat, Université Mohamed V, Faculté des Sciences, Rabat. 133p.*

El Hatimi, N. A. J. I. B., Duee, G. É. R. A. R. D., & Hervouet, Y. (1991). La Dorsale calcaire du Haouz; ancienne marge continentale passive tethysienne (Rif, Maroc). *Bulletin de la Société géologique de France*, 162(1), 79-90.

El Kadiri, K. (1991). La Dorsale Calcaire (Rif interne, Maroc): stratigraphie, sédimentologie et évolution géodynamique d'une marge alpine durant le Mésozoïque. Mise en évidence d'un modèle. Mise en évidence d'un modele. Doctorat d'Etat Thesis, University of Tetuan.

El Moutchou, B. (1995). Dynamique côtière actuelle et évolution morphosédimentaire de la frange littorale méditerranéenne entre M'diq et Oued Laou (Région de Tétouan, Maroc Nord-occidental). PhD thesis.

El MRINI A. (2011). Évolution morphodynamique et impact des aménagements sur le littoral Tétounais entre Ras Mazari et Fnideq (Maroc nord occidental). Thèse de 3ème cycle, Univ. Abdelmalek Essadi (Maroc) & Univ. de Nantes (France).

El Mrihi, A. (1995). Structures alpines des zones externes et des nappes de flyschs à l'ouest de la chaîne du Haouz (Rif septentrional, maroc) (Doctoral dissertation, Thèse Doctorat d'Etat, Université Mohammed V, Rabat).

EM-DAT, (2010). classification of natural disasters aligns with the IRDR's "Peril Classification and Hazard Glossary" which in turn is based on pre-existing work by Munich RE and CRED. <http://www.irdrinternational.org/2014/03/28/irdr-peril-classificationand-hazard-glossary/>.

Engle, NL (2011), Capacité d'adaptation et son évaluation. *Glob. Environ. Chang-Hum. Dimens de la politique.* 21, 647–656

Ennabili A.et Gharnit N.; (2003) : Effets d'aménagements du littoral tétouanais (nors-ouest du Maroc) sur la végétation hygrophile –(spermatophyta) *Acta Bot. Barc.*, 48: 199-216 Barcelona 2003 file:///C:/Users/HP/Downloads/2003ACTABOTBARC199216.pdf*

En-Naimani.Z, Lazaar.M, Ettaouil.M, (2016) Architecture Optimization Model for the Probabilistic Self-Organizing Maps and Speech Compression, *International Journal of Computational Intelligence and Applications*, 15. 2016. <https://doi.org/10.1142/S1469026816500073>.

F

Fallot, P. (1937): Essai sur la géologie du Rif septentrional. - *Notes Mém. Serv. géol. Maroc* 40.

Fassi Fihri, (2019) : Démographie maghrébine, Situation et perspectives. *Les cahiers du Plan* N° 52 ; du Haut-Commissariat au Plan, Maroc. p. 4-23.

Fisher, M., Abate, T., Lunduka, R. W., Asnake, W., Alemayehu, Y., & Madulu, R. B. 2015. Drought tolerant maize for farmer adaptation to drought in sub-Saharan Africa: Determinants of adoption in eastern and southern Africa. *Climatic Change*, 133(2), 283-299 . DOI [10.1007/s10584-015-1459-2](https://doi.org/10.1007/s10584-015-1459-2).

Flayou L., HOUT R., MARKANDYA A., MRINI A. et SNOUSSI M.,2015 : Contribution à la gestion durable du tourisme côtier au Maroc à travers l'évaluation du coût de dégradation des services écosystémiques du littoral -Cas du littoral de Tétouan. Country studies Natural Resource Management-Natural Wealth Accounting Project: Global Development Network (GDN) DOI:10.13140/RG.2.2.36297.98408

Folke, C, (2006). «Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses». *Global Environmental Change*, vol. 16, no 3, p. 253-267.

Folke, C. (2006). Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change* 16:253-267. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>

Folke, C., T. Hahn, P. Olsson, and J. Norberg. 2005. Adaptive governance of social-ecological systems. *Annual Review of Environment and Resources* 30:441-473. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144511>

Folke, C.; Carpenter, S.; Elmqvist, T. ; Gunderson, L.; Holling, CS; Walker, B. (2002). Résilience et développement durable: renforcer la capacité d'adaptation dans un monde de transformations. *Ambio* 31 , p.437–440.

Förster, S., Kuhlmann, B., Lindenschmidt, K. E., & Bronstert, A. (2008). Assessing flood risk for a rural detention area. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8(2), 311-322. <https://nhess.copernicus.org/articles/8/311/2008/nhess-8-311-2008.pdf>.

.

G

Gaillard J-C (2010). Vulnerability, Capacity and Resilience: Perspective for Climate and Development Policy, *Journal of International Development*, 22, 2010, pp. 218-232.

Gallop G.C. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, vol. 16, p. 293-303. DOI : [10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004)

Garnezy, N., & Masten, A. S. (1986). Stress, competence, and resilience: Common frontiers for therapist and psychopathologist. *Behavior Therapy*, 17(5), 500–521. DOI: [org/10.1016/S0005-7894\(86\)80091-0](https://doi.org/10.1016/S0005-7894(86)80091-0)

GIEC, (2001) « Bilan 2001 des changements climatiques : Conséquences, adaptation et vulnérabilité Contribution du Groupe de travail II au troisième rapport d'évaluation du GIEC » www.ipcc.ch.

GIEC (2007), Quatrième rapport d'évaluation du GIEC «Bilan 2007 des changements climatiques», Rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Genève .http://www.climate.be/users/marbaix/doc/AR4_SPM_SYR_FR_18-11-07.pdf

GIEC, (2012). Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), Gestion des risques d'événements extrêmes et des catastrophes pour faire progresser adaptation au changement climatique, Rapport spécial, GIEC, Genève, Suisse, 2012, p. 28 .

GIEC, (2014). Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Contribution of WG2 to AR5, *Summary for Policy Makers*, p 44 .

Giorgi, F., & Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and planetary change*, 63(2-3), 90-104. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005>

Godschalk D.R., 2003, “Urban Hazard Mitigation: Creating Resilient Cities”, *Natural Hazards Review*, 4(3), p. 136-143

Gordon, J.E. (1978). Structures, Penguin Books Ltd, Harmondsworth, Middlesex, England.

Griffon, J. C. (1966). La Dorsale calcaire au sud de Tétouan. *Notes et Mémoires du Service Géologique (Rabat)*, (184), 149-222.

Gunderson L. (2000). Ecological resilience in theory and application. Dept. of Environmental Studies, Emory University, Atlanta, Georgia 30322.

Gunderson L.H., Holling C.S. (ed.), 2002. *Panarchy: Understanding transformations in Human and Natural Systems*. Washington and London, Island Press,

Gupta, J., C. Termeer, J. Klostermann, S. Meijerink, M. Van Den Brink, P. Jong, S. Nooteboom, and E. Bergsma. (2010). The adaptive capacity wheel: a method to assess the inherent characteristics of institutions to enable the adaptive capacity of society. *Environmental Science and Policy* 13:459-471. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2010.05.006>.

H

Hallegatte, S. (2014). Résilience économique : définition et mesure. Document de travail de recherche sur les politiques ; no. 6852. Banque mondiale, Washington, DC. © Banque mondiale.

Hazbavi, Z., Baartman, J. E., Nunes, J. P., Keesstra, S. D., & Sadeghi, S. H. (2018). Changeability of reliability, resilience and vulnerability indicators with respect to drought patterns. *Ecological indicators*, 87, 196-208. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.054>.

HCP, 2018 Haut-Commissariat Au Plan. *Monographie de la préfecture de M'diq-Fnideq*, Direction régionale de Tanger-Tétouan-al Hoceima. Kingdom of Morocco.

Herchi Z. a , O. Khadri b , M. Nechar a , M. El Alami El Moutaouakil b , B. Souhail a , F. EL Yousfi a , A. El Laghdach ; (2017) Evaluation Physico-chimique et Biologique de la Qualité des Eaux Superficielles du Bassin Versant d'Oued Smir. Proceedings of the Journée Nationale sur la Chimie (ICDI-2018)-41-48 pp.

Hegger, D. L. T., P. P. J. Driessen, C. Dieperink, M. Wiering, G. T. Raadgever, and H. F. M. W. Van Rijswijk. (2014). Assessing stability and dynamics in flood risk governance: an empirically illustrated research approach. *Water Resources Management* 28:4127-4142. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-014-0732-x>

Hegger, D. L. T., P. P. J. Driessen, M. Wiering, H. F. M. W. Van Rijswijk, Z. W. Kundzewicz, P. Matczak, A. Crabbé, G. T. Raadgever, M. H. N. Bakker, S. J. Priest, C. Larrue, and K. Ek. (2016). Toward more flood resilience: Is a diversification of flood risk management strategies the way forward? *Ecology and Society* 21(4):52. <https://doi.org/10.5751/ES-08854-210452>.

Hollnagel E. (2009). The four cornerstones of resilience engineering. In : Christopher P. Nemeth, Erik Hollnagel et Sidney Dekker, *Resilience Engineering Perspectives - Volume 2: Preparation and Restoration*. Ashgate Publishing.

Hollnagel, E. (2012). FRAM: the functional resonance analysis method: modeling complex socio-technical systems (1re éd.). *London, England: Ashgate Publishing Limited*.

Hollnagel, E. (2014). Safety I and Safety II: The past and the future of safety management (New edition). *London, England: Ashgate Publishing Limited*.

Holling, CS (1973). "Résilience et stabilité des systèmes écologiques" (PDF). *Revue annuelle d'écologie et de systématique* . 4 : 1–24. doi : 10.1146 / annurev.es.04.110173.000245. État stable alternatif .

Hung, Hung-Chih, Ching-Yi Yang, Chang-Yi Chien, and Yi-Chung Liu. (2016). ‘Building Resilience: Mainstreaming Community Participation into Integrated Assessment of Resilience to Climatic Hazards in Metropolitan Land Use Management’. *Land Use Policy* 50 (January): 48–58. doi:10.1016/j.landusepol.2015.08.029.

J

Jaaidi.B. Ahmamou, M.& Zougary.R (1993). Impact des aménagements littorales et évolution des côtes. *Com nat de geog du Maroc, Rabat*, 21-33.

Jha, Abhas K.; Bloch, Robin; Lamond, Jessica. (2012). Villes et inondations : Guide de gestion intégrée du risque d'inondation en zone urbaine pour le XXI^e siècle - Résumé à l'intention des décideurs. World Bank. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2241> License: CC BY 3.0 IGO.”

Joudar.N, En-naimani.Z, Ettaouil.M (2019). "Using continuous Hopfield neural network for solving a new optimization architecture model of probabilistic self-organizing map." *Neurocomputing* . <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.09.095>

Jones, L., Conostas, M. A., Matthews, N., & Verkaart, S. (2021). Advancing resilience measurement. *Nature Sustainability*, 4(4), 288-289.

K

Karrouchi. M , Ouazzani.M , Touhami , M. Oujidi , et M.Chourak 2016: Cartographie des zones à risque d'inondation dans la région Tanger-Tétouan: Cas du bassin versant de Martil (Nord du Maroc). *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-9324

Keating, A.; Campbell, K.; Szoenyi, M.; Mcquistan, C.; Nash, D.; Burer, M. . (2017), Development and testing of a community flood resilience measurement tool. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*17, 77–101.

Kellens, W., Terpstra, T., & De Maeyer, P. (2013). Perception and communication of flood risks: a systematic review of empirical research. *Risk analysis*, 33(1), 24-49. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2012.01844.x

Khattabi, A., & Sefriti, A. (2005). Aspects socio-économiques de la zone humide de Restinga-Smir. Ecosystèmes côtiers sensibles de la Méditerranée: cas du littoral de Smir. *Trav. Inst. Sci. série générale*, 4, 91-99.

Klein, R.J.T., Nicholls, R.J. et Frank, T. (2004). “Resilience to natural hazards: how useful is this concept?”, *Environmental Hazards*, vol. 5, p. 35-45. DOI : [10.1016/j.hazards.2004.02.001](https://doi.org/10.1016/j.hazards.2004.02.001).

Kohonen. T, Kaski,S, and Lappalainen,H, (1997) Self-organized formation of various invariant feature lters in the adaptive-subspace SOM, *Neural Computation*, 9 1321-1344. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.6.1321>

Kohonen, T. (1982). Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological cybernetics*, 43(1), 59-69.

Komprobst, J.. (1966). A propos de\ peridotites du Massif des Beni Bouchera (Rif septentrional Maroc) *Bull. Soc. i-r. Mineral.* Cristallogr 89: 399~404.

Kornprobst. J.. 1971- 1974. Contributlon à l’étude péographlque et structurale dc la zone Interne du RII (Maroc septentrional) *Notes Mém. Serv. Géol. Maroc*, 25 I : 256 pp.

Kotzee, Ilse, and Belinda Reyers (2016). ‘Piloting a Social-Ecological Index for Measuring Flood Resilience: A Composite Index Approach’. *Ecological Indicators* 60 (January): 45–53. doi:10.1016/j.ecolind.2015.06.018

Krausmann, F., Fischer-Kowalski, M., Schandl, H., & Eisenmenger, N. (2008). The global sociometabolic transition: past and present metabolic profiles and their future trajectories. *Journal of Industrial ecology*, 12(5-6), 637-656. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2008.00065.x>

Kuhlicke, C., Callsen, I., & Begg, C. 2016. Reputational risks and participation in flood risk management and the public debate about the 2013 flood in Germany. *Environmental science & policy*, 55, 318-325 <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.06.011>.

L

Lahsaini Meriam, (2017). Structuration d’une base de données spatiale sur les risques d’inondation. Approche vers une Standardisation à l’échelle du Maroc. Thèse de doctorat, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah.

Lakhdar, I., Orbi, A., HILMI, K., ZIDANE, F., & Sarf, F. (2001). Etude d'impact des apports terrigènes sur l'activité aquacole dans la Baie de M'diq (Maroc). *J. Rech. Océanographique*, 26(4), 50-60.

Lallau B., (2014). « La résilience contre la faim–Nouvelle donne ou nouvel artifice », 8e Journées de recherches en sciences sociales, Grenoble, Sfer/Inra/Cirad, 11-12 décembre, <http://resiliences.univ-lille1.fr/wpcontent/uploads/LALLAU-SFER-décembre-2014.pd>.

Lamribah, (2014). Influence de la pollution urbaine sur la qualité microbienne et physicochimique des eaux souterraines de la nappe phréatique de Martil au Maroc these de doctorat en biologie de l'environnement Université Abdelmalek Essaadi Faculté des Sciences Tétouan 240p.

Lazaar, M., (2013). Contribution `à la sélection des modèles d'architectures dans les réseaux de neurones artificiels et apprentissage : Application aux problèmes réels. Fès : Thèse de doctorat de présentée à la faculté de sciences et techniques.

Le berre M., (1995). « Territoires », dans Bailly A., Ferras, Pumain D., 1995, Encyclopédie de Géographie. *Economica*. p 601-622.

Leblanc, D. 1975-1979. Etude géologique du Rifexterne oriental au Nord de Taza, Maroc. *These Universite Paul Sabatier, Toulouse; Notes et M~rn.* Ser. Gbol. Maroc n°281, 160 pages, 50 Fig. 1 pl. h. t.

Ledoux, B. (2006). La gestion du risque inondation. *Éditions Tec & Doc*.

Leikine, M. (1969). La chaîne du Haouz au nord de Tétouan (Jbl Dersa). *Éd. du Service Géologique du Maroc*.

Le Tellier. J, 2006. Les recompositions territoriales dans le Maroc du nord. Dynamiques urbaines dans la péninsule tingitane et gouvernance des services de base à Tanger et à Tétouan (Maroc). Thèse de doctorat. L'Université aix-marseille i discipline : Géographie formation doctorale : espaces, cultures, sociétés (école doctorale n° 355 <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00947479/>)

Lhomme, S., Serre, D., Diab, Y. and Laganier, R. (2011). A methodology to produce interdependent networks disturbance scenarios, *In International Conference on Vulnerability and Risk Analysis and Management, Engineers, A. S. of C. (ed.)*, University of Maryland, Hyattsville, MD, USA, 10 p.

Liao, K. 2012. A theory on urban resilience to floods—a basis for alternative planning practices. *Ecology and Society* 17(4):48. <http://dx.doi.org/10.5751/es-05231-170448>

L.P.E.E. (1987): Mém. C.E.A. de Géologie, Uni. Mohamed V, Fac. Sci. Rabat, 72 p.

Lutz, W., & KC, S. (2010). Dimensions of global population projections: what do we know about future population trends and structures? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2779-2791.

Maaté, A. (1984). Etude géologique de la couverture mésozoïque et génozoïque des unités ghomarides au nord de Tetouan (Rif interne, Maroc).

Macchi, Luigi. (2010). Resilience engineering approach to the evaluation of performance variability: development and application of the Functional Resonance Analysis Method for Air Traffic Management safety assessment. *Thèse de doctorat en sciences et génie des activités à risque*, Paris, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 176p.

Manyena, S. B. (2006). The concept of resilience revisited. *Disasters*, 30(4), 434-450. <https://doi.org/10.1111/j.0361-3666.2006.00331.x>

Mathieu J.-P. (1991), Dictionnaire de physique, Paris, Masson, 567 p.

Mathevet R. et Bousquet,F. (2014). Résilience et environnement. *Pensez les changements socio écologiques* .Paris : Buchet/ Chastel, 169p

Medd-dppr, (2004) : Les inondations ; MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ; risques naturels majeurs –*Dossier d'information* 19p. <http://www.mementodumaire.net/wp-content/uploads/2012/07/Risque-inondations-2004.pdf>

Melanson, A., Nadeau, S. (2019). Resilience engineering for sustainable prevention in the manufacturing sector: A comparative study of two methods of risk analysis. *American Journal of Industrial and Business Management*, vol.9, p. 267-281.

Mens, M. J. P., F. Klijn, K. M. De Bruijn, and E. van Beek. (2011). The meaning of system robustness for flood risk management. *Environmental Science and Policy* 14:1121-1131. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2011.08.003>

Michard, A. (1983). Les nappes de Mascate (Oman), Rampe epicontinentale d'obduction a facies schiste bleu, et la dualité apparente des ophiolites omanaises. *Sciences Géologiques, bulletins et mémoires*, 36(1), 3-16.

Millennium Ecosystem Assessment. (2006). Ecosystems and human well-being. Working Group Assessment Reports, Five Volumes. *Island Press*, Washington, D.C., USA

Ministère de l'Intérieur, (2017) : Programme de gestion intégrée des risques de catastrophes naturelles et de la résilience ; Manuel Opérationnel du Programme (MOP) 92p <https://www.gestionrisques.ma/web/files/MOP-25-09-17.pdf>

Moine A., (2005). Le territoire comme un système complexe. Des outils pour l'aménagement et la géographie. *Septièmes Rencontres de Théo Quant*, Feb 2005, Besançon, France. <http://thema.univcomte.fr/theoq/pdf/2005/TQ2005%20ARTICLE%2017.pdf.fhal-00867363f>.

Morarech, M. (2002). Etat de l'environnement de la ville de Tétouan (Doctoral dissertation, Université Mohammed V-Agdal, Faculté des sciences).

Morin, M., (2008). Concepts de base en sécurité civile, 60 pages pp.

Mostert, E., M. Craps, and C. Pahl-Wostl (2008). Social learning: the key to integrated water resources management? *Water International* 33(3):293-304.
<http://dx.doi.org/10.1080/02508060.802275757>

N

Nachite, D., Amri, I., Anfuso, G., Bello, E., Marocchino, E., Benavente, J., & Vaccaro, C. (2005). Geoquímica de los sedimentos de playas entre Fnideq y M'diq (Tetuán, NE de Marruecos). *Geogaceta*, 38, 159-162.

Nardo, M, Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A. and Giovannini, E. (eds.) (2005a). Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide. OECD Statistics Working Paper. OECD, Paris.

Nejjari .A (2014), Vulnérabilité environnementale et planification urbaine, états des lieux : cas du littoral M'diq-F, *Revue AFN Maroc*, N° : 12-14. 2014.

Neumann. B , A. T. Vafeidis, J. Zimmermann and R. J. Nicholls, (2015). 'Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding – a global assessment' 10 (6) *PLOS ONE* 1-34.

Niazi S. (2007). Evaluation des impacts des changements climatiques et de l'élévation du niveau de la mer sur le littoral de Tétouan (Méditerranée occidentale du Maroc): Vulnérabilité et Adaptation. Thèse de Doctorat d'Etat. Faculté des Sciences, Université Mohammed V, Rabat

Nicholls. R. J., Hanson. S, Herweijer. C, Patmore. N, Hallegatte. S, Corfee Morlot. J, Chateau. J, Muir-Wood. R. (2008) Ranking Port Cities with High Exposure and Vulnerability to Climate Extremes. 2008, 2

Nivresse M.in OIEau, (2018). Observatoire régional des risques majeurs, article sur les inondations. Article de web..<https://prmrpaca-drupal.brgm-rec.fr/phenomenes/phenomenes-naturels/inondations>

Nold, M., Uttinger, J., & Wildi, W. (1981). Géologie de la Dorsale calcaire entre Tétouan et Assifane (Rif interne, Maroc). *Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc*, 233, 1-233.

Norris F. H., Stevens, S. P., Pfefferbaum, B., Wyche, K. F., & Pfefferbaum, R. L. (2008). Community resilience as a metaphor, theory, set of capacities, and strategy for disaster readiness. *American journal of community psychology*, 41(1-2), 127-150.
<https://doi.org/10.1007/s10464-007-9156-6>.

O

OECD, (2004). l'Organisation de coopération et de développement économiques *Perspectives économiques de l'OCDE, Volume 2004 N° 1*, OECD Publishing, [ISBN :978-92-64-01616-3](https://doi.org/10.1787/9789264016163)

OECD, (2008). HANDBOOK ON CONSTRUCTING COMPOSITE INDICATORS: METHODOLOGY AND USER GUIDE – ISBN 978-92-64-04345- .

ONU-DAES, (2014) :Rapport de l'ONU intitulé « Perspectives sur l'urbanisation mondiale : édition 2014 .<http://esa.un.org/unpd/wup/DataQuery/>.

Orbi, A., Lakhdar Idrissi, J., Himl, K., & Sarf, F. (1997). Etude hydrodynamique (courantologique) dans la baie de M'diq. *Trav. Doc*, (104).

P

Paeth. H , Nicholas M.J. Hall, Miguel Angel Gaertner, Marta Dominguez Alonso, Sounmaïla Moumouni, Jan Polcher, Paolo M. Ruti, Andreas H. Fink, Marielle Gosset, Thierry Lebel, Amadou T. Gaye, David P. Rowell, Wilfran Moufouma-Okia, Daniela Jacob, Burkhardt Rockel, Filippo Giorgi and Markku Rummukainen. Progress in regional downscaling of west African precipitation. *ATMOSPHERIC SCIENCE LETTERS. Sci. Let.* 12: 75–82 (2011). DOI: [10.1002/asl.306](https://doi.org/10.1002/asl.306).

Pahl-Wostl, C., J. Sendzimir, P. Jeffrey, J. Aerts, G. Bergkamp, and K. Cross. (2007). Managing change toward adaptive water management through social learning. *Ecology and Society* 12 (2):30. <http://dx.doi.org/10.5751/es-02147-120230>

Paquet, G. (1999). La résilience dans l'économie (pp. 99-34). Faculty of Administration, University of Ottawa.

Pagano, A., Pluchinotta, I., Giordano, R., & Vurro, M. (2017). Drinking water supply in resilient cities: notes from L'Aquila earthquake case study. *Sustainable cities and society*, 28, 435-449.

Papadopoulos, T., Gunasekaran, A., Dubey, R., Altay, N., Childe, S. J., & Fosso-Wamba, 2017. S. The role of Big Data in explaining disaster resilience in supply chains for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1108-1118. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.059>,

Patriarca R, Di Gravio, G., Constantino, F., Tronci, M. (2017). The functional resonance analysis method for a systematic risk based environmental auditing in a sinter plant: A semi-quantitative approach. *Environmental Impact Assessment Review*, 63, 72-86. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2016.12.002>

Pateau, M. (2014). De l'aléa au risque naturel: cas de la région Tanger-Tétouan (Rif, Maroc). *Geo-Eco-Trop*, 38(1), 23-32.

PDAIRE. (2012). Study to Update Master Plan for Integrated Management of Water Resources in the Lokkoss Basin, Report PDAIRE.

PNUD (2014). Rapport sur le développement humain 2014 : Pérenniser le progrès humain : réduire les vulnérabilités et renforcer la résilience, Programme des Nations Unies pour le développement.

Pulvirenti, L., Pierdicca, N., Chini, M., Guerriero, L., (2011) b. An algorithm for operational flood mapping from Synthetic Aperture Radar (SAR) data using fuzzy logic. *Natural Hazards and Earth System Science*, 11(2): 529-540. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-529-2011>

R

Raoult, J. F. (1966). La chaîne du Haouz, du col d'Azlu d'Arabia au Bab Aonzar. *Notes et Mémoires du Service Géologique (Rabat)*, (184), 61-131.

Raadgever, G. T., E. Mostert, N. Kranz, E. Interwies, E., and J. G. Timmerman. (2008). Assessing management regimes in transboundary river basins: do they support adaptive management? *Ecology and Society* 13(1):14. <http://dx.doi.org/10.5751/es-02385-130114>.

Resilience alliance, (2010). Assessing Resilience in Social-Ecological Systems: Workbook for Practitioners, Version 2.0, consultable à partir du site internet, <http://www.resalliance.org>, 2010.

RGPH (2014), Recensement Général de la Population et de l'Habitat. https://rgph2014.hcp.ma/downloads/Publications-RGPH-2014_t18649.html, 2014.

Rufat, S. (2018). Estimations de la résilience des territoires, sociétés, villes. Méthodes, mesures, validations. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, (Hors-série 30). <https://doi.org/10.4000/vertigo.19223>.

Rioust, É. (2012). Gouverner l'incertain : adaptation, résilience et évolutions dans la gestion du risque d'inondation urbaine : les services d'assainissement de la Seine-Saint-Denis et du Val-de-Marne face au changement climatique. *Doctoral dissertation*, Université Paris-Est.

Robert. S. (2019). Penser la résilience morphologique des formes du paysage ". *Territoires postruraux*. Généalogies, Perspectives / Territori post-rurali. Généalogie, Prospective, édité par Marta De Marchi et Hessam Khorasani Zadeh, Officina Edizioni.,. Quaderni del Dottorato di Ricerca in Urbanistica IUAV. Rome, 2020, pp.27-35, 2020.

Roumagnac, A. (2021) : Présentation du projet Vigirisque en développement au Maroc ; Réduction des risques de catastrophes majeures au Maroc Enjeux et perspective. AFPCN , *Webinaire du 10/03/2021*

Romagny, A. (2014). Évolution des mouvements verticaux néogènes de la chaîne du rif (nord-maroc): apports d'une analyse structurale et thermo chronologique (Doctoral dissertation, Université Nice Sophia Antipolis).

Q

Qasim, S., Qasim, M., Shrestha, R. P., Khan, A. N., Tun, K., & Ashraf, M. (2016). Community resilience to flood hazards in Khyber Pukhthunkhwa province of Pakistan. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 18, 100-106. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.03.009>.

Quenault B.e, (2016). La rhétorique de la résilience, une lueur d'espoir à l'ère de l'anthropocène ? : Vers un changement de paradigme fondé sur l'acceptation de la catastrophe. Presses universitaires de Laval. Les villes à la croisée des stratégies globales et locales des enjeux climatiques, *Sociologie contemporaine*, 978-2-7637-2874-2, p. 374.

Quenault, B., (2013). « Retour critique sur la mobilisation du concept de résilience en lien avec l'adaptation des systèmes urbains au changement climatique », à paraître in *EchoGéo*, n°24, numéro spécial « Politiques et pratiques de la résilience », avril-juin 2013, <http://echogeo.revues.org/>.

S

- Sabrina, A., & Mundula, L. (2019).** RESILIENCE, SMARTNESS AND SUSTAINABILITY. TOWARDS A NEW PARADIGM ? In *INPUT aCAdeMy 2019* pp. 539-548). FedOAPress-Federico II Open Access University Press. <http://hdl.handle.net/11584/279427>.
- Saddiqi, O. (1988).** Tectonique de la remontée du manteau: les péridotites des Beni Bousera et leur enveloppe métamorphique, Rif interne, Maroc (Doctoral dissertation, Strasbourg 1).
- Salhi, A., Martin-Vide, J., Benhamrouche, A., Benabdelouahab, S., Himi, M., Benabdelouahab, T., & Ponsati, A. C. (2019).** Rainfall distribution and trends of the daily precipitation concentration index in northern Morocco: a need for an adaptive environmental policy. *SN Applied Sciences*, 1(3), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0290-1>.
- Satour, N., Raji, O., El Moçayd, N., Kacimi, I., and Kassou, N (2021):** Spatialized flood resilience measurement in rapidly urbanized coastal areas with a complex semi-arid environment in northern Morocco, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 21, 1101–1118, <https://doi.org/10.5194/nhess-21-1101-2021>.
- Satta, A., Snoussi, M., Puddu, M., Flayou, L., & Hout, R. (2016).** An index-based method to assess risks of climate-related hazards in coastal zones: The case of Tetouan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 175, 93-105. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.03.021>.
- Serre D. (2011).** La ville résiliente aux inondations. Méthodes et outils d'évaluations, *Mémoire d'Habilitations à Diriger les Recherches*, Université Paris-Est.
- Schelfaut K., Pannemans B., Van der Craats I., Krywkow J., Mysiak J., Cools J., 2011,** "Bringing flood resilience into practice: the FREEMAN project", *Environmental Science & Policy*, Vol.14, No.7, 825-833. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.02.009>.
- Schipper, E. L. F., & Langston, L. (2015).** A comparative overview of resilience measurement frameworks. *Analyzing Indicators and Approaches; Overseas Development Institute: London, UK*, 422.
- Sherrieb, K., Norris, F. H., & Galea, S. (2010).** Measuring capacities for community resilience. *Social indicators research*, 99(2), 227-247.
- Slim, H., Nadeau, S., & Morency, F. (2018a).** FRAM: A complex system's approach for the evaluation of aircraft on-ground deicing operations. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Frankfort, Allemagne, Fev. 21-23, 2018) *Coll. « Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft »*, vol. 64. GFA Press
- Smit, B., Wandel, J., (2006).** Adaptation, adaptive capacity and vulnerability, *Global Environmental Change*, 16, 282-292.
- Speth, P., Christoph, M., & Diekkrüger, B. (Eds.). (2010).** Impacts of global change on the hydrological cycle in West and Northwest Africa. Springer Science & Business Media. SUTER G. (1980). – Carte géologique de la chaîne rifaine. 1:50.000. – *Serv. Geol. du Maroc*, Notes et Mémoires, 245a.

Suter. G. (1965): La région du Moyen Ouerrha (Rif. Maroc). Etude préliminaire sur la stratigraphie et la tectonique. - *Notes Mém. Serv. géol. Maroc* 183. 7-17

SMBVL. Le Syndicat Mixte du Bassin Versant du Lez. <http://www.smbvl.fr/le-bassin-versant/>

Stitou El Messari, J. (2002). Etude de la salinité des eaux souterraines des aquifères côtiers Martil-Alila et Smir: Intégration des méthodes hydrogéochimiques, géophysiques et isotopiques. *These Doctorat d'Etat Es Sciences. Univ Abdelmalek Essaadi, Tétouan, Maroc*, 281.

Strunz, S., (2012). Is conceptual vagueness an asset? Arguments from philosophy of science applied to the concept of resilience. *Ecological Economics* 76, 112–118.

T

TANGUY M., (2012) : Cartographie du risque d'inondation en milieu urbain adaptée à la gestion de crise analyse préliminaire, doctorat Sciences de l'eau, *Institut national de la recherche scientifique Centre Eau Terre Environnement- Québec*, 103p

Thauvin, J. P. (1971). Ressources en eau du Maroc. *Tome, 1*, 43-67.

Tian, J., Wu, J., Yang, Q., & Zhao, T. (2016). FRAMA: A safety assessment approach based on Functional Resonance Analysis Method. *Safety Science*, 85, 41-52.

Touili, N., (2015) Portfolio d'options pour le renforcement de la résilience: application de principes systémiques de résilience à la gestion des risques d'inondation en Gironde. *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*, (Hors-série 23), 2015 <https://doi.org/10.4000/vertigo.16671>.

Toubin M., Lhomme S., Diab Y., Serre D., et Laganier, R., (2012). La Résilience urbaine: un nouveau concept opérationnel vecteur de durabilité urbaine?. Développement durable et territoires. *Économie, géographie, politique, droit, sociologie*, vol. 3, no 1, 2012. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.9208>.

Tuel, A., & Eltahir, E. A. B. (2020). Why is the Mediterranean a climate change hot spot?. *Journal of Climate*, 33(14), 5829-5843.

Turner B. L., R. E Kasperson ; P. A Matson ; J. Mccarthy ; (2003). “A framework for vulnerability analysis in sustainability science ”, *PNAS*, Vol. 3, n°14

U

UNDRR, CRED, (2020): The United Nations Office for Disaster Risk Reduction 2020-2021 Work Programme, in support of the Sendai Framework for disaster Risk reduction; 35p

UNISDR, (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction <https://www.unisdr.org/we/coordinate/sendai-framework/> (Accessible: 28-Jan-2016).

UNISDR, 2019 : United Nations Office for Disaster Risk Reduction: 2018 annual report ; 108p

UNODRR 2015. United Nation Office for Disaster Risk Reduction Peril Classification and Hazard Glossary (IRDR DATA Publication No. 1). Beijing: Integrated Research on Disaster Risk.

V

Vale J.V., Campanella T.J. (eds.), (2005). *The Resilient City. How modern cities recover from disaster.* New York, Oxford University Press.

Villagràn de Leòn J.C., (2006). Vulnerability: A methodological and conceptual review. *Source*, n° 4, UNU-EHS.

Vinet, F. (2018). Inondations 1: La connaissance du risque. ISTE Group.

Vyas, S., & Kumaranayake, L. (2006). Constructing socio-economic status indices: how to use principal components analysis. *Health policy and planning*, 21(6), 459-468. <https://doi.org/10.1093/heapol/czl029>.

W

Walker B., Holling C.S. Carpenter (2004). Perspective Resilience, Adaptability and Transformability in Social–ecological Systems,

Werner, E., Smith, R. (1992). Overcoming the odds: high risk children from birth to adulthood. Ithaca: Cornell University press.

Wildi, W., & Wernli, R. (1977). Stratigraphie et micropaléontologie des sédiments pliocènes de l'Oued Laou (côte méditerranéenne marocaine). *Archives des Sciences*, 30(2), 213-228.

Wildi, W. (1981). Le Ferrysch: cône de sédimentation détritique en eau profonde à la bordure nord-ouest de l'Afrique au Jurassique moyen à supérieur (Rif externe, Maroc). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 74(2), 481-527.

Wildi, W. (1983). La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie): structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. *Revue de géographie physique et de géologie dynamique*, 24(3), 201-297.

Wisner, B., P. Blaikie, T. Cannon et I. Davis, (2003), At risk. Natural hazards, people's vulnerability and disaster, Second edition, Routledge, London and New York, 496 p.

Y

Yu, S., Kim, S. W., Oh, C. W., An, H., & Kim, J. M. (2015). Quantitative assessment of disaster resilience: An empirical study on the importance of post-disaster recovery costs. *Reliability Engineering & System Safety*, 137, 6-17. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2014.12.007>.

ANNEXE I

Procédure globale de mesure de la résilience par indicateur composite (Asadzadeh et al., 2017)



II.3.1. Définition du cadre théorique

Pour une compréhension précise et claire de ce qu'on cherche à mesurer, et une définition de l'approche multidimensionnelle du phénomène étudié. Un cadre théorique, devrait être élaboré. Il sert de base à la sélection et à la combinaison d'indicateurs uniques en un indicateur composite significatif selon un principe d'adéquation aux objectifs. Pour compiler une liste de critères de sélection pour les variables sous-jacentes.

II.3.2. Pertinence de l'indicateur

Cruciale pour l'identification des indicateurs pertinents et mesurables, cette étape dépend de la manière dont le terme de résilience est défini. L'objectif est de comprendre l'adéquation des indicateurs sélectionnées à l'élaboration de l'indice total.

II.3.3. La sélection des données

Les données utilisées devraient être choisis en fonction de leur validité analytique, mesurabilité, couverture géographique, pertinence par rapport au phénomène mesuré et relation l'un à l'autre. C'est une discussion des forces et des faiblesses des faiblesses de chaque élément. Il est recommandé toujours de créer un tableau récapitulatif des caractéristiques des données (disponibilité (à travers le pays, l'heure), source, type...etc.)

II.3.4. La transformation des données

Les données utilisées sont généralement présentées dans une variété d'unités statistiques ou d'échelles. Durant cette étape, il s'agit de les transformer en une échelle ou une unité de mesure commune. Suivant des moyens techniques comme la normalisation, la standardisation, avant toute analyse approfondie.

- **La normalisation**

C'est le processus qui vise à unifier les unités de mesure commune ou équivalentes pour présenter un indice composite neutre. C'est une transformation de la plage originale de données en utilisant la technique de mise à l'échelle Min-Max.

$$X' = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

Min-Max décompose la valeur de chaque indicateur dans une même plage entre 0 et 1 et fournit des comparaisons faciles à comprendre entre les lieux à un moment donné en permettant d'identifier les données redondantes.

- **La standardisation**

La standardisation est une autre technique de mise à l'échelle où les valeurs sont centrées autour de la moyenne avec un écart type unitaire.

$$X' = \frac{X - \mu}{\alpha}$$

μ : est la moyenne des valeurs des caractéristiques. α est l'écart-type des valeurs des variables caractéristiques. Les valeurs dans ce cas ne sont pas limitées à une plage particulière.

Cette étape utilise souvent la technique du z-score qui produit des indicateurs avec une moyenne de 0 et un écart-type de 1 (Nardo et al., 2008). Une fois la normalisation / la standardisation est effectuée, les indicateurs doivent être pondérés et agrégés (étape 6).

II.3.5. L'analyse multivariée

Une analyse exploratoire qui porte sur la structure globale et l'ensemble de données afin d'expliquer les choix méthodologiques (p. ex. pondération, agrégation) lors de l'élaboration d'un indicateur composite. Elle vise à simplifier et à réduire un grand nombre d'indicateurs candidats et de les classer dans un ensemble de composantes sous-jacents (facteurs) de résilience aux inondations.

II.3.6. La Pondération et l'agrégation.

En fonction du cadre théorique, les indicateurs sont agrégés et pondérés. La sélection des techniques de pondération appropriée et des procédure(s) d'agrégation tout en respectant à la fois le cadre théorique, la pratique et les propriétés des données.

II.3.7. Cartographie et visualisation

Il s'agit d'identifier un ensemble cohérent de des outils de présentation pour le public cible. Les indicateurs composites peuvent être visualisés ou présentés de différentes manières, ce qui peut influencer leur interprétation. Utiliser les Systèmes d'Information Géographique dans ce travail permet de mieux communiquer les indices de résilience élaborés et surtout spatialiser la résilience aux inondations.

II.3.8. La validation

Il s'agit de la dernière étape vers la construction d'un indicateur composite. C'est une vérification du modèle à travers un ensemble de méthodes permettant de juger l'exactitude de l'indice pour faire des prédictions pertinentes. Il existe cinq principaux types de validation sont communément décrits : la validité apparente, la vérification (ou validité interne), validité croisée, validité externe et validité prédictive.