

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ de Bouira



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département : Génie Civil

Mémoire de fin d'études

Présenté par :
FERTAS Walid

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 2** en :

Filière : **Génie Civil.**

Option : **Structure.**

Thème :

**Contribution au développement d'une méthodologie d'évaluation de la
vulnérabilité sociale aux séismes des villes algériennes - Partie I :
Application à l'échelle du bâtiment isolé.**

Devant le jury composé de :

Dr. KENNOUCHE Salim
Dr. MOUSSAOUI Fahem
Mr. SAOUDI Ibrahim

UAMOB
UAMOB
UAMOB

Président
Encadreur
Examineur

Année Universitaire 2019/2020

REMERCIEMENTS

Je voudrais en premier lieu remercier "ALLAH" pour la force que nous a donné pour affronter tout ce trajet . Que "Dieu" nous bénisse.

Je tiens aussi à féliciter et remercier ma famille, **Ma Mère , Mon Père, Mes frères** pour tous leurs soutiens moraux et physiques et économiques durant toute ma carrière d'études .

Je tiens à exprimer ma gratitude et mon remerciement chaleureux mon bras doit dans ce travail , mon encadreur **Dr. MOUSSAOUI Fahem** , pour tout ce qu'il a fait pour moi, pour la force et le courage que ma donnée , et surtout en ces moments difficiles de pandémie .

Je tiens à remercier de fond de mon cœur les enseignants, qui ont été à nos côtés avec moi et mes collègues. Ceux qui sont vivants Dieu les garde , et ceux qui nous ont quittés Dieu leur pardonne .

Je remercie ainsi les membres du jury pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Tous mes remerciements pour mes camarades, mes amis, mes collègues, et pour les moments faciles et difficiles que nous avons partagé ensemble .

Sans oublier mes remerciements pour les personnels de la protection civile, ainsi ceux du service social de la commune de Saharidj pour leurs aides.

FERTAS Walid

DÉDICACES

Je dédie ce fameux travail pour :

Ma mère.

Mon père.

Mes frères.

Toute ma famille et mes proches.

Tous ceux qui m'ont donné la force.

Tous ceux qui sont chers à moi.

TABLES DES MATIÈRES

Remerciements	i
Dédicaces.....	ii
Tables des matières.....	iii
Listes des figures	viii
Listes des tableaux.....	x
Liste des abréviations	xii
Résumé	xiv
Abstract.....	xv
المخلص.....	xvi
Introduction Générale	1

Chapitre I : Recherche Bibliographie- état actuel des connaissances sur le sujet

I.1	Introduction	4
I.2	Le risque	4
I.2.1	L'aléa	4
I.2.2	La vulnérabilité	5
I.3	Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité : état de l'art	5
I.3.1	Les méthodes anglo-saxonnes	5
I.3.2	Les méthodes françaises d'évaluation quantitative	6
I.3.2.1	La méthode inondabilité	6
I.3.2.2	Les techniques hiérarchiques multicritères	6
I.4	Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sociale existante	6
I.4.1	Méthode d'évaluation spatio-temporelle (MOVISS).....	6
I.4.1.1	Objectif et principe de la méthode MOVISS	7
I.4.1.2	Intégration de la mobilité quotidienne de la population dans la méthode	7
I.4.1.3	Quantification de la vulnérabilité sociale.....	7
I.4.1.4	Approche méthodologique sur le Système d'Information Spatio-temporelle	8
I.4.1.5	Fonctionnalité et Architecture de Système d'Information Spatio-temporelle	9
I.4.2	Analyse multicritère spatial (SEVI) et Indice de vulnérabilité sociale (SoVI)	10

I.4.2.1	Cadre organisationnel	10
I.4.2.2	Conception de l'indice : Modèle SoVI contre modèle SEVI	11
I.4.3	Modèle artificielle de réseau neuronal (ANN) pour les séismes.....	12
I.5	Aide multicritères à la décision	12
I.5.1	Contexte générale	12
I.5.2	Illustration de Brunner et Starkl	13
I.5.3	Méthodes multicritères d'aide à la décision.....	13
I.5.4	Méthodes de pondération des critères	14
I.5.5	Exemples des méthodes MMAD les plus utilisées dans la littérature.....	16
I.5.5.1	Technique de préférence d'ordre par similitude avec la solution idéale (TOPSIS) 16	
I.5.5.2	Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR).....	17
I.5.5.3	Élimination et choix exprimant la réalité (ELECTRE).....	18
I.5.5.4	Organisation du classement par préférence méthode d'enrichissement de l'évaluation (PROMETHEE).....	19
I.5.5.5	Analyse relationnelle grise.....	20
I.5.5.6	Méthode pondérée simple (SWM).....	21
I.5.5.7	Le processus de hiérarchie analytique (AHP).....	21
I.5.6	Synthèse des MMAD	22
I.6	Conclusion	24

Chapitre II : vulnérabilité sociale des villes algériennes aux séismes- état des lieux

II.1	Introduction	25
II.2	Structure de la population en Algérie	25
II.2.1	Les conséquences de la colonisation sur l'organisation spatiale précoloniale... 25	
II.2.1.1	La densité de la population en Algérie de 1954-1966	25
II.2.2	Population algérienne après l'indépendance	26
II.2.3	Structure de la population algérienne	28
II.3	Sismicité de l'Algérie	29
II.3.1	Position de l'Algérie par rapport aux plaques lithosphériques	29
II.3.2	Historique de la sismicité de l'Algérie	30
II.4	Les zones sismiques en Algérie.....	31
II.5	Cadre législatif algérien et intégration des dispositions de la protection de la population dans le système réglementaire.....	32
II.5.1	Législation de prévention sismique.....	32

II.5.2	Le risque sismique et l'aménagement du territoire	33
II.5.3	Le système d'assurance –Une prise en charge préventive	33
II.5.4	Construction parasismique une exigence	33
II.6	La culture du risque	34
II.6.1	Sensibilisation du public	34
II.6.2	Le rôle de la communauté scientifique	35
II.7	Conclusion	35

Chapitre III : Proposition d'une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité sociale des villes algériennes aux séismes

III.1	Introduction	36
III.2	Méthodologie proposée	36
III.2.1	Portée de l'étude	36
III.2.2	Structure de la méthodologie.....	36
III.2.2.1	Définition d'un IP	38
III.2.2.2	Modes d'évaluation des IPs	38
III.2.2.3	Éléments d'évaluation de la performance	38
III.3	Approche diagnostique descendante "Top-down"	39
III.3.1	Tableau de bord d'évaluation de la vulnérabilité	39
III.3.2	Méthodes de calcul des IPs	40
III.3.3	Echelles de performance	41
III.3.3.1	Echelles de performance des IPs des critères "Age et sexe de la population"	42
III.3.3.2	Echelles de performance des IPs du critère "Qualité de vie"	42
III.3.3.3	Echelles de performance des IPs du critère "Occupation du bâtiment"	44
III.3.3.4	Echelles de performance des IPs du critère "Secourisme"	45
III.3.3.5	Echelles de performance des IPs du critère "Voisinage du bâtiment"	46
III.3.3.6	Echelles de performance des IPs du critère "Exposition aux séismes"	46
III.3.3.7	Echelles de performance des IPs du critère "Stabilité du bâtiment"	47
III.4	Approche ascendante "Bottom-Up" – Agrégation des performances	47
III.4.1	Définition de l'approche	47
III.4.2	Méthodes d'agrégation des performances	48
III.4.3	Méthode d'agrégation complète	49
III.4.4	Méthode de la Somme Pondérée (MSP)	49
III.5	Méthode Analytic Hierarchic Process (AHP)	49

III.5.1	Présentation générale de la méthode	49
III.5.2	Etapes de la procédure AHP.....	50
III.5.2.1	Hiérarchisation des indicateurs par importance	50
III.5.2.2	Comparaison des indicateurs par importance	50
III.5.2.3	Détermination des poids associés à chaque indicateur	51
III.5.2.4	Vérification de la consistance de résultat.....	52
III.6	Conclusion	53

Chapitre IV: Application de la méthodologie proposée sur des cas réels de bâtiments d'habitation

IV.1	Introduction	54
IV.2	Présentation du cas d'étude	54
IV.3	Présentation des données statistiques et calcul des IPs	56
IV.4	Calcul des performances des IPs	58
IV.5	Pondération des IPs – Application de la méthode AHP	60
IV.5.1	Pondération des IPs du sous-objectif " <i>IF</i> "	61
IV.5.1.1	Etape 01 : Construction de la matrice de décision.....	61
IV.5.1.2	Etape 02 : Calcul des poids des IPs	61
IV.5.1.3	Etape 03 : Vérification de la consistance des résultats	61
IV.5.2	Récapitulatif du calcul des coefficients de pondération	62
IV.5.2.1	Pondération des IPs.....	62
IV.5.2.2	Pondération des critères	63
IV.5.2.3	Pondération des sous-objectifs	64
IV.6	Calcul des performance – Agrégation multicritère.....	64
IV.6.1	Agrégation IPs.....	65
IV.6.2	Agrégation des critères	65
IV.6.3	Agrégation des sous-objectifs	65
IV.7	Organigramme conceptuel de calcul des performances	65
IV.8	Programmation numérique de la méthodologie.....	67
IV.8.1	Présentation de Visual Basic	67
IV.8.2	Formulation du programme.....	67
IV.8.3	Le langage utilisé dans la programmation.....	68
IV.9	Discussion des résultats	68
IV.10	Conclusion	69

Conclusion Générale.....	71
--------------------------	----

Bibliographie	73
---------------------	----

Listes des figures

Chapitre I

Figure I.1. Illustration des composants du risque.....	4
Figure I.2. Interaction de formes de vulnérabilité	5
Figure I.3. Méthode de construction de l'indice de vulnérabilité.	8
Figure I.4. Fonctionnalité de système GenGHIS.....	9
Figure I.5. Architecture de système d'information spatio-temporelle.	10
Figure I.6. Cadre général de construction des indices de vulnérabilité sociale.....	11
Figure I.7. Recherche de la solution optimum selon (Brunner et Starkl, 2004).....	13

Chapitre II

Figure II.1. Evolution de la population totale en Algérie entre 1962 et 2015 (ONS, 2019).	26
Figure II.2. Répartition de la population sur le territoire (% / à la surface totale) (Moussaoui, 2018).....	27
Figure II.3. Développement de la population urbaine (Banque Mondiale, 2018).....	27
Figure II.4. Densité de la population par wilaya en 2008.....	28
Figure II.5. Développement de la population Algérienne (Banque Mondiale, 2018)	29
Figure II.6. Plaques tectoniques au monde et leurs directions de mouvement.....	29
Figure II.7. Les zones sismiques en Algérie.....	31
Figure II.8. Zones sismiques et la vulnérabilité des territoires en Algérie	32

Chapitre III

Figure III.1. Structure de la méthodologie adoptée.	37
Figure III.2. Démarche adopté pour la construction et l'évaluation des IPs.....	37
Figure III.3. Logique de l'approche descendante « Top-Down »	39
Figure III.4. Echelles de performance des IPs des critères AG et SX	42
Figure III.5. Echelle de performance de l'indicateur <i>Nes</i>	43
Figure III.6. Echelle de performance de l'indicateur <i>Tocc</i>	44
Figure III.7. Echelle de performance de l'indicateur <i>Tol</i> (Logements F2 et F3)	45
Figure III.8. Echelle de performance de l'indicateur <i>Tol</i> (Logements F4 et F5)	45
Figure III.9. Les étapes de l'approche ascendante	48

Chapitre IV

Figure IV.1. Localisation de la commune de Saharidj dans la wilaya de Bouira.....	54
Figure IV.2. Photo satellitaire de la commune de Saharidj	55
Figure IV.3. Photo du bâtiment étudié	55
Figure IV.4. Localisation du bâtiment étudié	56
Figure IV.5. Statistiques de la population résidente dans le bâtiment.....	56
Figure IV.6. Résultats du questionnaire d'évaluation du niveau de sensibilisation aux séismes de la population	57
Figure IV.7. Distance entre le bâtiment et l'hôpital de M'chedallah	58
Figure IV.8. Distance entre le bâtiment et la protection civil de M'chedallah	58
Figure IV.9. Performances des IPs des critères du sous-objectif <i>IF</i>	59
Figure IV.10. Performances des IPs des critères du sous-objectif <i>AC</i>	60
Figure IV.11. Performances des IPs des critères du sous-objectif <i>AP</i>	60
Figure IV.12. Organigramme conceptuel des calcul des performances par la MSP	66
Figure IV.13. Interface de Visual Basic	67
Figure IV.14. L'interface de travail de programme.	68

Listes des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1. Problématiques différentes de l'aide multicritères (Roy et Bouyssou 1993).....	14
Tableau I.2. Méthodes de pondération utilisables lors de l'analyse multicritères.	15
Tableau I.3. Méthodes de pondération utilisables lors de l'analyse multicritères.(suite)	16
Tableau I.4. Synthèse des MMAD présentées dans ce chapitre	23
Tableau I.5. Synthèse des MMAD présentées dans ce chapitre (suite).....	24

Chapitre II

Tableau II.1. Développement de la population Algérienne durant la période coloniale (Ammi, 2019)	25
Tableau II.2. L'historique de la sismicité en Algérie (1365-2010) (Lillouch, et al, 2019).....	30
Tableau II.3. L'historique de la sismicité en Algérie (1365-2010) (Lillouch, et al, 2019) (suite).....	31
Tableau II.4. Les zones sismiques de l'Algérie.....	31

Chapitre III

Tableau III.1. Tableau de bord de l'évaluation de la vulnérabilité sociale	39
Tableau III.2. Tableau de bord de l'évaluation de la vulnérabilité sociale (Suite).....	40
Tableau III.3. Méthodes de calcul des IPs	40
Tableau III.4. Méthodes de calcul des IPs (Suite).....	41
Tableau III.5. Echelles de performance des IPs des critères AG et SX.....	42
Tableau III.6. Echelle de performance de l'indicateur <i>MoPhy</i>	43
Tableau III.7. Horaires d'occupation du logement.....	44
Tableau III.8. Echelle de performance de l'indicateur <i>Tocc</i>	44
Tableau III.9. Echelle de performance des indicateurs <i>Dishop</i> et <i>Disppc</i>	46
Tableau III.10. Echelle de performance des indicateurs <i>Dishop</i>	46
Tableau III.11. L'indice de performance selon la présence de la zone de dégagé.....	46
Tableau III.12. Echelle de performance de l'indicateur <i>Zon</i>	46
Tableau III.13. Echelle de performance de l'indicateur <i>Cocons</i>	47
Tableau III.14. Echelle de performance de l'indicateur <i>Abat</i>	47
Tableau III.15. Echelle de performance de l'indicateur <i>Abat</i>	47
Tableau III.16. Degré d'importance des indicateurs	50

Tableau III.17. Degré d'importance des indicateurs (suite).....	51
Tableau III.18. Valeurs de RI	52

Chapitre IV

Tableau IV.1. Tableau des données recensées sur le bâtiment étudié.....	57
Tableau IV.2. Tableau des performances des IPs.....	59
Tableau IV.3. Matrice de décision du sous-objectif IF	61
Tableau IV.4. Hiérarchisation des IPs selon leur importance	62
Tableau IV.5. Calcul des poids des IPs	63
Tableau IV.6. Hiérarchisation des critères selon leur importance.....	63
Tableau IV.7. Calcul des poids des critères.....	64
Tableau IV.8. Hiérarchisation des sous-objectifs selon leur importance	64
Tableau IV.9. Calcul des poids des sous-objectifs	64

Liste des abréviations

PNUD: Programme des Nations Unies pour le Développement.

MOVISS: Méthodes et Outils pour l'évaluation de la Vulnérabilité Sociale aux Séismes.

IVS: Indices de Vulnérabilité Sociale.

SIRN: Systèmes d'Informatiques dédiés aux Risques Naturels.

SoVI: Social Vulnerability Index.

SEVI: Socio-Economic Vulnerability Index.

ANN: Artificial Neural Network.

AHP: Analytic Hierarchy Process.

TOPSIS: Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution.

MMAD: Méthodes Multicritères d'Aide à la Décision.

VIKOR: Vlsekriterijumska optimizacija I Kompromisno Resenje.

RPA: Règlement Parasismique Algérien.

ONS: Office National des Statistiques.

CRAAG: Centre de Recherche en Astronomie Astrophysique et Géophysique.

CGS: Centre de national de recherche appliquée en Génie Para-Sismique.

ASAL: Agence Spatiale Algérienne.

IPs: Indicateurs de Performances.

AG: Age

SX: Sexe.

QV: Qualité de Vie.

OB: Occupation du Bâtiment.

SR: Secourisme.

VB: Voisinage de Bâtiment.

ES: Exposition au Séismes.

SB: Stabilité du Bâtiment.

Ppa65: Pourcentage des personnes âgées > 65 ans.

Pe15: Pourcentage des enfants < 15 ans.

Pf: Pourcentage des femmes.

Pfe: Pourcentage des femmes enceintes.

Pf5: Pourcentage des femmes avec > 5 enfants.

Nes: Niveau d'éducation et de sensibilisation.

MoPhy: Mobilité physique des occupants.

Tol: Taux d'occupation du logement.

Tocc: Temps d'occupation.

Disppc: Distance au postes de protection civil.

Accbat: Accessibilité au bâtiment.

Pzldeb: Présence de zones libre et dégagé à l'extérieur du bâtiment.

Zon: Zonage.

Cocons: Code de construction.

Abat: Age de bâtiment.

Nstbat: Nombre de séismes > 4.5 ayant touché le bâtiment.

MSP: Méthode de la Somme Pondérée.

Résumé

La vulnérabilité sociale fait autant partie du risque que les dommages aux bâtiments et les pertes économiques; La vulnérabilité sociale fait référence à la capacité d'une communauté humaine exposée à l'impact d'un aléa naturel (dans ce cas, un tremblement de terre) de résister, de faire face et de se remettre de cet impact.

D'après une étude publiée par l'Office Nationale des Statistiques, plus de 90% de la population est concentrée dans la région nord de l'Algérie (ensemble tellien et hauts plateaux). Cette partie appartient à la ceinture périméditerranéenne où les plaques lithosphériques africaines et eurasiennes convergent dans le sens NW-SE. La déformation régionale induite par ce mouvement de confrontation engendre des séismes d'intensités moyennes à fortes.

Cette étude constitue une contribution au développement d'une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité sociale des bâtiments d'habitation en Algérie. Cette méthodologie est basée sur deux approches : l'approche descendante (Top-down) et l'approche ascendante (Bottom-up). La première est descendante qui a pour but de construire un tableau de bord contenant les différents paramètres d'évaluation de la vulnérabilité sociale d'un bâtiment d'habitation. La deuxième est une agrégation multicritère basée sur la méthode de la somme pondérée par la méthode AHP.

Une application sur un cas réel dans la commune de Saharidj, daïra de M'chedallah, Wilaya de Bouira, a été achevée dans le but de démontrer la méthodologie développée. Les résultats obtenus sont très intéressants et soulignent l'intérêt d'une telle approche.

Mots-clés: Vulnérabilité sociale, bâtiment d'habitation, indicateur de performance, méthode AHP, agrégation multicritère.

Abstract

Social vulnerability is as much a part of the risk as building damage and economic loss; It refers to the ability of a human community exposed to the impact of a natural hazard (in this case, an earthquake) to resist, cope with, and recover from that impact.

According to a study published by the National Statistics Office more than 90% of the population is concentrated in the northern region of Algeria (Tellien and highlands). This part belongs to the perimediterranean belt where the African and Eurasian lithospheric plates converge in the NW-SE direction. The regional deformation induced by this confrontational movement generates earthquakes of medium to strong intensity.

This study is a contribution to the development of a methodology for assessing the social vulnerability of housing buildings in Algeria. This methodology is based on two approaches: the top-down approach and the bottom-up approach. The first one is top-down and aims at building a dashboard containing the different parameters for assessing the social vulnerability of a housing building. The second is a multi-criteria aggregation based on the AHP weighted sum method.

An application on a real case in the commune of Saharidj, daïra of M'chedallah, Wilaya of Bouira, has been completed in order to demonstrate the developed methodology. The results obtained are very interesting and underline the interest of such an approach.

Keywords: Social vulnerability, housing building, performance indicator, AHP method, multicriteria aggregation.

ملخص :

الضعف الاجتماعي هو جزء من المخاطر التي تلحق بالضرر بالمباني والخسائر الاقتصادية. يشير الضعف الاجتماعي إلى قدرة المجتمع البشري المعرض للخطر الطبيعي (في هذه الحالة ، الزلزال) على مقاومته والتعامل معه والتعافي منه.

وفقاً لدراسة نشرها مكتب الإحصاء الوطني ، يتركز أكثر من 90٪ من السكان في المنطقة الشمالية من الجزائر (منطقة الأطلس التلي والمرتفعات). ينتمي هذا الجزء إلى الحزام المحيط المتوسطي حيث تتلاقى الصفائح التكتونية الإفريقية والأورواسيوية في اتجاه شمال غرب وجنوب شرق. إن التشوه الإقليمي الناجم عن حركة هذه الصفائح يولد زلازل من شدة متوسطة إلى قوية.

هذه الدراسة مساهمة في تطوير منهجية لتقييم الضعف الاجتماعي للمباني سكنية في الجزائر. تعتمد هذه المنهجية على نهجين : نهج من الأعلى إلى الأسفل ونهج من الأسفل إلى الأعلى. الأول هو من الأعلى إلى الأسفل ، ويهدف إلى بناء لوحة تحكم تحتوي على معايير مختلفة لتقييم الضعف الاجتماعي لمبنى سكني. والثاني عبارة عن تجميع المعايير المتعددة، يعتمد AHP على طريقة المجموع الموزونة بطريقة.

تم تطبيق المنهجية المطورة على مبنى حقيقي في بلدية صحاريح ، دائرة مشد الله ، ولاية البويرة ، من أجل توضيحها. النتائج التي تم الحصول عليها مثيرة للاهتمام للغاية وتؤكد على الاهتمام بمثل هذا النهج.

الكلمات المفتاحية: الضعف الاجتماعي ، المباني السكنية ، مؤشر الأداء ، التجميع متعدد المعايير

طريقة AHP

Introduction générale

Toute politique de prévention et de réduction des risques a comme objectif fondamental de protéger les vies humaines, les biens matériels et immatériels d'un territoire. Il est important de comprendre ce qui rend un territoire « vulnérable » ou « fragile » face à une catastrophe. En effet, désigner une population comme étant vulnérable, c'est donner la possibilité de faire l'objet d'une politique publique particulière de prévention ou de préparation pour diminuer cette vulnérabilité.

L'étude considère la vulnérabilité de la population comme quelque chose qui ne repose pas uniquement sur la population elle-même mais aussi sur des caractéristiques politiques, économiques, sociales et spatiales du territoire dans lequel elle vit.

Néanmoins, les évaluations de la vulnérabilité sociale face aux catastrophes naturelles sont une démarche complexe puisqu'elle regroupe plusieurs domaines de compétence et mobilise un grand nombre de connaissances pratiques et théoriques (Moussaoui, 2018).

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sociale des villes et des territoires face aux catastrophes naturelles (notamment vis-à-vis des séismes). On cite à titre d'exemple et non à titre exhaustif : la méthode d'évaluation spatio-temporelle de la vulnérabilité sociale, qui repose sur le mouvement de la population, La méthode de calcul d'indice de vulnérabilité qui est composé de deux ratios (pauvreté et démographie) (Armas, 2008), la méthode d'évaluation de la vulnérabilité avec l'approche quantitative, la méthode d'analyse multicritères spatiale et l'indice de vulnérabilité sociale, etc. Chacune d'entre elles est basée sur des paramètres localement mesurables et adapté à un contexte bien spécifique. De ce fait, la définition et le développement d'une méthodologie d'évaluation adaptée aux contextes nationaux est une nécessité (Moussaoui et al., 2018).

Contexte de la recherche

L'expérience algérienne dans le domaine de la réduction des risques naturels et technologiques majeurs a débuté avec le dramatique séisme d'El Asnam du 10 Octobre 1980 et a été enrichie après les graves inondations d'Alger survenues le 10 Novembre 2001 et le séisme dévastateur de Boumerdes du 21 Mai 2003.

En effet, et du fait de sa position vis-à-vis des plaques lithosphériques, le nord algérien est confronté à des tremblements de terre de moyenne à forte intensité (Moussaoui et Cherrared, 2015). À cette situation s'ajoute le surpeuplement de cette zone où plus de 65% de la population y réside. Le problème ne s'arrête pas ici, mais est amplifié par l'état ancien de la plus grande partie du parc résidentiel algérien. Toutes ces raisons font de l'évaluation de la vulnérabilité sociale des villes algériennes une urgence.

Objectifs et problématique de la recherche

Ce travail entre dans le cadre d'une étude systématique qui a pour objectif principal de contribuer à la mise en place d'une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité sociale des villes algériennes. Dans cette première partie de l'étude, nous nous sommes intéressés au développement d'une méthodologie pour l'évaluation d'un bâtiment d'habitation isolé en se basant sur les méthodes multicritères d'aide à la décision.

Pour mener à atteindre l'objectif visé, quelques problématiques de recherche doivent être surmontées :

- La complexité du champ de l'étude qui mobilise des connaissances dans plusieurs domaines de compétences (gestion du risque, étude de la vulnérabilité, méthodes d'agrégation multicritères, méthodes de pondération des indicateurs, etc.) ;
- La réduction de cette complexité du problème en le décomposant en une série de paramètres de décision (objectifs de vulnérabilité, critères et indicateurs de performance (IPs)) ;
- La quantification et la définition de méthodes de calculs des IPs (normes, modélisation, etc.) ;
- La définition d'échelles de performance adaptées au contexte local (mode de construction, sismicité, population etc.) ;
- La maîtrise du processus d'agrégation des performances et le choix de méthodes adaptées à notre problème.

Structure du mémoire

Dans le but de bien présenter notre mémoire et pour faciliter sa lecture, nous devons suivre un plan de travail facile à organiser et suivant un cheminement logique et bien structurer. À cet effet, et depuis l'introduction jusqu'à la conclusion, notre mémoire est composée de quatre chapitres.

Dans le premier chapitre, nous essayerons de cerner le maximum d'informations utiles à notre recherche et à la compréhension du champ d'études à mener. Dans cette recherche bibliographique nous nous sommes intéressés aux méthodes d'évaluation de la vulnérabilité

sociale des villes face aux séismes. Nous définirons puis présenterons brièvement les méthodes les plus utilisées dans le monde. Nous parlerons aussi des méthodes multicritères d'aide à la décision (MMAD). Nous les définirons puis nous présenterons leurs objectifs, leurs domaines de définition ainsi que les MMAD existantes.

Dans le deuxième chapitre, nous allons essayer de comprendre la situation de l'Algérie vis-à-vis de cette notion d'évaluation de la vulnérabilité sociale. Nous présenterons quelques données statistiques sur la population résidente (sa densité, sa répartition, etc.) ainsi que le degré d'exposition de celle-ci aux séismes à travers une étude de la sismicité du pays.

Dans le troisième chapitre, la méthodologie sera exposée puis expliquée. La méthodologie proposée est basée sur deux approches complémentaires (approche Top-down et approche Bottom-up). La première « Top-down » est approche de description des objectifs qui a pour but de définir les différents aspects d'évaluation de la vulnérabilité sociale d'un bâtiment d'habitation. Celle-ci nous a permis de structurer notre méthodologie à travers le développement d'un tableau de bord d'évaluation de la vulnérabilité. La deuxième (Bottom-up) est une approche ascendante d'agrégation multicritère qui a pour objectif de calculer de performances des niveaux supérieurs du processus. Elle est basée sur les méthodes agrégatives d'aide à la décision. Nous avons retenu la méthode de la somme pondérée par la méthode AHP pour cette démarche ascendante.

Le quatrième chapitre est consacré à l'application de la méthodologie développée et de la base de données collectées sur un cas réel de bâtiment d'habitation choisi dans la ville de Bouira. Les résultats obtenus sont très intéressants et soulignent l'intérêt de cette méthodologie. Un outil numérique sera aussi programmé dans le but de simplifier l'utilisation de cette méthodologie.

Chapitre I

Recherche bibliographique – État actuel des connaissances sur le sujet

La vulnérabilité sociale des villes et des territoires vis-à-vis des catastrophes naturelles (séisme notamment) est un domaine d'ingénierie complexe qui mobilise des connaissances importantes dans différentes disciplines relatives à la gestion des risques. Dans la première partie de ce premier chapitre, nous allons parler de la vulnérabilité sociale dans le monde et les études qui ont été faites; bien sûr chaque une a sa méthode et la plateforme de base de son fonctionnement. Dans la deuxième partie, nous évoquerons la notion des méthodes multicritères d'aide à la décision. Nous aborderons chacune d'entre elles distinctement puis nous ferons l'accent sur celle que nous allons utiliser dans notre étude, la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process): une des méthodes multicritères qui nous facilitent la structuration puis la simplification du problème mais surtout pour sa capacité à fournir un protocole de vérification de la cohérence des comparaisons entre critères.

I.1 Introduction

La vulnérabilité sociale est une forme de vulnérabilité qui représente une fragilité matérielle ou morale à laquelle est exposé un individu, une organisation ou une société. Le concept de vulnérabilité sociale est intrinsèquement lié aux risques de fragilisation auxquels est exposé l'individu ou le collectif et la préparation des populations face aux catastrophes et aux politiques de gestion.

Les études de vulnérabilité sociale aux séismes ont été développées en s'appuyant plutôt sur une approche quantitative centrée sur l'évaluation des dégâts au bâti et de leurs impacts humains. Ces études partent du principe que les bâtiments qui ne se sont pas effondrés ont accompli leur fonction de protection des occupants alors que ceux qui se sont effondrés ont « échoué ». En effet, 75% des pertes de vies humaines provoquées par des tremblements de terre sont dus à l'écroulement des bâtiments. Le fait que la plupart des victimes se trouvent à l'intérieur des bâtiments, fait que l'essentiel des moyens de prévention concerne le renforcement des structures pour éviter que les bâtiments ne s'écroulent. D'après normes parasismiques.

Les études anciennes ne prennent généralement pas en compte les mouvements de populations liés aux activités quotidiennes et professionnelles, qui influent sur l'évaluation de la vulnérabilité sociale.

I.2 Le risque

Tout d'abord un risque est défini par Le Petit Robert, comme un « *danger éventuel plus ou moins prévisible* » : il s'agit de la première définition. Le caractère aléatoire est bien signifié. Ou est défini : « *Éventualité d'un événement ne dépendant pas exclusivement de la volonté des parties et pouvant causer la perte d'un objet ou tout autre dommage* ». (Boughazi, 2012)

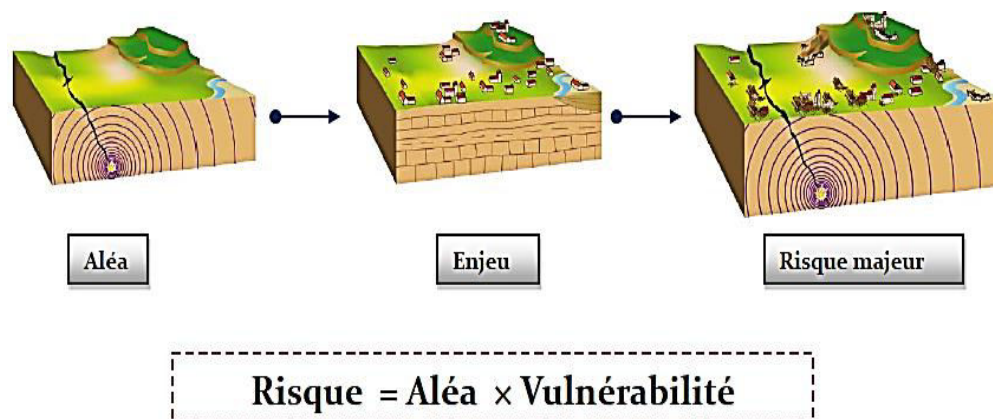


Figure I.1. Illustration des composants du risque.

I.2.1 L'aléa

Une définition largement admise caractérise l'aléa comme étant «... un événement rare ou extrême, qui survient dans l'environnement naturel ou l'environnement créé par l'homme, et

affecte négativement la vie humaine, les biens et les activités, au point de créer des catastrophes », « ... des phénomènes qui se produisent dans la biosphère susceptibles de faire différents dégâts et qui peuvent être évités si les activités humaines comme l'urbanisation arbitraire et la dégradation de l'environnement sont évités ». (PNUD, 2004)

I.2.2 La vulnérabilité

La signification la plus générale de la vulnérabilité fait référence à la susceptibilité à succomber au danger ou pertes dues aux chocs externes (catastrophes naturelles par exemple). La vulnérabilité est donc la caractéristique d'un élément suffisamment exposé ou surexposé pour subir les effets destructeurs, néfastes d'un aléa. Les types de vulnérabilités sont:

La vulnérabilité physique ou technique ; La vulnérabilité fonctionnelle ; La vulnérabilité systémique; La vulnérabilité biophysique; La vulnérabilité sociale (Cutter et al., 2003; Minciardi et al., 2005). Ces différents types de vulnérabilité peuvent être regroupés en quatre larges secteurs dans lesquels se regroupent les différents aspects de la vulnérabilité :

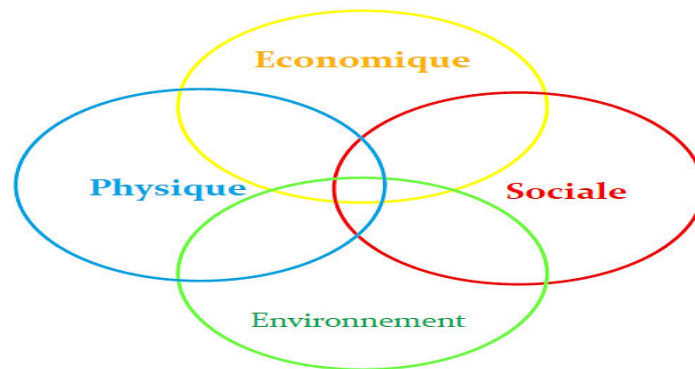


Figure I.2. Interaction de formes de vulnérabilité

I.3 Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité : état de l'art

I.3.1 Les méthodes anglo-saxonnes

En Angleterre, l'essentiel des recherches est mené à étudier plus spécialement les relations entre les inondations et la société. Tous les types de dommages semblent avoir été étudiés par les Anglais, essentiellement à travers d'approches quantitatives telles que la construction de fonctions de dommages et l'analyse coûts/bénéfices. Des démarches plus qualitatives ont été plus récemment développées. *Bootstrapping method* propose une évaluation monétaire du coût des dommages tangibles subis par la population sinistrée alors interrogée par enquête. Les questionnaires d'enquête permettent également aux individus d'attribuer une note de sévérité aux dommages tangibles et intangibles. Cette méthode propose donc d'évaluer les impacts intangibles en leur attribuant la même valeur monétaire que les dommages tangibles ayant obtenus la même note de sévérité. (Barroca et al., 2005).

I.3.2 Les méthodes françaises d'évaluation quantitative

Jusqu'aux années 1990, la recherche axée sur la problématique « risque » s'attache à répondre aux exigences des assureurs. Les méthodes développées sont de deux types :

Des démarches analytiques a priori de type coût/avantage qui consistent à traduire les vulnérabilités en unité monétaire et constater les dommages débouchant sur des simulations de sinistres ;

Des démarches dites « phénoménologiques » a posteriori, encore limitées, qui consistent à analyser les vulnérabilités à partir de retours d'expérience, à estimer le coût moyen annuel à l'échelle du bassin versant et calculer les dommages potentiels.

I.3.2.1 La méthode inondabilité

Elle consiste en une modélisation et un croisement des variables « aléa » et « vulnérabilité ». Cette méthode traduit les vulnérabilités par des données de nature hydrologique, mais a l'inconvénient de définir la vulnérabilité indépendamment de tout aspect économique. Afin de remplir pleinement son objectif, l'aide à la décision par un jeu de concertation/négociation, la méthode ne devrait pas se baser juste sur l'analyse « technique », il semble nécessaire d'y introduire la dimension socio-économique du risque.

I.3.2.2 Les techniques hiérarchiques multicritères

La plus connue a pour objectif de caractériser la vulnérabilité des zones urbaines et des projets d'aménagement exposés à un risque à partir du mode d'occupation du sol. La vulnérabilité est appréhendée de manière chiffrée à partir de données qualitatives variées. Chaque critère de vulnérabilité est standardisé, puis pondéré en fonction de son importance supposée. Au final un indice d'évaluation unique définit la valeur de l'occupation du sol en termes d'enjeux économiques et humains.

I.4 Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sociale existante

I.4.1 Méthode d'évaluation spatio-temporelle (MOVISS)

Les approches « qualitatives », telles que définies *Ercole*, en intégrant la dimension psychosociologique par le biais des représentations cognitives, ont été traduites de manière quantitative dans les années 1990-2000. Les travaux de Cutter ou Chardon, par exemple, n'intègrent pas la dimension individuelle et visent à évaluer une vulnérabilité territoriale. Cependant, ces travaux tendent à étudier préférentiellement les résidents, puisque, les méthodes d'échantillonnage souvent se basent sur les données de recensement. Or, considérer la seule population résidente pour évaluer la vulnérabilité sociale d'un espace urbain peut paraître réducteur. Pour cette raison, certaines études se sont intéressées à la vulnérabilité des résidents mais aussi des actifs. Par ailleurs, la structure et la distribution spatiale de la population évoluent constamment dans le temps, C'est pourquoi, il peut sembler nécessaire d'affiner les méthodes d'échantillonnage pour prendre en compte les variations de la distribution spatio-

temporelle de la population, et intégrer les mobilités, celles-ci constituant un facteur de vulnérabilité important. (Davoine et al., 2012)

I.4.1.1 Objectif et principe de la méthode MOVISS

La méthode MOVISS (2012) est basée sur la distribution quantitative et qualitative de la population au sein des différents quartiers d'une ville évolue au cours de temps. On considère que la population présente dans un quartier à un temps t est constituée de trois groupes de personnes (Les habitants du quartier ; Les transitant et les usagers selon leurs activité ; Les passagers).

L'information préventive est distribuée différemment aux usagers et aux résidents: les résidents reçoivent l'information à leur domicile. Les usagers sont eux-mêmes des résidents mais d'un autre quartier ou d'une autre commune et peuvent recevoir des informations différentes. Partant de la proposition que l'information et le vécu des populations influencent leur perception de leur environnement et a fortiori des risques auxquels elles sont exposées, on peut alors s'attendre à observer des résultats différents en termes de vulnérabilité sociale entre usagers et résidents.

Donc la méthode pour l'évaluation spatio-temporelle de la vulnérabilité, en nous basant sur des données de mobilité quotidienne et l'objectif est de prendre en compte des différenciations spatiales de vulnérabilité en vue de la réduire. La démarche propose donc d'identifier, par l'intermédiaire d'une enquête, les déterminants de la vulnérabilité sociale, et de quantifier cette vulnérabilité au moyen d'indices spatio-temporels liés aux variations d'exposition. Ces indices permettront de construire des scénarios de réduction de la vulnérabilité par une intervention plus ciblée. Afin de définir les facteurs déterminants de vulnérabilité sociale et de réduire le risque sismique.

I.4.1.2 Intégration de la mobilité quotidienne de la population dans la méthode

Le principe de l'échantillonnage est de composer une sous-population représentant la variété des personnes présentes aux différentes heures de la journée dans la ville .

Pour connaître les caractéristiques des populations fréquentant les différents quartiers d'une ville, il est nécessaire d'utiliser des données décrivant les déplacements quotidiens des personnes. Ces enquêtes décrivent l'ensemble des déplacements d'une journée de semaine de chaque membre des ménages enquêtés ainsi que leurs caractéristiques sociales. Ainsi de reconstituer les variations spatio-temporelles de la distribution de la population dans son ensemble.

I.4.1.3 Quantification de la vulnérabilité sociale

La quantification de la vulnérabilité sociale des populations face aux séismes est basée sur la construction d'un indice de vulnérabilité sociale (IVS) pour chaque individu et pour chaque territoire. Cette méthode nécessite deux étapes :

Premièrement :consiste à attribuer un score à chaque question selon les réponses des citoyens. Ensuite, pour chaque groupe de questions qui correspondent à un thème (perception,

connaissance du phénomène ou connaissance des comportements à suivre), un sous-indice est calculé. Ces sous-indices correspondent à la moyenne des scores et sont normalisés sur une échelle de 0 à 20.

Nous obtenons trois sous-indices pour quantifier le niveau de risque, le niveau de perception, le niveau de connaissance du phénomène, le niveau de connaissance des comportements de la population à suivre en cas de séisme.

Deuxièmement : un indice de vulnérabilité sociale est calculé comme suite : Figure I.3.

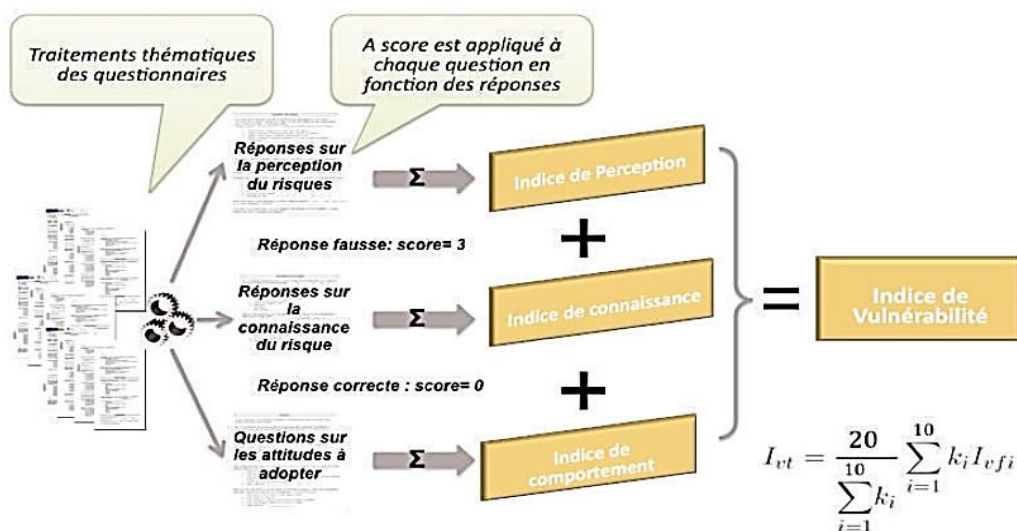


Figure I.3. Méthode de construction de l'indice de vulnérabilité.

I.4.1.4 Approche méthodologique sur le Système d'Information Spatio-temporelle

Ce système d'information est basé sur un outil d'information géographique qui permet de :

Rassembler et organiser les données produites issues de l'enquête socio-spatiale ; Proposer des fonctionnalités de calcul des indices de vulnérabilité sociale ; Visualiser les données liées à la caractérisation des variations spatio-temporelle de la vulnérabilité sociale ; Interagir sur la valeur et le poids des déterminants de la vulnérabilité.

Alors dans ce cas l'idée est d'évaluer l'impact d'une campagne d'information en faisant varier les déterminants de la vulnérabilité sociale, ainsi, la construction des scénarios doit reposer sur une démarche exploratoire. Il s'agit donc de permettre à l'utilisateur de naviguer en toute liberté de données au moyen d'une interface graphique interactive, déambulant au gré de ses intuitions, des hypothèses qu'il s'est fixées et des résultats obtenus via l'analyse des représentations cartographiques. Cette capacité de navigation nécessite la création d'une interface de géo-visualisation adaptée d'une part aux spécificités des données manipulées, d'autre part aux fonctionnalités nécessaires à la résolution des objectifs.

GenGHIS, un générateur de systèmes d'information dédiés aux risques naturels (SIRN), développé par l'équipe STEAMER du LIG. il permet la création d'un SIRN en prenant en charge toutes les étapes de la modélisation des données à la conception et à la création d'une interface de géo-visualisation multidimensionnelle et interactive; son originalité se situe dans

les interfaces que cet outil permet de générer. Celles-ci sont basées sur une vision pluridimensionnelle de l'information avec des modalités de visualisation adaptées à chaque dimension de l'information (spatiale, temporelle et attributive) et à leurs caractéristiques. Leurs interfaces générées permettent :

La visualisation de données géographiques (matricielles et vectorielles) en lien avec leur contexte spatial, temporel et thématique ;

La production de cartes interactives et multimédias ;

L'interrogation des données via des requêtes spatiales, temporelles, spatio-temporelles et thématiques. (Davoine et al., 2012)

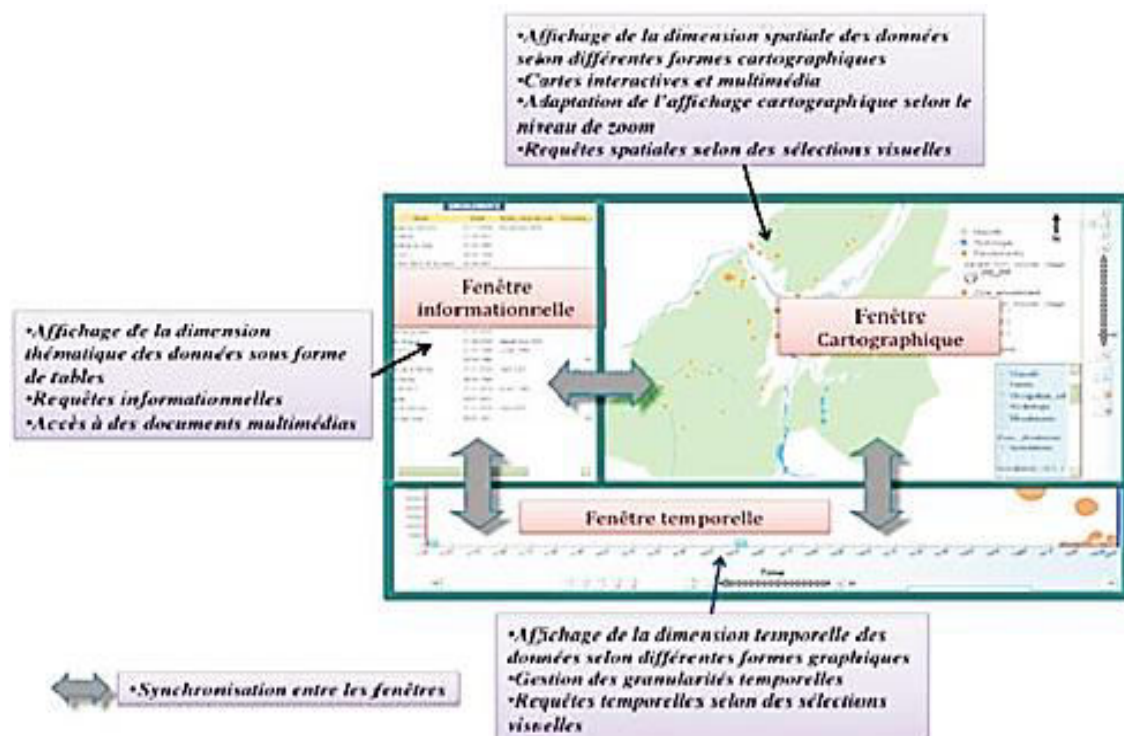


Figure I.4. Fonctionnalité de système GenGHIS.

I.4.1.5 Fonctionnalité et Architecture de Système d'Information Spatio-temporelle

Pour la fonctionnalité de ce système, trois modules principaux ont intégré :

- Une base de connaissances ;
- Un module de visualisation des scénarios ;
- Un module de saisie des scénarios.



Figure I.5. Architecture de système d'information spatio-temporelle.

I.4.2 Analyse multicritère spatial (SEVI) et Indice de vulnérabilité sociale (SoVI)

Deux méthodes multicritères qui agrègent des indicateurs complexes, visant à révéler la vulnérabilité sociale, dans un contexte de tremblement de terre et à explorer les résultats statistiques dans une approche spatiale ([Armas et Gavris, 2013](#)).

Un modèle de conceptualisation de vulnérabilité qui consiste en deux approches ([Füssel, 2005](#)). Une approche de la géographie humaine visant à comprendre la vulnérabilité d'un système aux effets néfastes de risques, en présence du séisme et une approche de l'écologie humaine qui vise à déterminer qui est vulnérable et pourquoi. Dans les sections trois à sept on montre le cadre d'analyse, on identifie la région de préoccupation, en argumentant sur le type de danger impliqué dans la vulnérabilité et enfin, nous faisons des commentaires sur l'évaluation qu'on a faite.

I.4.2.1 Cadre organisationnel

L'utilisation du concept de vulnérabilité dans le cadre social a été introduite pour explorer le rôle-clé joué par les facteurs socio-économiques dans la création une faiblesse à réagir et à se remettre des effets des événements naturels extrêmes. Ainsi, a commencé à comprendre la vulnérabilité sociale comme la capacité de la société à faire face aux dangers et à leurs effets. Certains modèles conceptuels importants ont été développés comme : capacités et analyse des vulnérabilités (CVA), le modèle Risk-Hazard, le Modèles à pression et à relâchement (PAR)/accès, modèle interne-externe, Vulnérabilité sociale, Vulnérabilité élargie, Framework.

Une variation des caractéristiques des personnes telles que : la classe, le sexe, l'âge, l'origine ethnique, le handicap et autres détermine une position davantage ou un désavantage concernant les catastrophes.

L'objectif principal est de comparer deux modèles différents (Indice de Vulnérabilité Sociale SoVI et la technique semi-quantitative SEVI) pour concevoir la vulnérabilité sociale. Les deux

indices résultent d'une étude composite d'analyse factorielle, tandis qu'une agrégation différente a été utilisée : linéaire(modèle SoVI) vs. pondération (modèle SEVI) Figure I.6.

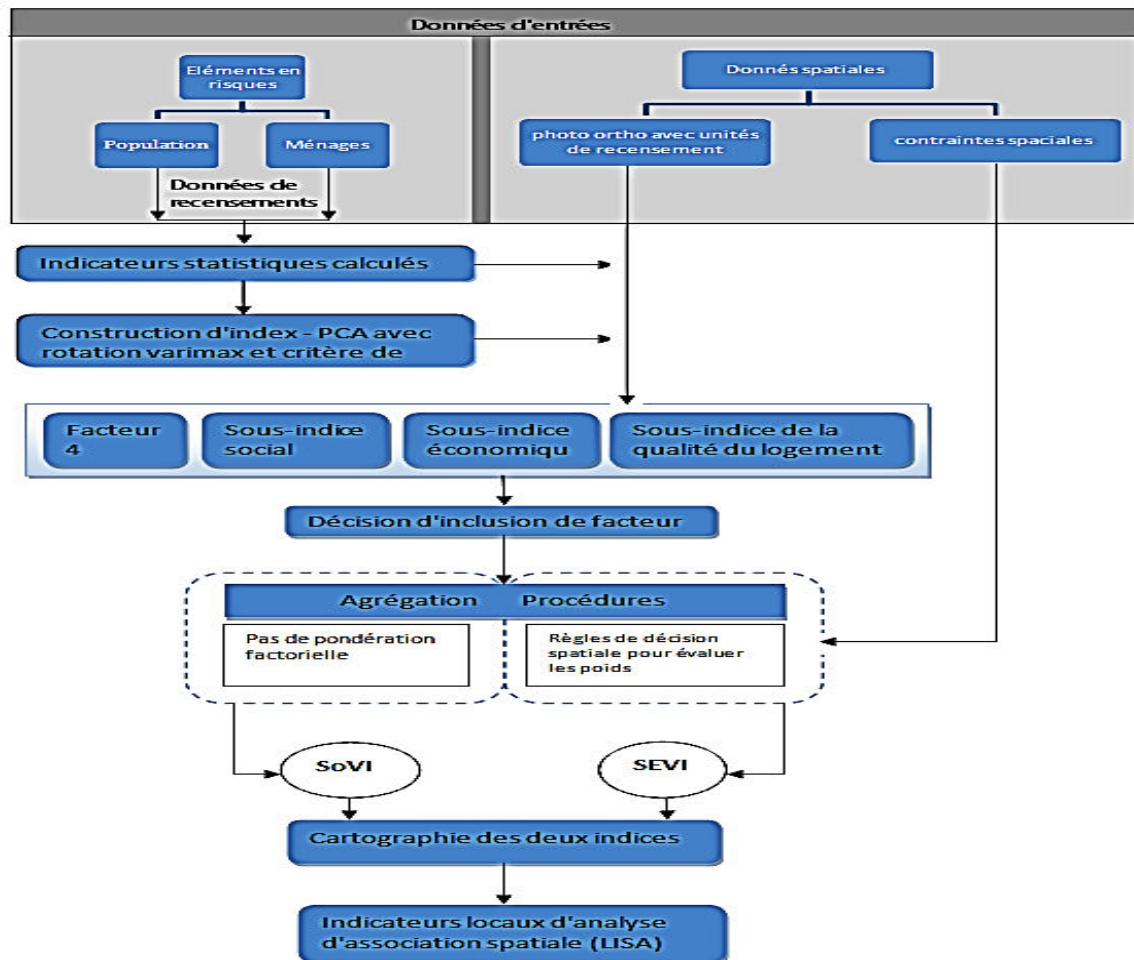


Figure I.6. Cadre général de construction des indices de vulnérabilité sociale.

I.4.2.2 Conception de l'indice : Modèle SoVI contre modèle SEVI

Certains avantages soutiennent l'accord sur l'utilisation des indices :

Ils sont créés pour une meilleure compréhension de la société et ses relations, en condensant ce système complexe avec des données numériques. "Mesures d'une construction théorique abstraite dans laquelle deux ou plusieurs indicateurs de la construction sont combinés pour former un seul résumé score" Selon certaines définitions. L'absence d'un cadre bien établi, où les concepts et la méthodologie peuvent être utilisés à différents niveaux d'analyse, fait valoir que le jugement subjectif joue toujours un rôle majeur dans la conception des indices: pour agréger les indicateurs, ils doivent se soumettre à une série de techniques de normalisation(Utilisation de la standardisation min-max, la transformation d'échelle linéaire, fonctions de valeur/utilité, probabilités, distance à référence, approche floue et transformations de la partition z).

Une autre exigence consiste à inclure des pondérations, car les différents indicateurs et les sous-indices ont généralement des niveaux différents d'importance. Les indices diffèrent

également dans la pondération des indicateurs. Dans certains cas, même en utilisant le même concept et la méthodologie, des différences peuvent apparaître et la nécessité d'adapter les indices doit être prise en compte.

I.4.3 Modèle artificielle de réseau neuronal (ANN) pour les séismes

Cette étude vise à étudier la vulnérabilité sociale en évaluant l'aspect social de la vulnérabilité aux aléas sismiques à l'aide d'un réseau neuronal artificiel (ANN). En se basant sur les trois points méthodologiques.

- les données sur la région étudiée ;
- la détermination des poids d'indice est un problème difficile dans la littérature actuelle sur la recherche sur la vulnérabilité sociale. La subjectivité des méthodes de pondération (AHP) (TOPSIS) ;
- Troisièmement, la méthode basée sur les ANN répond aux exigences requises pour la prévision des séismes. Les systèmes ANN peuvent traiter séquentiellement les informations des unités interconnectées, qui répondent aux variables entrées incluent les poids, les seuils et les fonctions mathématiques transférables.

En outre, ANN peut reconnaître des modèles complexes dans des ensembles de données que les procédures de calcul conventionnelles sont incapables de résoudre. De plus, il fournit des prédictions cohérentes, même à travers des données incertaines ou bruyantes ([Alizadeh et al., 2018](#)).

I.5 Aide multicritères à la décision

I.5.1 Contexte générale

Plusieurs méthodes d'aide à la décision existent : la présentation de l'information en tableau, la comparaison par critères, la méthode ordinale et l'aide multicritères à la décision. L'intérêt des méthodes est justifié en cas où la recherche de la solution n'est pas immédiate.

L'un des problèmes de l'application des méthodes multicritères d'aide à la décision (MMAD) à l'évaluation de la vulnérabilité régionale aux tremblements de terre est qu'il existe de nombreuses méthodes MMAD. Cependant, différentes méthodes MMAD peuvent produire des résultats contradictoires, comment concilier les différences est une tâche difficile et peu étudiée ; plus précisément, une sélection de méthodes MMAD est appliquée pour évaluer d'abord la vulnérabilité régionale aux tremblements de terre. Si les classements générés par ces méthodes MMAD sont fortement incohérents, les coefficients de corrélation des classements de Spearman sont calculés pour chaque méthode MMAD afin de mesurer les similitudes entre les classements.

Les méthodes MMAD avec le plus grand coefficient de corrélation est considérée comme la méthode la plus fiable et utilisée pour fournir une évaluation finale en combinant les résultats d'autres méthodes MMAD ([Yi Peng, 2012](#)).

I.5.2 Illustration de Brunner et Starkl

Brunner et Starkl (2004) on prit comme exemple une problématique idéale dans laquelle on recherche une solution optimisant les impacts x et les coûts y .

Dans cette problématique, la recherche de la solution doit conduire à un impact moindre acceptable (ne dépassant pas le seuil $x=b$) pour un coût réduit et inférieur au coût maximal acceptable $y=a$. L'ensemble des variantes non optimisées (par exemple la variante 1) est éliminé par la raison. Elles sont considérées comme non optimisées car le coût peut être réduit à impact équivalent ou inversement. De même, les variantes dépassant les seuils $x=b$ et $y=a$ sont rejetées (par exemple la variante 2). Il reste l'ensemble des variantes comprises entre la variante 3 et la variante 4 et situées sur la courbe des limites technologiques qui représente l'ensemble des variantes offrant le minimum d'impact pour un coût minimum. Ces variantes 3 et 4 représentent respectivement la solution acceptable d'un point de vue environnemental la moins onéreuse et la meilleure solution technologique disponible à un prix acceptable (Cherqui, 2005).

L'apport de l'aide à la décision est de trouver la meilleure solution sur la courbe entre les variantes 3 et 4 et de justifier en quoi ce choix est le meilleur. Comme est indiqué sur le graphe suivant :

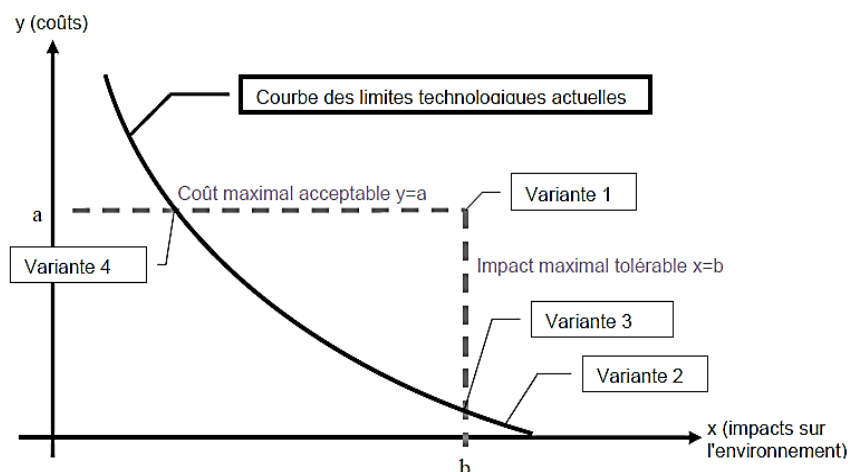


Figure I.7. Recherche de la solution optimum selon (Brunner et Starkl, 2004)

I.5.3 Méthodes multicritères d'aide à la décision

Nous nous sommes plus spécifiquement intéressés à l'aide multicritères à la décision, qui consiste à ordonner les alternatives sur la base soit d'un critère unique, soit de différents critères appréhendés dans leur pluralité (approche multicritères) ; le tout en vue de faire ressortir l'alternative qui s'approche le plus des objectifs recherchés. Cette démarche nécessite tout d'abord de reconnaître les acteurs, puis de définir les alternatives d'un projet, d'établir les critères et leur pondération éventuelle. Ensuite, il faut évaluer chaque critère pour chaque alternative et l'ensemble des résultats est inscrit dans une matrice alternative/critères. Parmi les méthodes d'aide à la décision, on peut citer les tableurs SMART et SWING, basés sur la théorie

MAUT (Brunner et Starkl, 2004) et le logiciel Expert Choice (Al-Harbi, 2001) appliquant le processus de hiérarchisation analytique (AHP). "La diversité de ces méthodes réside dans la façon d'effectuer la synthèse de l'information" (Ben Mena, 2000).

Tableau I.1. Problématiques différentes de l'aide multicritères (Roy et Bouyssou 1993)

	Objectif	Résultat
P. α	Éclairer la décision par le choix d'un sous-ensemble aussi restreint que possible en vue d'un choix final, ce sous-ensemble contenant les "meilleures" actions ou à défaut les actions "satisfaisantes".	Un choix ou une procédure de sélection
P. β	Éclairer la décision par un tri résultant d'une affectation de chaque action à une catégorie, les catégories étant définies à priori en fonction de normes ayant un rapport avec la suite à donner aux actions qu'elles sont destinées à recevoir.	Un tri ou une procédure d'affectation
P. γ	Éclairer la décision par un rangement obtenu en regroupant tout ou partie ("les plus satisfaisantes") des actions en classes d'équivalence, ces classes étant ordonnées, de façon complète ou partielle, conformément aux préférences.	Un rangement ou une procédure de classement
P. σ	Éclairer la décision par une description, par un langage approprié, des actions et de leurs conséquences	Une description ou une procédure cognitive

I.5.4 Méthodes de pondération des critères

L'utilisation de méthodes agrégatives a pour but de synthétiser le problème pour permettre une vision globale de celui-ci ; cette simplification implique nécessairement un remaniement et une perte d'information plus ou moins importante en fonction de la méthode utilisée. Dans le cas d'une approche monocritère, la matrice entière sera synthétisée en un vecteur comprenant une seule valeur par alternative. Dans le cadre d'une approche multicritères, on considère sinon la matrice toute entière, du moins un nombre de critères supérieur à 1. Étant donné que le choix du type d'agrégation est fortement corrélé à la démarche globale que nous souhaitons mettre en place. L'agrégation d'indicateurs implique nécessairement de pondérer ceux-ci ; la détermination de l'importance d'un critère par rapport à un autre est un enjeu majeur à la fois scientifique et politique. Les principales méthodes de pondération sont résumées dans le Tableau I.2 et I.3.

Tableau I.2. Méthodes de pondération utilisables lors de l'analyse multicritères.

Méthode	
Avantages	Inconvénients
Méthode d'attribution de scores (fixed point scoring) Répartition d'une somme de points sur l'ensemble des critères (répartition de 100 % par exemple)	
L'attribution d'un poids plus important à un critère réduit l'importance relative d'un autre élément	Difficulté d'appréhender la complexité globale de la réalité (Svoray et al., 2005)
Comparaison par paire (paired comparison) Comparaison deux à deux des critères, les plus connus étant la méthode AHP inventée par Saaty (1977) et la méthode MACBETH (Bana e Costa et al., 2003)	
- La méthode est simple d'utilisation - La consistance (cohérence) de l'ensemble des comparaisons est vérifiée - Des logiciels utilisant cette méthode existent : Expert Choice ou MultCSync (Moffett et al., 2005) par exemple - Elle permet d'appréhender la complexité du monde réel (Svoray et al., 2005)	- Le choix de l'échelle allant de 1 (même importance) jusqu'à 9 (absolument plus important) n'est pas justifié mathématiquement - Le temps de comparaison augmente plus rapidement que le nombre de critères : l'équation au-dessous ci-après indique le nombre de comparaisons nécessaire N_{comp} en fonction du nombre de poids p à déterminer (Hajkowicz et Prato., 1998)
$N_{comp} = \frac{p!}{2 * (p-2)}$	
Analyse de jugement (judgement analysis) Evaluation de l'importance d'alternatives distinctes réelles ou fictives sur des échelles de 1 à 10, 1 à 20 ou 1 à 100. Une procédure inverse permet de calculer les poids des critères en fonction des évaluations des alternatives.	
- Les pondérations sont fonction des comportements révélés des acteurs et non pas de leurs préférences officielles - La méthode permet la prise en compte indirecte de paramètres	- Cette méthode est également plus consommatrice en temps ; pour obtenir une signification statistique, un nombre suffisant d'alternatives doit être étudié - La méthode conduit à surestimer parfois la capacité cognitive des décideurs lorsque le nombre d'alternatives est important
Méthode des valeurs attendues (expected value method) L'attribution des poids est uniquement fonction du classement des critères et de leur nombre. Janssen (1992) propose des valeurs de pondération.	
La méthode est simple et requiert uniquement de classer les critères	La pondération obtenue ne reflétera pas systématiquement les différences d'importance entre critères

Tableau I.3. Méthodes de pondération utilisables lors de l'analyse multicritères.(suite)

Méthode	
Avantages	Inconvénients
Technique du jeu de cartes Distribution d'un "jeu de cartes" sur lesquelles sont inscrits les noms de critères ainsi que des cartes blanches. Le décideur classe les cartes ; il a la possibilité de mettre des cartes ex aequo et de glisser des cartes blanches entre les critères	
Simple et facilement utilisable	Même inconvénients que la méthode des valeurs attendues et la méthode d'attribution des scores
Arbre des pondérations Lorsqu'il est possible de décomposer les critères sous forme d'une arborescence, alors à partir de la pondération de chaque embranchement, la valeur de pondération de chaque critère correspond au produit des coefficients des sous branches et des branches dont il est issu.	
Le nombre d'éléments à comparer est limité	La difficulté réside dans la réalisation de l'arbre

La grande différence entre ces méthodes réside dans le mode de comparaison : MACBETH est basé sur une comparaison par différence, par exemple "X est mieux de quatre points que Y" alors que pour l'AHP, l'utilisateur établit des ratios entre les options, par exemple "X est trois fois plus important que Y". D'autres méthodes de détermination des poids des critères existent, comme l'utilisation de la logique floue.

I.5.5 Exemples des méthodes MMAD les plus utilisées dans la littérature

Cette section donne un aperçu des méthodes MMAD les plus utilisées dans la littérature.

I.5.5.1 Technique de préférence d'ordre par similitude avec la solution idéale (TOPSIS)

Hwang et Yoon (1981) ont proposé la technique de préférence par ordre de similarité à la méthode de la solution idéale (TOPSIS) pour classer les alternatives sur plusieurs critères. Il trouve les meilleures alternatives en minimisant la distance au solution de l'idée et en maximisant la distance au solution idéale. La procédure de la méthode TOPSIS est décrite ci-dessous (Opricovic et Tzeng, 2004).

Étape 1: Calcul de la matrice de décision normalisée. La valeur normalisée r_{ij} est calculée comme suit:

$$r_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum_{j=1}^J x_{ij}^2}, \quad j = 1, \dots, J; i = 1, \dots, n,$$

Où J et n : désignent respectivement le nombre d'alternatives et le nombre de critères. Pour la variante A_j . La mesure de performance du $i^{\text{ème}}$ critère C_i est représentée par x_{ij} .

Étape 2: Développer un ensemble de poids w_i pour chaque critère et calculer la pondération normalisée matrice de décision. La valeur normalisée pondérée v_{ij} est calculée comme suit:

$$v_{ij} = w_i x_{ij}, \quad j = 1, \dots, J; i = 1, \dots, n,$$

où w_i est le poids du $i^{\text{ème}}$ critère, à $\sum_{i=1}^n W_i = 1$.

Étape 3: Trouver la solution alternative idéale S^+ , qui est calculé comme suit:

$$S^+ = \{v_1^+, \dots, v_n^+\} = \left\{ \left(\max_j v_{ij} \mid i \in I' \right), \left(\min_j v_{ij} \mid i \in I'' \right) \right\}$$

Où I' est associée à des critères de prestations et I'' est associé à des critères de coût.

Étape 4: trouver la solution alternative idéale négative S^- , qui est calculé comme suit:

$$S^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} = \left\{ \left(\min_j v_{ij} \mid i \in I' \right), \left(\max_j v_{ij} \mid i \in I'' \right) \right\}$$

Étape 5: Calculer les mesures de séparation en utilisant la distance euclidienne à n dimensions. La séparation de chaque alternative de la solution idéale positive est calculée comme suit:

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^+)^2}, \quad j = 1, \dots, J.$$

La séparation de chaque alternative de la solution idéale négative est calculée comme suit:

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2}, \quad j = 1, \dots, J.$$

Étape 6: Calculer un rapport R_j^+ qui mesure la proximité relative de la solution idéale et se calcule comme suit:

$$R_j^+ = D_j^- / (D_j^+ + D_j^-), \quad j = 1, \dots, J.$$

Étape 7: Classer les alternatives en maximisant le rapport R_j^+ .

I.5.5.2 Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR)

VIKOR consiste à définir d'abord les solutions idéales positives et négatives. La solution idéale positive indique l'alternative avec la valeur la plus élevée, tandis que la solution idéale négative indique l'alternative avec la valeur la plus faible. Comme suivant:

Étape 1: Déterminer les meilleures valeurs f_i^* et les pires f_i^- de toutes les fonctions de critère, $i = 1, 2, \dots, n$.

$$f_i^* = \begin{cases} \max_j f_{ij}, & \text{for benefit criteria} \\ \min_j f_{ij}, & \text{for cost criteria} \end{cases}, \quad j = 1, 2, \dots, J,$$

$$f_i^- = \begin{cases} \min_j f_{ij}, & \text{for benefit criteria} \\ \max_j f_{ij}, & \text{for cost criteria} \end{cases}, \quad j = 1, 2, \dots, J$$

Où J est le nombre d'alternatives, n est le nombre de critères et f_{ij} est la note de $i^{\text{ème}}$ fonction de critère pour l'alternative a_j .

Étape 2: Calculer les valeurs S_j et R_j , $j = 1, 2, \dots, J$, par les relations suivantes :

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-),$$

$$R_j = \max_i [w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)],$$

Où w_i est le poids du $i^{\text{ème}}$ critère, S_j et R_j sont utilisés pour formuler la mesure de classement.

Étape 3: Calculer les valeurs Q_j , $j = 1, 2, \dots, J$, par les relations suivantes :

$$Q_j = v(S_j - S^*) / (S^- - S^*) + (1 - v)(R_j - R^*) / (R^- - R^*),$$

$$S^* = \min_j S_j, \quad S^- = \max_j S_j,$$

$$R^* = \min_j R_j, \quad R^- = \max_j R_j,$$

Où la solution obtenue par S^* est avec une utilité du groupe maximal, la solution obtenue par R^* est avec un regret individuel minimum de l'adversaire, et v est le poids de la stratégie de la majorité des critères. La valeur de v est fixée à 0,5 dans l'expérience.

Étape 4: Classer les alternatives par ordre décroissant. Il existe trois listes de classement: S , R et Q .

Étape 5: proposer l'alternative a' , qui est classé meilleur par Q , comme solution de compromis si les deux conditions suivantes sont remplies:

$$Q(a) - Q(a') \geq 1 / (J - 1);$$

Variante a' est classé meilleur par S ou / et R .

Si seule la condition (b) n'est pas remplie, les alternatives a' et a'' sont proposées comme compromis solutions, où a'' est classé deuxième par Q . Si la condition (a) n'est pas remplie, alternatives a' , a'' , ..., a^M sont proposées comme solutions de compromis, où a^M est classé $M^{\text{ème}}$ par Q et est déterminé par la relation $Q(a^M) - Q(a') < 1 / (J - 1)$ pour M maximum.

1.5.5.3 Élimination et choix exprimant la réalité (ELECTRE)

L'idée principale est d'établir des «relations de sur-classement» entre deux alternatives selon le décideur. La procédure peut être résumée comme suit (Roy et Bouyssou, 1993):

Étape 1: définir un ensemble d'indices de concordance et de discordance pour chaque paire d'alternatives A_j et A_k , $j, k = 1, \dots, m$; $i = k$.

Étape 2: Ajouter tous les indices d'une alternative pour obtenir son indice de concordance global C_{ki} .

Étape 3: Définir un degré de crédibilité de sur classement $\sigma_s(A_i, A_k)$ en combinant la discordance et l'indice de concordance global.

Étape 4: Définir deux relations de sur classement en utilisant la distillation descendante et ascendante. Descendant la distillation sélectionne la meilleure alternative en premier et la pire alternative en dernier. Ascendant la distillation sélectionne la pire alternative en premier et la meilleure alternative en dernier.

Étape 5: Les alternatives sont classées en fonction des processus de distillation ascendante et descendante.

I.5.5.4 Organisation du classement par préférence méthode d'enrichissement de l'évaluation (PROMETHEE)

Le PROMETHEE II utilise par paires des comparaisons et des relations de sur classement pour choisir les meilleures alternatives. La sélection finale est basée sur les flux de préférences positives et négatives de chaque alternative. Le flux positif indique comment une alternative surclasse toutes les autres alternatives et le flux négatif indique comment une alternative est devancée par toutes les autres alternatives.

Étape 1: définir des indices de préférence agrégés.

Soit $a, b \in A$, et soit:

$$\begin{cases} \pi(a, b) = \sum_{j=1}^k p_j(a, b)w_j, \\ \pi(b, a) = \sum_{j=1}^k p_j(b, a)w_j. \end{cases}$$

Où A est un ensemble fini d'alternatives possibles $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, k représente le nombre de critères d'évaluation et w_j est le poids de chaque critère. Des nombres arbitraires pour les poids peuvent être attribués. Les poids sont ensuite normalisés pour garantir que :

$$\sum_j^k w_j = 1$$

$\pi(a, b)$ indique comment a est préféré à b et $\pi(b, a)$ indique comment b est préféré à a .

$P_j(a, b)$ et $P_j(b, a)$ sont les fonctions de préférence pour les alternatives a et b .

Étape 2: Calculer $\pi(a, b)$ et $\pi(b, a)$ pour chaque paire d'alternatives de A .

Étape 3: Définir le flux de sur-classement positif et négatif comme suit:

Le flux de sur classement positif:

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x).$$

Le flux de sur classement négatif :

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a).$$

Étape 4: Calculer le flux de dépassement net pour chaque alternative comme suit:

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a).$$

Lorsque $\phi(a) > 0$, a surclasse davantage toutes les alternatives sur tous les critères d'évaluation et quand $\phi(a) < 0$, a est plus surpassé.

I.5.5.5 Analyse relationnelle grise

GRA comprend la génération de la relation de gris, la définition de la séquence de référence et le calcul du coefficient relationnel gris et du grade relationnel gris.

Étape 1 : Générer la relation grise:

Supposons qu'il existe m alternatives et n attributs, la $i^{\text{ème}}$ alternative est définie comme :

$$Y_i = \{y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{in}\};$$

y_{ij} est la valeur de performance de l'attribut j de l'alternative i .

En utilisant l'un des trois équations suivantes, les valeurs de Y_i peuvent être traduites dans la séquence de comparabilité :

$$X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}$$

$$x_{ij} = \frac{y_{ij} - \min\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}}{\max\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\} - \min\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}}$$

for $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ (2.5)

$$x_{ij} = \frac{\max\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\} - y_{ij}}{\max\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\} - \min\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}}$$

for $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ (2.6)

$$x_{ij} = 1 - \frac{|y_{ij} - y_j^*| y_{ij} - \min\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}}{\max\{\max\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\} - y_{ij}^*, y_{ij}^* - \min\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}\}}$$

for $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ (2.7)

Où y_j^* représente la valeur souhaitée. L'équation (2.5) est utilisée pour les attributs les plus grands et les meilleurs, l'équation (2.6) est utilisée pour les attributs les plus petits et les meilleurs et pour l'équation (2.7) est utilisé pour la valeur désirée y_j^* -le mieux.

Étape 2: Définir la séquence de référence:

Les valeurs de performance calculées à partir de l'étape 1 sont comprises entre 0 et 1. L'idéal la séquence cible, également appelée séquence de référence, est définie comme $X_0 = \{x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0n}\} = \{1, 1, \dots, 1\}$. L'objectif de GRA est de trouver une alternative la plus proche à la séquence de référence.

Étape 3: Calculer le coefficient relationnel gris à l'aide de l'équation suivante:

$$\gamma(x_{0j}, x_{ij}) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{ij} + \zeta \Delta_{\max}}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n,$$

Où ζ est le coefficient distinctif, $\zeta \in [0, 1]$. Le coefficient distinctif est utilisé pour étendre ou compresser la plage du coefficient relationnel gris. x_{0j} est la séquence de référence et définie comme $(x_{01}, x_{01}, \dots, x_{0j}) = (1, 1, \dots, 1)$.

$\gamma(x_{0j}, x_{ij})$ est le coefficient relationnel gris entre x_{0j} et x_{ij} , et:

$$\Delta_{ij} = |x_{0j} - x_{ij}|,$$

$$\Delta_{\min} = \text{Min}\{\Delta_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\},$$

$$\Delta_{\max} = \text{Max}\{\Delta_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\}.$$

Étape 4: Calculer le grade relationnel gris à l'aide de l'équation suivante:

$$\Gamma(X_0, X_i) = \sum_{j=1}^n w_j \gamma(x_{0j}, x_{ij}), \quad \text{for } i = 1, \dots, m,$$

Où w_j est le poids de l'attribut j et $\sum_{j=1}^n w_j = 1$.

La note relationnelle grise indique la proximité entre la séquence idéale et la séquence de comparabilité. Une alternative avec le grade relationnel gris le plus élevé est le meilleur choix.

I.5.5.6 Méthode pondérée simple (SWM)

L'idée de base est de calculer un indice complet en intégrant les critères valeur de performance par le biais du poids. Les étapes peuvent être résumées comme suit :

Étape 1 : Identifier les critères de bénéfice comme J_1 et les critères de coût comme J_2 .

Étape 2 : Calculer l'avantage total et le coût total en poids:

$$T_i^{\text{benefit}} = \sum_{j=1}^m w_j a_{ij}, \quad j \in J_1,$$

$$T_i^{\text{cost}} = \sum_{j=1}^m w_j a_{ij}, \quad j \in J_2.$$

Étape 3 : Calculer l'avantage net comme suit et classez les alternatives par leur avantage net dans ordre décroissant:

$$T_i = T_i^{\text{benefit}} - T_i^{\text{cost}}.$$

I.5.5.7 Le processus de hiérarchie analytique (AHP)

L'AHP est préconisée pour résoudre des problèmes complexes avec une décision multicritère. La force de cette approche est qu'elle organise les facteurs de manière structurée tout en donnant une solution relativement simple pour les problèmes de prise de décision. Elle

permet de décortiquer un problème d'une manière logique en passant d'un niveau supérieur à un niveau inférieur jusqu'à parvenir à une comparaison simple pour chaque paire de critères, par la suite on peut remonter au niveau supérieur pour la prise de décision (Velasquez et Hester, 2013).

Dans l'application de l'AHP, l'importance relative ou le poids des critères sont déterminés après consultation des experts ou bien l'organisation d'entretiens ou réunions du groupe. à ce niveau les critères doivent être comparés par paires séparément en utilisant une approche d'évaluation qualitative ou quantitative (Ben Jeddou et Bali Talboussi, 2015).

Pour prendre une décision de manière organisée pour générer des priorités, nous devons décomposer la décision comme ci-dessous :

Hiérarchisation des critères par importance du plus important au moins important.

Structurer la hiérarchie de décision du haut avec le but de la décision, puis les objectifs dans une perspective large, à travers les niveaux intermédiaires (critères dont dépendent les éléments ultérieurs) jusqu'au niveau le plus bas (qui est généralement un ensemble d'alternatives).

Construire un ensemble de matrices de comparaison par paires. Chaque élément d'un niveau supérieur est utilisé pour comparer les éléments du niveau immédiatement inférieur par rapport à lui.

Utiliser les priorités obtenues à partir des comparaisons pour peser les priorités dans le niveau immédiatement inférieur. Faites cela pour chaque élément. Ensuite, pour chaque élément du niveau ci-dessous, ajoutez ses valeurs pondérées et obtenez sa priorité globale ou globale. Continuez ce processus de pesée et d'ajout jusqu'à ce que les priorités finales des alternatives au niveau le plus bas soient obtenues (Saaty, 2008).

La procédure de calcul détaillée de la méthode AHP est présentée dans le chapitre 3.

I.5.6 Synthèse des MMAD

Le Tableau I.4 regroupe les différentes MMAD présentées dans ce présent chapitre ainsi que les principaux avantages et inconvénients de chacune d'entre elles.

Tableau I.4. Synthèse des MMAD présentées dans ce chapitre

Méthode	Avantage	Inconvénient	Domaine d'application
MAUT	Tient compte de l'incertitude; peut intégrer des préférences.	A besoin de beaucoup d'entrées; préférences besoin d'être précis.	Economie, finance, actuariat, eau gestion, gestion de l'énergie, agriculture
AHP	Facile à utiliser; évolutif; la structure hiérarchique peut facilement s'adapter à de nombreux problèmes de taille; pas beaucoup de données.	Problèmes dus à l'interdépendance entre les critères et les alternatives; peut conduire à des incohérences entre le jugement et les critères de classement ; inversion de rang.	Problèmes de performance, gestion des ressources, politique et stratégie d'entreprise, politique publique, stratégie politique et planification.
CBR	Pas beaucoup de données; nécessite peu d'entretien; peut s'améliorer avec le temps; peut s'adapter aux changements de l'environnement.	Sensible aux données incohérentes; nécessite de nombreux cas.	Entreprises, assurance automobile, médecine et conception technique.
DEA	Capable de gérer plusieurs entrées et sorties; l'efficacité peut être analysée et quantifiée.	Ne traite pas de données imprécises; suppose que toutes les entrées et sorties sont exactement connues.	Économie, médecine, services publics, sécurité routière, agriculture, commerce de détail et problèmes commerciaux .
Fuzzy set theory	Permet une saisie imprécise; tient compte d'informations insuffisantes.	Difficile à développer; elle peut nécessiter de nombreuses simulations avant utilisation.	Ingénierie, économie, environnement, social, médical et gestion.
SMART	Facile; permet tout type de technique d'attribution de poids; moins d'efforts de la part des décideurs.	La procédure peut ne pas convenir compte tenu du cadre.	Environnement, construction, transport et logistique, militaire, problèmes de fabrication et d'assemblage.
GP	Capable de gérer des problèmes à grande échelle; peut produire des alternatives infinies.	C'est la capacité de pondérer les coefficients; elle doit généralement être utilisée en combinaison avec d'autres méthodes	Planification de la production, planification, soins de santé, sélection de portefeuille, systèmes de distribution, planification énergétique, gestion des réservoirs d'eau,

Tableau I.5. Synthèse des MMAD présentées dans ce chapitre (suite).

Méthode	Avantage	Inconvénient	Domaine d'application
ELECTRE	Tient compte de l'incertitude et du flou.	Son processus et ses résultats peuvent être difficiles à expliquer en termes simples et d'identifier directement les forces et les faiblesses des alternatives.	Problèmes d'énergie, d'économie, d'environnement, de gestion de l'eau et de transport.
PROMETHE	Facile à utiliser; n'exige pas l'hypothèse que les critères sont proportionnés.	Ne fournit pas de méthode claire pour attribuer des poids.	Environnement, hydrologie, gestion de l'eau, commerce et finance, chimie, logistique et transport, ..., etc.
SAW	Capacité à compenser entre les critères; intuitif pour les décideurs; le calcul est simple ne nécessite pas de programmes informatiques complexes.	Les estimations révélées ne reflètent pas toujours la situation réelle; le résultat obtenu peut ne pas être logique.	Gestion de l'eau, gestion commerciale et financière.
TOPSIS	A un processus simple; facile à utiliser et à programmer; le nombre d'étapes reste le même quel que soit le nombre d'attributs.	Son utilisation de la distance euclidienne ne prend pas en compte la corrélation des attributs; difficile à pondérer et à garder la cohérence de son jugement.	Gestion de la chaîne d'approvisionnement et logistique, ingénierie, systèmes de fabrication, commerce et marketing, ...Etc

I.6 Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons vu que l'évaluation de la vulnérabilité sociale est un paramètre très important dans les études de gestion des risques des tissus urbains et ce à l'échelle planétaire. Nous avons aussi vu qu'il existe un grand nombre de méthodes d'analyse de la vulnérabilité sociale (ville, quartier, bâtiment, ..., etc.). Parmi celles-ci, nous avons retenu puis expliqué les plus utilisées dans la littérature (méthodes de calcul, d'agrégation, de pondération, etc.). Nous avons compris que pour chaque problème à résoudre (analyse de vulnérabilité), on choisit la méthode convenable et ce en fonction des données de base.

Nous avons aussi évoqué les méthodes multicritères d'aide à la décision qui sont souvent applicables à ce genre de problèmes (évaluation de la vulnérabilité sociale). Comme pour les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité, nous avons défini puis présenté les principales MMAD utilisées dans la littérature consultée.

Chapitre II

Vulnérabilité sociale des villes algériennes aux séismes – État des lieux

Ce chapitre est consacré à l'étude des données statistiques disponibles sur la structure de la population en Algérie ainsi que sa vulnérabilité vis-à-vis des séismes. Dans la première partie de ce chapitre ; nous allons parler de la démographie en Algérie et son développement pendant et après la colonisation ainsi que de la répartition de la population pour chaque wilaya. Nous allons aussi donner quelques indices démographiques et sociaux de l'urbanisation des villes algériennes. Dans la deuxième partie, nous essayerons de faire un état des lieux détaillé de la sismicité de l'Algérie (situation de l'Algérie vis-à-vis les plaques tectoniques, historique des séismes en Algérie, zones de sismicité selon la réglementation en vigueur, etc.).

II.1 Introduction

En Algérie les grandes villes constituent encore la préoccupation majeure des pouvoirs publics, des urbanistes et des chercheurs à cause de leur poids démographique et leur rôle économique devenu incontournable.

Malgré la volonté de réduire le poids des grandes villes algériennes, celles-ci continuent à capter l'essentiel de la population et des activités économiques. Les conséquences directes de cette situation sont le surpeuplement et le chômage, ce qui entraîne de nombreux problèmes, et cause de graves préjudices pour la gestion des grandes agglomérations. En effet, partout on assiste impuissant à la propagation des constructions anarchiques déformant nos villes, et compromettant le fonctionnement des différentes structures urbaines.

Dans le présent chapitre, nous essayerons, dans un premier lieu, de faire un diagnostic, le plus représentatif possible, de la population algérienne ainsi que sa distribution sur l'ensemble du territoire national. Ensuite, dans un deuxième lieu, nous présenterons la sismicité de l'Algérie dans le but d'apprécier le degré d'exposition de cette population à ce risque.

II.2 Structure de la population en Algérie

II.2.1 Les conséquences de la colonisation sur l'organisation spatiale précoloniale

La colonisation française a été à l'origine des mutations profondes dans l'organisation socio-économique de l'Algérie et dans la répartition spatiale de sa population ([Kateb, 2003](#)).

En 1830, l'Algérie était un pays à dominante rurale avec une population à majorité nomade et semi-nomade. Sa population était estimée entre 3 et 5 millions. Les villes les plus peuplées étaient celles qui étaient sièges du pouvoir politique des Beys à savoir Alger, Oran, Constantine, Médéa ainsi que Tlemcen. Alger aurait compté 80000 à 100 000 habitants, d'autres villes moins peuplées, comme Tlemcen, Mostaganem, Mascara et Annaba avaient une population de plus de 10 000 habitants. Miliana, Bougie, Jijel, Dellys, Blida, Koléa, Biskra et Laghouat avaient une population voisine de 5 000 habitants ([Kateb, 2003](#)).

II.2.1.1 La densité de la population en Algérie de 1954-1966

A partir de l'an 1850, des dénombrements de la population magrébine ont été fait par le service de recensement français, L'Algérie a compté comme le tableau suivant montre :

Tableau II.1. Développement de la population Algérienne durant la période coloniale ([Ammi, 2019](#)).

Années	1851	1900	1926	1936	1947	1952	1962
Population (millions)	2,45	4,72	5,98	7,15	8,38	9,73	12,9

L'évolution des densités régionales entre les deux recensements de 1954 et 1966 étaient comme suivant d'après ([Tabutin, 1977](#)) :

On remarque que le classement selon la densité décroissante reste le même en 1954 et en 1966. L'ordre des régions est : l'Algérois 57 h./km² en 1954 et 61 h./km² en 1966, le

Constantinois 39 h./km² en 1954 et 47 h./km² en 1966, l'Oranie 32 h./km² en 1954 et 24 h./km² en 1966, le Sahara restant à 0,4 h./km².

II.2.2 Population algérienne après l'indépendance

L'Algérie est un pays jeune, on estime que 75% de la population a moins de 30 ans ([Amrani et al., 2007](#)). Depuis l'indépendance la croissance de population algérienne est spectaculaire passant de près de 6 millions en 1962 à près de 42 millions en 2019 ([ONS, 2019](#)). La figure ci-dessous trace l'évolution de la population algérienne entre 1962 et 2019.

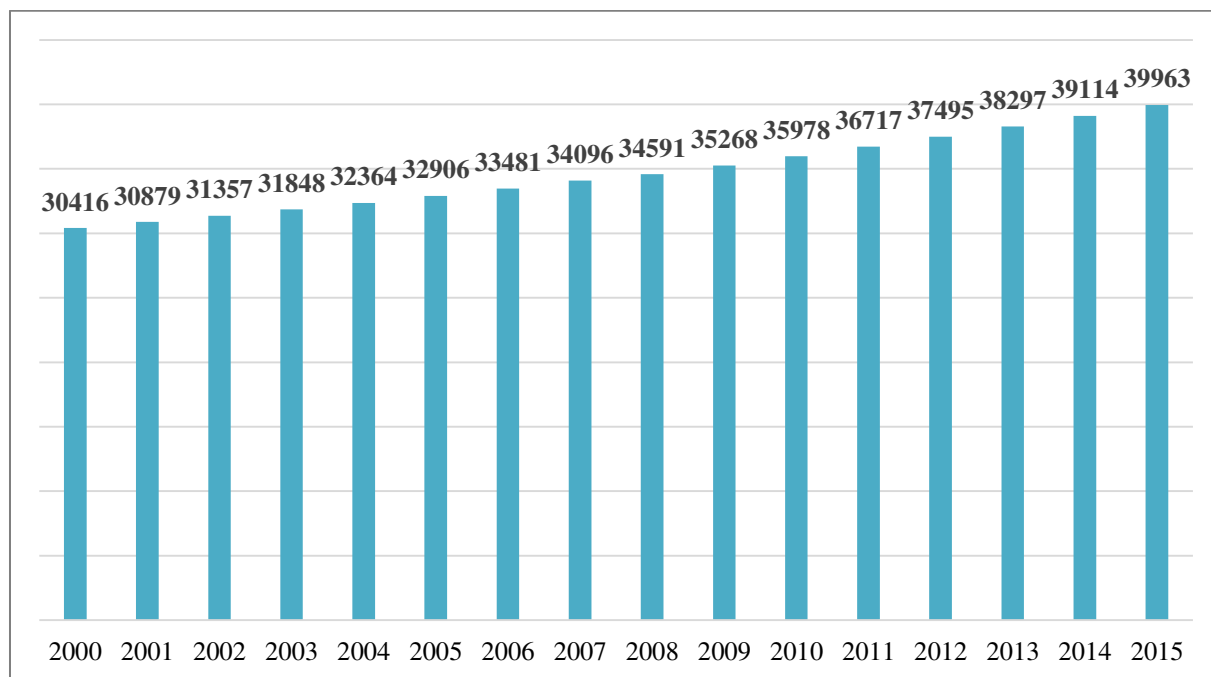
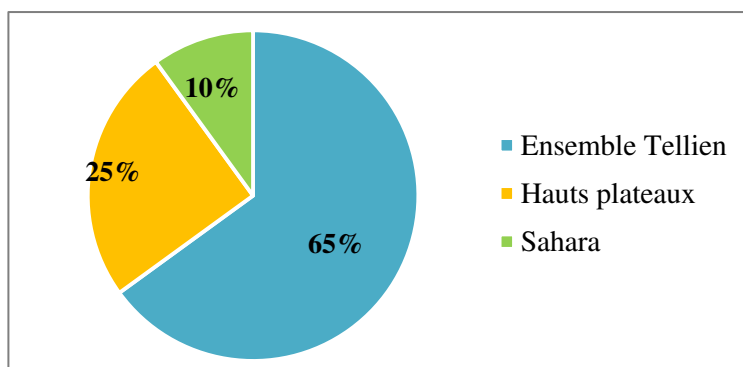


Figure II.1. Evolution de la population totale en Algérie entre 1962 et 2015 ([ONS, 2019](#)).

La population algérienne est concentrée dans les régions nord du pays (Figure II.2). Cette forte concentration est surtout localisée dans zones urbaines (Figure II.3 et II.4).



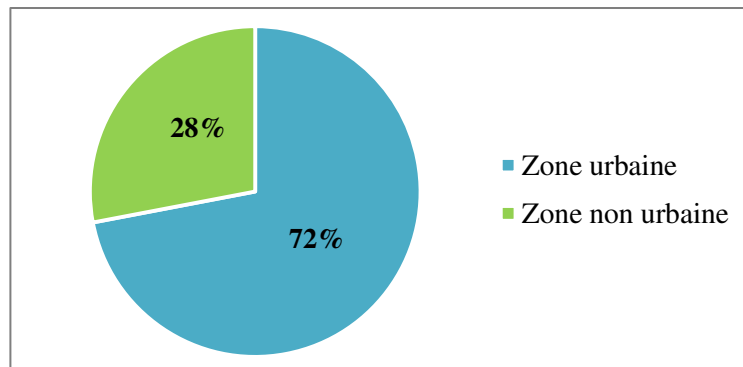


Figure II.2. Répartition de la population sur le territoire (% / à la surface totale)
(Moussaoui, 2018)

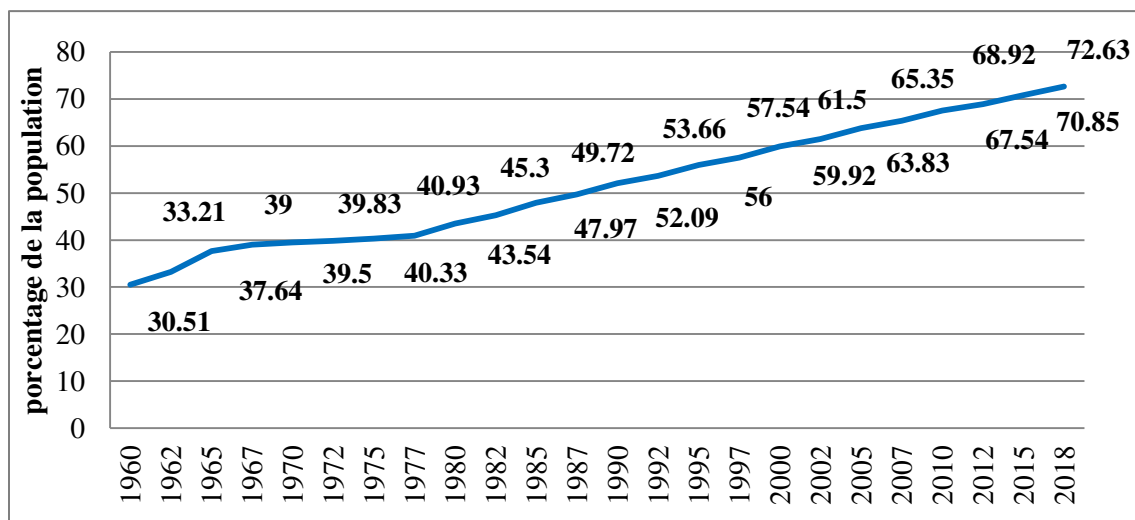


Figure II.3. Développement de la population urbaine (Banque Mondiale, 2018)

La Figure II.5 ci-dessous illustre clairement ce déséquilibre dans la répartition de la population sur le territoire national. On voit clairement que les villes du littoral sont presque toutes de couleur rouge et particulièrement la ville d'Alger.

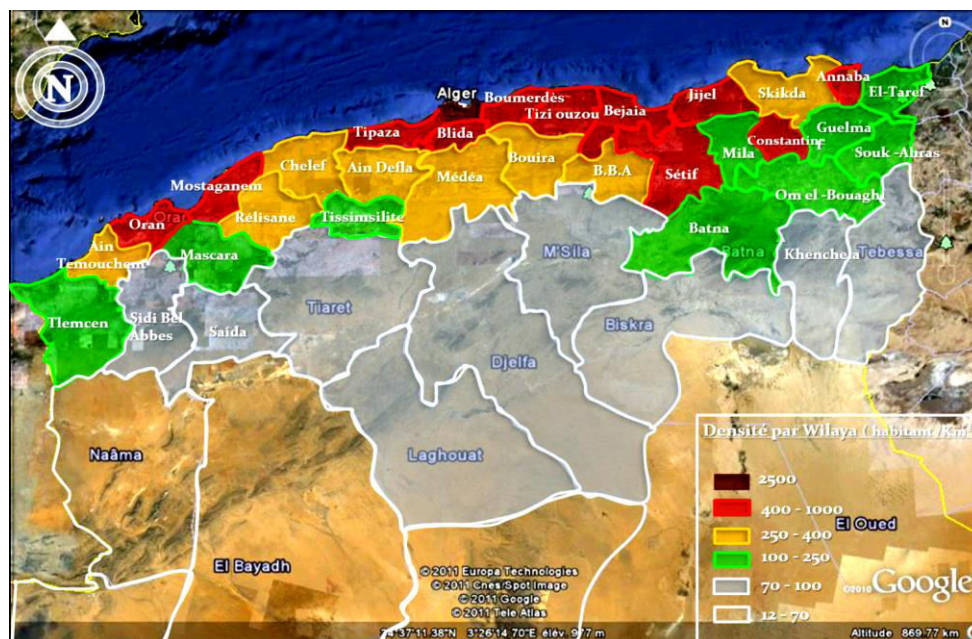


Figure II.4. Densité de la population par wilaya en 2008

II.2.3 Structure de la population algérienne

L'âge moyen de la population continue de croître sous l'effet de l'allongement de l'espérance de vie à la naissance, passant de 28,0 ans à 29,4 ans entre 2009 et 2019, alors que l'âge médian est passé de 24,5 ans à 27,7 ans au cours de la même période.

L'augmentation des naissances continue mais avec un rythme moins soutenu, depuis 2017. Celle-ci est passée de 11,8% à 11,7% entre 2018 et 2019, au profit de celle âgée de 5 à 9 ans qui constitue désormais 10,4% de la population totale, contre 10,2% en 2018. De même, la part de la population âgée de moins de 15 ans poursuit sa progression ou elle passe de 30,1% à 30,4% durant la même période. La part de la population en âge d'activité (15 à 59 ans) continue d'enregistrer un fléchissement, passant de 60,6% à 60,0%, entre 2018 et 2019. Alors que la part des personnes âgées de 60 ans et plus est passée de 9,3% à 9,5% au cours de cette même période. Le volume de la population féminine en âge de procréer (15-49 ans) a atteint 11,0 millions, soit une quasi-stagnation par rapport à 2018 ([Banque Mondiale, 2018](#))

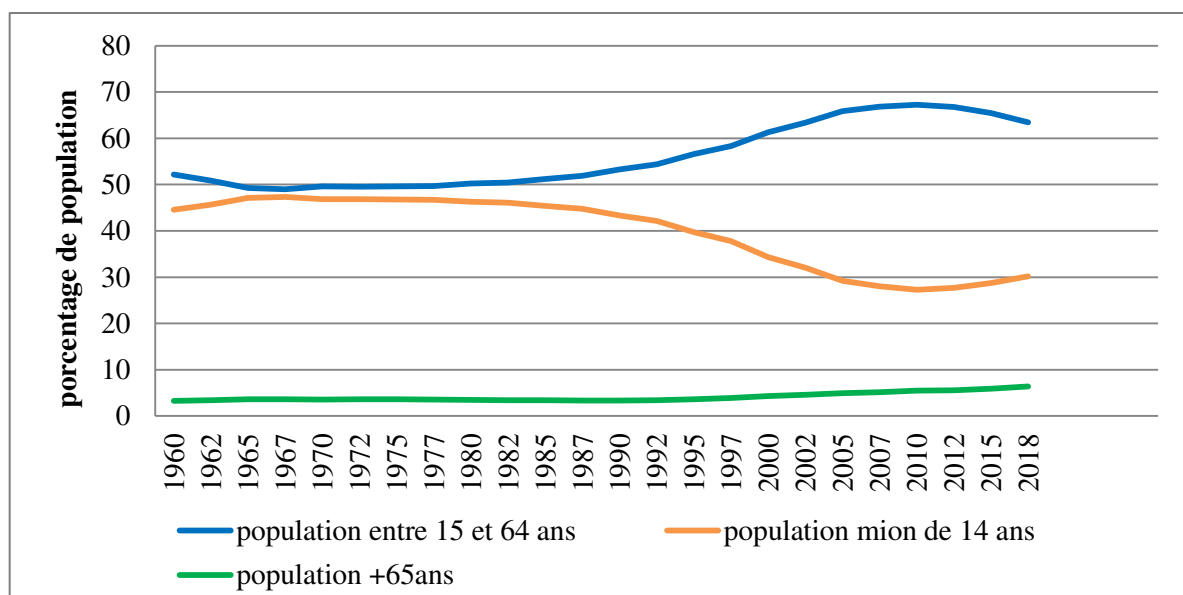


Figure II.5. Développement de la population Algérienne (Banque Mondiale, 2018)

II.3 Sismicité de l'Algérie

II.3.1 Position de l'Algérie par rapport aux plaques lithosphériques

L'Algérie, comme les autres pays méditerranéens, est sujette à une activité sismique importante. Situé sur la bordure de la plaque africaine laquelle est en mouvement continue de collision avec la plaque eurasiatique, qui s'étend des Açores jusqu'à la Turquie en passant par Gibraltar, le Maghreb, l'Italie, la Yougoslavie et la Grèce (Figure II.6) (Yelles Chaouche, 1993). Des méthodes fondées, des mesures par des techniques spatiales font ressortir que la direction de rapprochement est NNW-SSE le taux de rapprochement est estimé entre 4-8 mm par an (Djedi et Aitouche, 2007).

Des contraintes sont accumulées par le mouvement de rapprochement des deux plaques puis libéré sous forme de secousses sismiques. En Algérie l'activité sismique est localisé dans la partie nord.

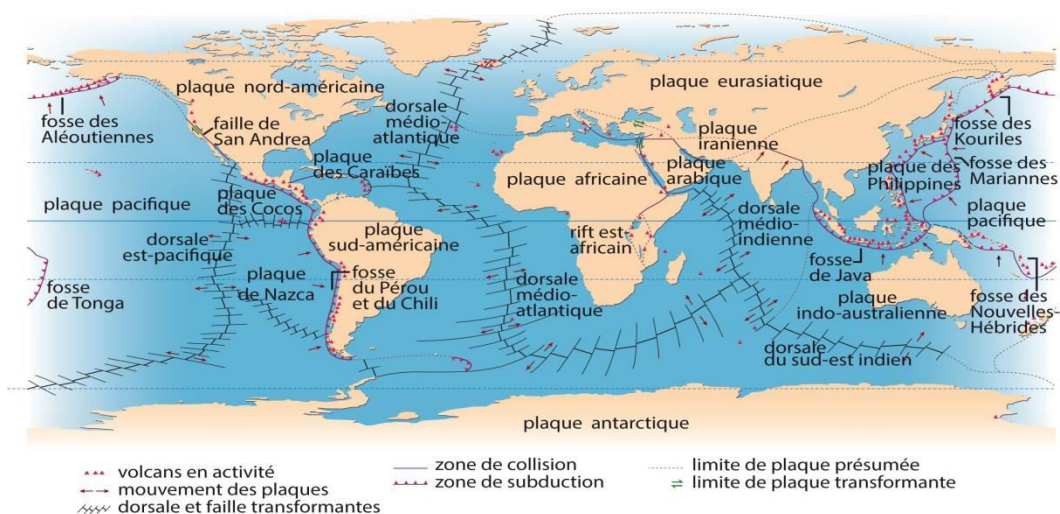


Figure II.6. Plaques tectoniques au monde et leurs directions de mouvement.

En Algérie l'activité sismique est connue depuis 1365, où le premier séisme a été mentionné et des différentes analyses montrent que la sismicité en Algérie est classée en quatre zones qui sont :

- **La bordure Tellienne** : la région où la sismicité est plus fréquente et où les séismes les plus importants ont eu lieu ;
- **La région des hauts plateaux** : se caractérise par une sismicité plutôt faible ;
- **La région de l'Atlas saharien** : une sismicité réduite. Quelques séismes qui sont mentionnés dans les monts de Aurès et Babors ;
- **La région Saharienne** : une sismicité quasiment nulle. Seules quelques secousses enregistrées à Touggourt en 1955.

II.3.2 Historique de la sismicité de l'Algérie

La sismicité algérienne est connue jusqu'en 1365, cette date correspond au séisme d'Alger. Avant cette date, la sismicité est inconnue, faute de disponibilité de la documentation et des dossiers relatifs à l'époque antique et médiévale de cette région. Cet événement était d'une intensité de X. Depuis 1365, l'Algérie a été secouée par plusieurs tremblements de terre, dont certains ont été violents et des meurtres (Lillouch et al., 2019). donc de nombreux efforts ont été déployés, dans le but d'obtenir un catalogue complet de la sismicité algérienne.

Tableau II.2. L'historique de la sismicité en Algérie (1365-2010) (Lillouch et al., 2019)

Localisation	Date	Intensité	Magnitude	Dégâts humaine
Alger	03/01/1365	X	-	Plusieurs
Alger	03/02/1716	IX	-	-
Oran	09/10/1790	X	-	2000
Blida	02/03/1825	X	-	7000
Djидjelli	22/08/1856	X	-	-
Mouzia	02/01/1867	X-XI	-	100
Aures	16/11/1869	IX	-	-
Mascara	29/11/1887	IX-X	-	80
Gouraya	15/01/1891	X	-	38
Sidi aich	01/01/1901	IX	-	-
Constantine	16/09/1907	VIII	-	-
S.El ghoulane	24/06/1910	X	-	81
Bejaia	12/02/1946	IX	-	264
Orleans ville	09/09/1954	X	6,7	1243
Setif	13/11/1957	VIII	-	-
El asnam	10/10/1980	X	7,3	2633
Constantine	27/10/1985	VIII	5,9	10
Tipaza	29/10/1989	VIII	6,0	22
Mascara	18/08/1994	VII	5,7	175
Alger	04/09/1994	VII	5,7	-

Tableau II.3. L'historique de la sismicité en Algérie (1365-2010) (Lillouch et al., 2019) (suite).

Localisation	Date	Intensité	Magnitude	Dégâts humaine
Timouchent	22/12/1999	VII	5,7	25
B.Ourtilane	10/11/2000	VII	5,4	04
Boumerdes	21/05/2003	X	6,8	2300
Laalam	20/03/2006	VII	5,2	04
Beni ilmane	14/05/2010	VII	5,2	04

II.4 Les zones sismiques en Algérie

Le territoire national est divisé en cinq (05) zones de sismicité croissante (RPA, 2003), définies sur la carte des zones de sismicité, soit :

Tableau II.4. Les zones sismiques de l'Algérie

Zone	Sismicité
Zone 0	sismicité négligeable
Zone I	sismicité faible
Zone IIa et IIb	sismicité moyenne
Zone III	sismicité élevée

La Figure II.7 représente la carte des zones sismiques de l'Algérie et le zonage global des différentes wilayas (RPA, 2003) et la Figure II.8 la vulnérabilité des territoires.

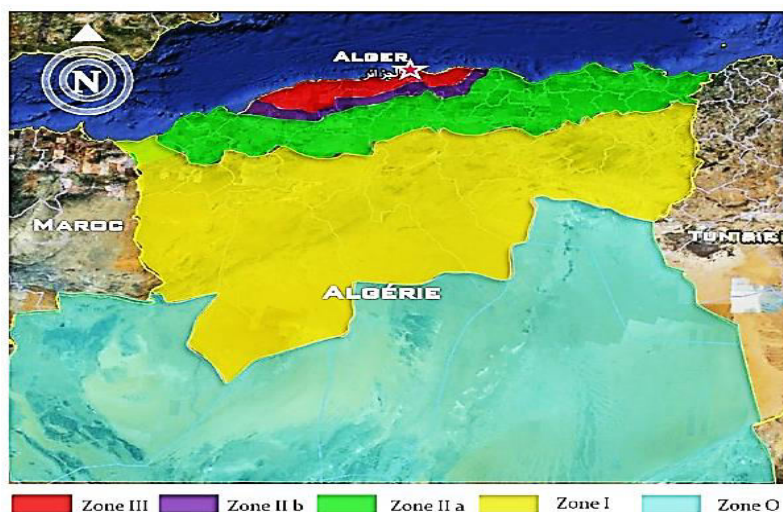


Figure II.7. Les zones sismiques en Algérie

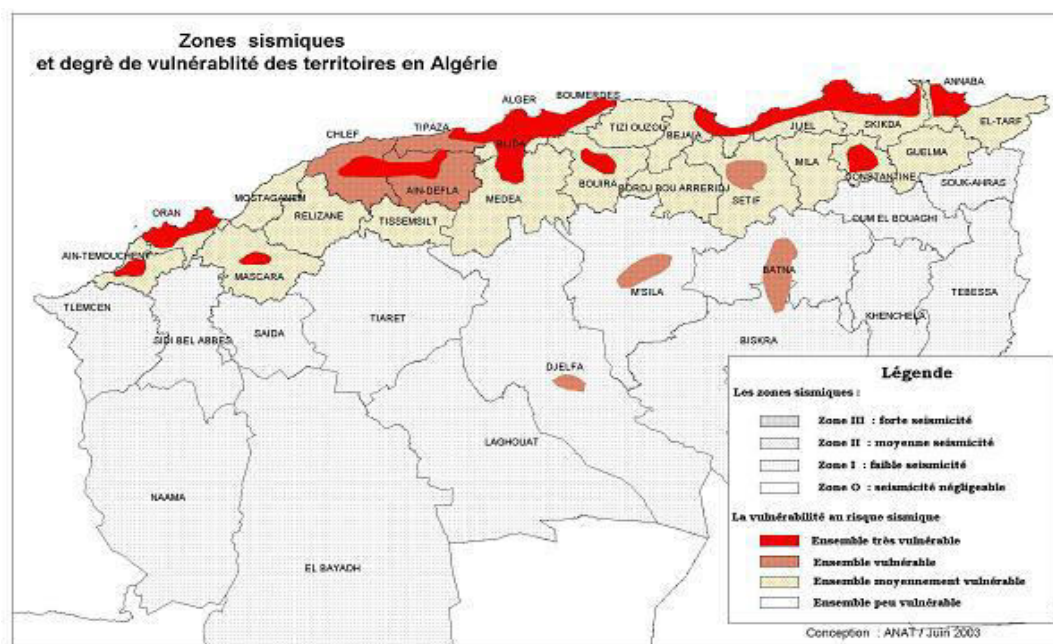


Figure II.8. Zones sismiques et la vulnérabilité des territoires en Algérie

II.5 Cadre législatif algérien et intégration des dispositions de la protection de la population dans le système réglementaire

II.5.1 Législation de prévention sismique

Entre 1980 et 2000, plusieurs décrets et lois avaient permis de réglementer en partie la prévention vis-à-vis des risques naturels et technologiques, en particulier ([Ministère de l'habitat, 2005](#)):

- Le **décret n°85-231** fixant les conditions et modalités d'organisation et de mise en œuvre des interventions et secours en cas de catastrophes. C'est ce décret qui a permis la mise en place des « Plans d'organisation des interventions et secours » (*Plans ORSEC*), à la fois à l'échelle des wilayas, des communes et des unités (industrielles par exemple).
- Le **décret n°85-232** relatif à la prévention des risques de catastrophe. Il comporte 11 articles. Le terme « *Plan de Prévention des Risques* », d'origine naturelle ou technologique, est indiqué (article 2), mais sans qu'il y ait de description détaillée de ses objectifs, de son contenu et de sa réalisation.

Suite aux deux catastrophes de : Bab El Oued, en novembre 2001, et de Boumerdes, en mai 2003, d'autres textes sont venus compléter ces premières dispositions, en matière d'aménagement du territoire, d'assurance, de construction parasismique et d'organisation générale.

- Le **Décret exécutif 03-332 du 08 octobre 2003**, portant création, organisation et fonctionnement du Centre Opérationnel National d'Aide à la Décision.

- Le **Décret exécutif du 04-181 du 24 juin 2004**, portant création de la commission de communication liée aux risques naturels et technologiques majeurs.
- Afin de compléter et d'harmoniser l'ensemble des dispositions permettant la meilleure prévention possible vis-à-vis des catastrophes naturelles et technologiques, la **Loi n°04-20** a été publiée, le **25 décembre 2004**. Cette loi est relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.

II.5.2 Le risque sismique et l'aménagement du territoire

En matière d'aménagement du territoire, la **loi 2004-05 du 14 août 2004** modifie la loi 90-29 et la complète, notamment en matière de limitation des parcelles constructibles à celles qui ne sont pas exposées directement aux risques naturels et technologiques. Ainsi il est fixé aux PDAU et POS de définir les conditions d'aménagement et de construction en prévention des risques naturels. Les zones sismiques en particulier doivent être identifiées et classées selon leur degré de vulnérabilité et les projets de construction doivent être élaborés conjointement par un architecte et un ingénieur agréé. La loi **2004-05** ajoute des dispositions de démolition des constructions faites en infraction aux règles et procédures d'urbanisme et de construction.

II.5.3 Le système d'assurance –Une prise en charge préventive

Trois textes législatifs récents concernent le système d'assurance :

- L'**ordonnance 03-12 du 26 août 2003** relative à l'obligation d'assurance des catastrophes naturelles et à l'indemnisation des victimes. L'assurance est prescrite par toute personne propriétaire d'un bien immobilier ou exerçant une activité industrielle ou commerciale et le contrat d'assurance est exigé pour toute transaction immobilière ou lors des déclarations fiscales. L'ordonnance fixe aux compagnies d'assurances d'accorder la couverture contre les effets des catastrophes naturelles avec garantie de l'Etat, et détermine les conditions d'indemnisation.
- Le **décret exécutif n° 04-268 du 29 août 2004** portant identification des événements naturels couverts par l'obligation d'assurance des effets des catastrophes naturelles et fixant les modalités de déclaration de l'état de catastrophe naturelle. Sont ainsi couverts : les tremblements de terre, les inondations et coulées de boues, les tempêtes et vents violents, les mouvements de terrains. Le décret prévoit la déclaration de l'état de catastrophe naturelle par un arrêté interministériel des ministres chargés des collectivités locales et des finances au plus tard deux mois après l'événement sur la base d'un rapport du ou des walis concernés.
- Le **décret exécutif 04-270 du 29 août 2004** définissant les clauses types à insérer dans les contrats d'assurance des effets des catastrophes naturelles.

II.5.4 Construction parasismique une exigence

L'**arrêté du 04 janvier 2004** du Ministre de l'Habitat et de l'Urbanisme porte révision des règles parasismiques algériennes et leur remplacement par les « RPA 99 / Version 2003 ». Il porte approbation des adaptations des RPA 99 après le séisme de Boumerdes du 21 mai 2003

et fixe aux maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre, bureaux d'études techniques, entreprises de réalisation, organismes de contrôle technique et d'expertise d'appliquer les nouvelles règles et charge le centre national de recherche appliquée en génie parasismique (CGS) de les éditer et diffuser.

II.6 La culture du risque

II.6.1 Sensibilisation du public

Après le séisme d'El Asnam en 1980 et le décret n° 85-232 du 25 août 1985 relatif à la prévention des risques de catastrophe, l'Algérie a prévu que chaque Ministre arrête et/ou mette en œuvre, conjointement avec le Ministre de l'Intérieur et des Collectivités Locales et les Ministres concernés, les programmes d'information et de sensibilisation sur les risques inhérents à son secteur d'activité.

La loi 04-20 considère le développement de l'information préventive sur les risques comme l'un des objectifs du système de prévention des risques majeurs et de gestion des catastrophes. Dans l'esprit du principe de participation, le citoyen a le droit d'accéder aux informations concernant les aléas auxquels il est confronté, aussi bien qu'aux facteurs de vulnérabilité. En application de ces principes en matière d'information des citoyens et de formation, la loi institue un enseignement sur les risques dans tous les cycles d'enseignement.

En outre, elle fixe par voie réglementaire, soit les modalités d'accès égal et permanent à toute information relative aux risques majeurs, soit les modalités d'organisation, de promotion et de soutien de toute campagne ou action d'information sur les risques majeurs, leur prévention, et la gestion des catastrophes. Avec la même loi, il a été institué un enseignement des risques majeurs dans tous les cycles d'enseignement, avec pour objectif de fournir une information générale sur les risques majeurs, de prévoir une formation sur la connaissance des aléas, des vulnérabilités, et des moyens de prévention modernes, ainsi que d'informer et préparer l'ensemble des dispositifs devant être mis en œuvre lors de la survenance de catastrophes.

La plupart des secteurs concernés par la prévention des catastrophes disposent donc aujourd'hui de programmes d'éducation et de sensibilisation du public. Néanmoins, leur efficacité est variable selon les secteurs et les domaines ciblés. Les secteurs des forêts et de l'environnement semblent être ceux où des actions concrètes et continues portent leurs fruits, notamment auprès de la population scolaire. Les méthodes utilisées pour la diffusion de l'information sont en général : i) Prospectus, dépliants et affiches, ii) Conférences et expositions au niveau des écoles, iii) Quelques spots publicitaires à la télévision et à la radio.

Des campagnes de sensibilisation dans les écoles ont été organisées par le Croissant-Rouge en coopération avec la DGPC. Du matériel sur les comportements à tenir avant, durant et après un séisme a été distribué et des éducateurs ont été formés. De plus, la sous-direction des risques majeurs de la DGPC a réalisé une campagne d'éducation à la culture du risque. Pour le moment, ces campagnes ne sont pas encore systématisées au niveau de toutes les écoles et ne sont pas encore effectuées chaque année. Il serait aussi opportun d'impliquer le ministère

de l'Éducation afin qu'il puisse jouer un rôle plus actif en matière de formation de culture du risque ([Revue par pairs, 2019](#)) .

II.6.2 Le rôle de la communauté scientifique

A partir des années quatre-vingt, l'Algérie a de plus en plus amélioré les capacités techniques pour la surveillance sismique et les recherches dans le domaine de la sismologie, du génie parasismique, de la construction et de l'observation satellitaire. En particulier, il y a eu un renforcement des moyens d'études et de recherche et d'équipements mobiles et fixes d'essais dynamiques des structures, notamment par l'acquisition, au CGS, d'un laboratoire de dynamique de structures comportant une table vibrante de dernière génération (6x6m ; 6 degrés de liberté), un mur de réaction (13x15m) et une dalle d'essais (13x32m). Les institutions scientifiques et de recherche dans le domaine sismique les plus importantes du pays ont fait preuve de compétence et de maîtrise des connaissances en la matière. Le CRAAG, le CGS et l'ASAL ont établi des liens de travail avec plusieurs associations régionales et internationales, avec des pays et des partenaires (y inclus la Chine, les États-Unis, et à travers l'Europe). Comme conséquence, l'Algérie a participé à de nombreux projets de recherche au niveau national et international ([Revue par pairs, 2019](#)).

II.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu que le risque sismique en Algérie est prépondérant, en particulier pour les régions nord du pays. Cette même région est la plus peuplée avec une concentration de la population de plus de 65% de la population totale.

En plus de cette situation d'exposition de la population au risque sismique, l'état des constructions anciennes qui compte la plus grande partie du parc résidentiel en Algérie ([Moussaoui et Cherrared, 2015](#)).

Toutes ces données fonds aujourd'hui de l'évaluation de la vulnérabilité sociale de la population algérienne vis-à-vis des séismes une nécessité.

Chapitre III

Proposition d'une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité sociale des villes algériennes aux séismes

Ce chapitre est le cœur du travail mené. En effet, dans celui-ci, nous allons poser les bases de notre méthodologie. Cette dernière est basée sur une démarche combinée par deux approches (Top-down et Bottom-up). La première est une approche diagnostique de description des objectifs qui a pour but de décomposer un problème complexe (bâtiment d'habitation dans notre cas) en une série de paramètres facilement mesurable (les indicateurs de performance IPs). Par opposition à cette approche descendante, la deuxième est un processus d'agrégation des performances multicritère ascendant. Celui-ci est basé sur l'agrégation complète par la méthode de la somme pondérée. Le calcul des coefficients de pondération est fait par la méthode AHP (Analytic hierarchic process).

III.1 Introduction

Dans ce chapitre la méthodologie proposée sera détailler. La démarche est basée sur deux approches complémentaires. La première est diagnostic descendante descriptive, qui a pour but de définir les différents indicateurs de la vulnérabilité sociale des villes algériennes. La méthode que nous proposons utilise des objectifs représentant les aspects principaux du projet ; chaque objectif d'un projet de bâtiment d'habitation est évalué par l'intermédiaire d'un ensemble d'indicateurs. Ainsi l'utilisateur obtient un "tableau de bord" lui donnant une vision exhaustive des conséquences.

La seconde est ascendante d'agrégation des indicateurs, qui a pour but de rassembler les indicateurs pour avoir un indice général de la vulnérabilité sociale avec la méthode de la somme pondérée par la méthode AHP. L'approche ascendante présente l'avantage majeur de prendre en compte dès le départ les données disponibles, mais elle ne permet pas forcément d'obtenir un système l'objectif exhaustif et équilibré car elle est basée uniquement sur les données disponibles et non pas sur une vision exhaustive des attentes.

Dans le but d'améliorer le processus d'agrégation multicritère et améliorer la précision des calculs ainsi que de réduire le temps de l'opération, un outil numérique est proposé.

III.2 Méthodologie proposée

III.2.1 Portée de l'étude

Cette étude a pour but de servir de base au développement futur d'un outil avancé d'évaluation de la vulnérabilité sociale des villes algériennes. De ce fait, elle doit être particulièrement adapté aux cas spécifiques de l'Algérie, au mode de construction locale, à la société et aux normes nationales. La recherche vise à faire face aux problèmes mentionnés dans le chapitre précédent et à la mise en œuvre réelle de l'évaluation de la durabilité en Algérie en se basant sur la littérature du chapitre I.

III.2.2 Structure de la méthodologie

La méthode que nous proposons (Figure III.1) utilise des objectifs représentant les aspects principaux du projet quantifiés suivant un schéma descendant. Chaque objectif d'un projet de bâtiment d'habitation est évalué par l'intermédiaire d'un ensemble de critères et d'indicateurs pour ensuite être agrégé dans un processus ascendant. Les approches descendantes permettent aux experts de définir le cadre de vulnérabilité et ses indicateurs. Les approches ascendantes permettent la participation des parties prenantes à un tel processus ([Waas et al., 2014](#)).

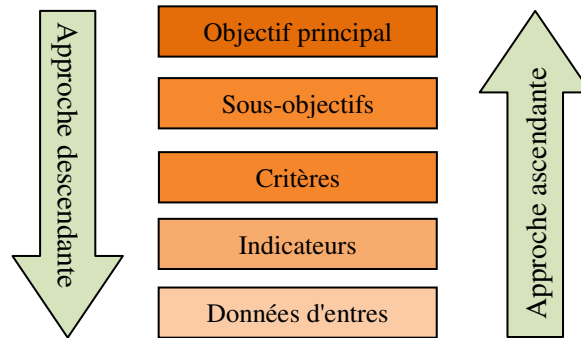


Figure III.1. Structure de la méthodologie adoptée.

La première approche descendante "Top-down" (Figure III.2) suit la logique suivante :

1. Fixer un objectif ;
2. Identifier, pour chaque objectif, des critères éventuels pouvant contribuer à son évaluation ;
3. Identifier, pour chaque critère des indicateurs qui vont contribuer à son évaluation ;
4. Élaborer, pour chaque indicateur, une (ou des) méthode(s) de calcul ;
5. Définir des méthodes d'appréciation de la performance de l'indicateur (normes, fonctions, base de données, avis d'experts, etc.).

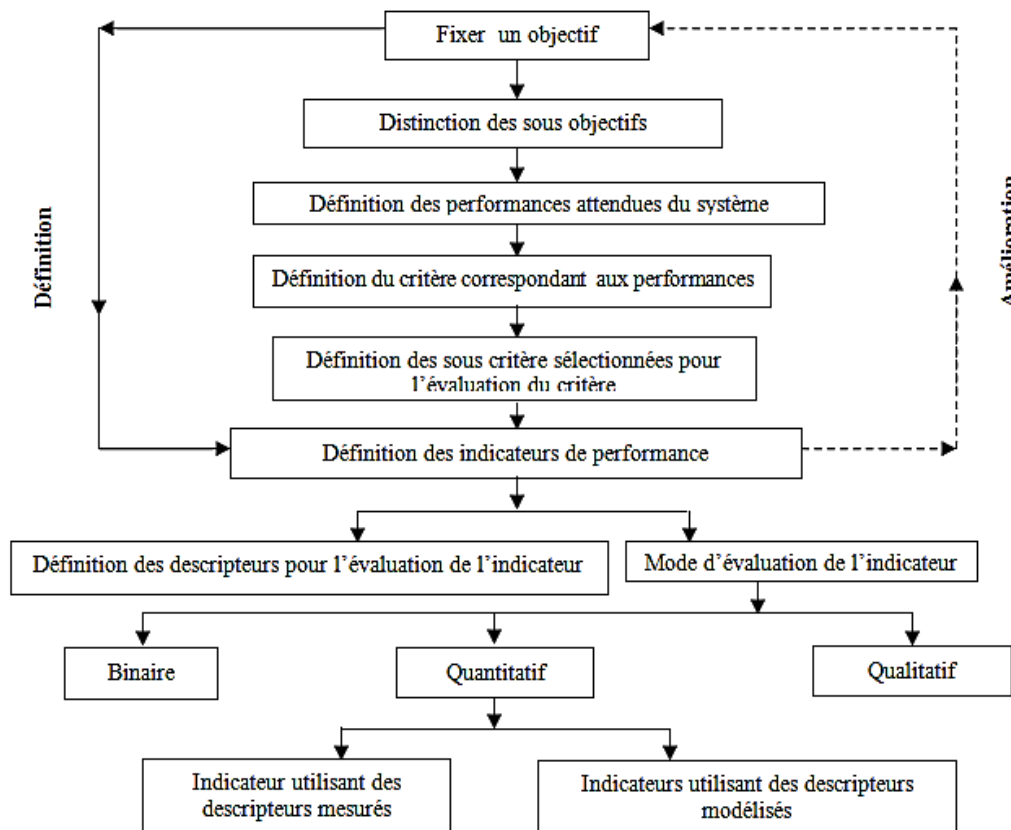


Figure III.2. Démarche adoptée pour la construction et l'évaluation des IPs

Par opposition à l'approche descendante, l'approche ascendante est un processus d'agrégation multicritère. La démarche a pour objectif de calculer les performances des niveaux d'évaluations supérieurs à partir des IPs. Nous avons choisi méthode d'agrégation complète par la méthode de la somme pondérée. Pour le calcul des coefficients de pondération, nous utiliserons la méthode AHP.

III.2.2.1 Définition d'un IP

L'utilisation du concept d'indicateur a initialement servi en sociologie. Il y désignait la traduction de concepts théoriques (abstraites) en variables observables. Après un déclin d'utilisation dans les années 60, il a récemment resurgi et devient maintenant un concept indissociable des approches performantielle. Son utilisation est de plus en plus courante et il acquiert une importance grandissante dans le processus décisionnel (Boulanger, 2004).

D'après Cherqui (2005), de nombreuses définitions du terme indicateur existent ; parmi elles on retient la définition suivante : « Modèle qui simplifie un sujet complexe ».

III.2.2.2 Modes d'évaluation des IPs

L'évaluation des indicateurs peut être :

- Quantitatif : mesures directes ou par modélisation ;
- Qualitatif : une appréciation telle que bon, moyen, mauvais ;
- Binaire : présente ou ne présente pas la performance ;
- Par expertise : à l'aide des expériences et les travaux récents des autres.

III.2.2.3 Éléments d'évaluation de la performance

La méthode proposée dans ce travail, doit fournir des informations concises pour permettre une vue d'ensemble. Elle prend en compte dès le départ les données disponibles, pour évaluer la performance des indicateurs et des critères de chaque objectif. Ainsi, les éléments clés pour l'évaluation des performances sont :

- **Données** : sont considérées comme nourriture ou alimentation pour avoir le résultat final qu'on cherche. Ce niveau est le point d'entrée de l'évaluation alors les données permettent d'alimenter les indicateurs pour effectuer l'évaluation. A ce niveau on n'a pas besoin de calculer la performance.
- **Indicateurs de performance** : C'est le niveau clé de l'évaluation. Un critère peut être évalué avec plusieurs indicateurs. Ces indicateurs sont alimentés par des données brutes. La performance de chaque indicateur (PI_i) est calculée quantitativement ou qualitativement.
- **Critères** : C'est le niveau supérieur de l'évaluation des performances. La performance d'un critère (PC_i) est calculée en fonction des performances des sous critères ou bien des indicateurs (PI_i).
- **Objectifs** : Pour ce niveau, la performance est évaluée et nous pouvons visualiser l'ensemble des performances des critères qui composent le sous objectif. Cela permettra de faire des comparaisons à ce stade entre les différentes variantes.

III.3 Approche diagnostique descendante "Top-down"

Une approche descendante, ou approche *top-down* (de haut en bas en français), implique des processus qui, à partir d'un problème complexe, visent à forger celui-ci, à le transformer par étapes en éléments facilement mesurables.

III.3.1 Tableau de bord d'évaluation de la vulnérabilité

L'approche *descendante* permet de conceptualiser rapidement le projet et de le diviser en sous-parties aisément manipulables. Elle permet donc d'avoir une vue globale du projet final et de donner une estimation rapide, de sa complexité. Techniquement, cette approche consiste à concevoir le sujet d'études ou le produit dans les grandes lignes, puis, itérativement, à s'intéresser à des détails de plus en plus fins.

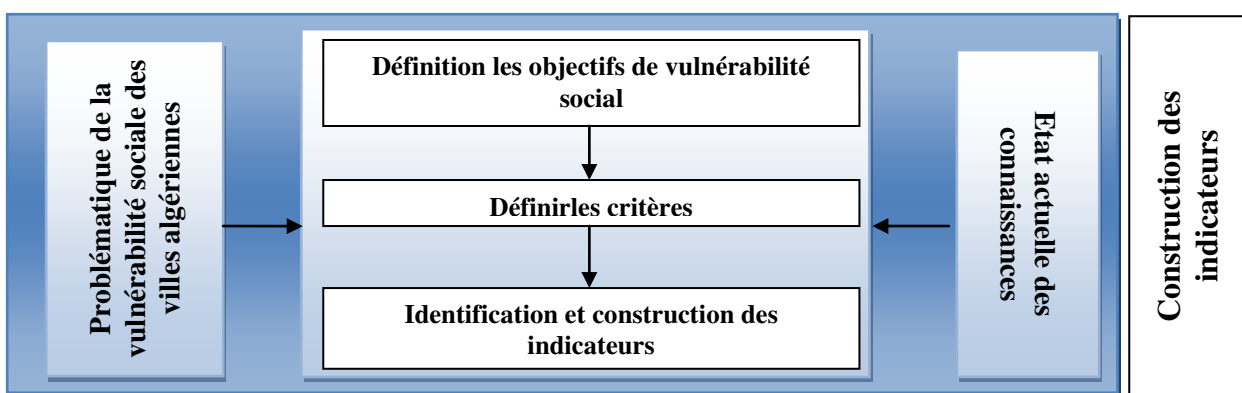


Figure III.3. Logique de l'approche descendante « Top-Down »

A l'issus de cette approche, nous avons organisé un tableau de bord de hiérarchisation du problème (Tableau III.1.) dans lequel nous avons regroupé les différents sous-objectifs, critères et IPs de l'évaluation de la vulnérabilité sociale d'un bâtiment d'habitation.

Tableau III.1. Tableau de bord de l'évaluation de la vulnérabilité sociale

Sous-objectifs	Critères	Indicateurs	Références
Individus au foyer (<i>IF</i>)	Age (<i>AG</i>)	Personnes âgées > 65 ans	(Phillips, 2001 ; White et Heinz., 2000 ; Buckle, 1995)
		Enfants < 15 ans	
	Sexe (<i>SX</i>)	Pourcentage des Femmes	(White et Heinz., 2000 ; Buckle, 1995 ; Fordham, 2000)
		Femmes enceintes	
		Femmes avec > 5 enfants	
	Qualité de vie (<i>QV</i>)	Niveau d'éducation et de sensibilisation	(Armas, 2012)
		Mobilité physique des occupants	
	Occupation du bâtiment (<i>OB</i>)	Temps d'occupation	(Granger et al., 1999 ; Wisner et al., 2004 ; Beck et al., 2010).
		Taux d'occupation du logement	

Tableau III.2. Tableau de bord de l'évaluation de la vulnérabilité sociale (Suite)

Sous-objectifs	Critères	Indicateurs	Références
Accessibilité(AC)	Secourisme(SR)	Distance au hôpitaux	(Dwyer et al., 2004)
		Distance au postes de protection civil	
	Voisinage du bâtiment(VB)	Accessibilité au bâtiment	
		Présence de zones libre et dégagé à l'extérieur du bâtiment	
Aspect parasismique (AP)	Exposition aux séismes(ES)	Zonage sismique	(Moussaoui et Cherrared, 2015)
		Code de construction	
	Stabilité du bâtiment (SB)	Age de bâtiment	
		Nombre de séismes >4.5 ayant touché le bâtiment	

III.3.2 Méthodes de calcul des IPs

La deuxième étape, après la définition des IPs, est leur calcul. En effet, une méthode de calcul doit être assimilée à chaque IP. Ces méthodes de calcul peuvent être des normes, des relations de calcul analytique et/ou empirique ou semi-empirique, des modélisations par logiciels de calculs, etc.

Le Tableau III.3 et III.4 résument les méthodes de calcul des IPs définis dans le tableau III.1.

Tableau III.3. Méthodes de calcul des IPs

Critère	Indicateur	Symbole	Méthode de calcul
AG	Pourcentage des personnes âgées > 65 ans	<i>Ppa65</i>	$= \frac{\text{Nbre Ppa65}}{\text{Population totale}}$
	Pourcentage des enfants < 15 ans	<i>Pe15</i>	$= \frac{\text{Nbre Pe15}}{\text{Population totale}}$
SX	Pourcentage des femmes	<i>Pf</i>	$= \frac{\text{Nbre Pf}}{\text{Population totale}}$
	Pourcentage des femmes enceintes	<i>Pfe</i>	$= \frac{\text{Nbre Pfe}}{\text{Population femelle totale}}$
	Pourcentage des femmes avec > 5 enfants	<i>Pf5</i>	$= \frac{\text{Nbre Pf5}}{\text{Population femelle totale}}$
QV	Niveau d'éducation et de sensibilisation	<i>Nes</i>	$= \frac{\sum_1^n \text{Note de chaque personne}}{\sum_1^n \text{Nombre total des repenses}}$
	Mobilité physique des occupants	<i>MoPhy</i>	$= \frac{\text{Nbre de personne malades}}{\sum_1^n \text{Totalité des individus}}$

Tableau III.4. Méthodes de calcul des IPs (Suite)

Critère	Indicateur	Symbole	Méthode de calcul
OB	Taux d'occupation du logement	<i>Tol</i>	<i>Nombre d'heures</i>
	Temps d'occupation	<i>Tocc</i>	$P\% = \frac{\sum_1^n \text{Personnes occupées}}{\sum_1^n \text{Totalité des personnes}}$ $\text{Moyenne } P\% = \frac{\sum_{i=1}^n P\%}{4}$
SR	Distance au hôpitaux	<i>Dishot</i>	<i>Mesure de la distance sur Google Maps</i>
	Distance au postes de protection civil	<i>Disppc</i>	
VB	Accessibilité au bâtiment	<i>Accbat</i>	/
	Présence de zones libre et dégagé à l'extérieur du bâtiment	<i>Pzldéb</i>	
ES	Zonage	<i>Zon</i>	<i>Le zonage sismique est déterminé à partir de la réglementation parasismique algérienne</i>
	Code de construction	<i>Cocons</i>	<i>Nouveau code (RPA 99 v.2003) ou ancien code (RPA 99, 88, 83 et 81 et AS 55)</i>
SB	Age de bâtiment	<i>Abat</i>	<i>L'âge du bâtiment est calculé à partir de la fin de sa construction</i>
	Nombre de séismes >4.5 ayant touché le bâtiment	<i>Nstbat</i>	<i>Calcul à partir des données statistiques disponible sur le site du CRAAG dans la zone d'étude</i>

III.3.3 Echelles de performance

L'idée de l'évaluation de la performance est de quantifier l'ensemble des IPs sur une échelle. Pour cela nous allons affecter pour tous les critères les mêmes échelles de performance. Il nous reste donc de définir le type d'échelle choisir pour représenter les performances. Ce choix dépend bien de la méthode d'évaluation des performances qui sera adopté par la suite. Cette méthode est basée principalement sur le l'algorithme de la méthode. Elle considère que la valeur des indicateurs et des critères est comprise entre 0 et 1. La valeur 1 est attribuée pour une performance idéale de l'indicateur, tandis que la valeur 0 pour une très mauvaise performance.

III.3.3.1 Echelles de performance des IPs des critères "Age et sexe de la population"

Les deux IPs du critère AG et les trois IPs du critère SX ont les mêmes échelles de performance. En effet et selon (Dwyer, 2004) l'évaluation de ces IPs se ferait selon le pourcentage correspondant à chacun, et d'une performance proposée, l'évaluation des performances de ces indicateurs est comme indiquée sur le tableau III.3 et la Figure III.4.

Tableau III.5. Echelles de performance des IPs des critères AG et SX

IP	100%	]100-75]%	]75-50]%	]50-25]%	]25-00[%	00%
Performance	0	0,1	0,4	0,7	0,9	1

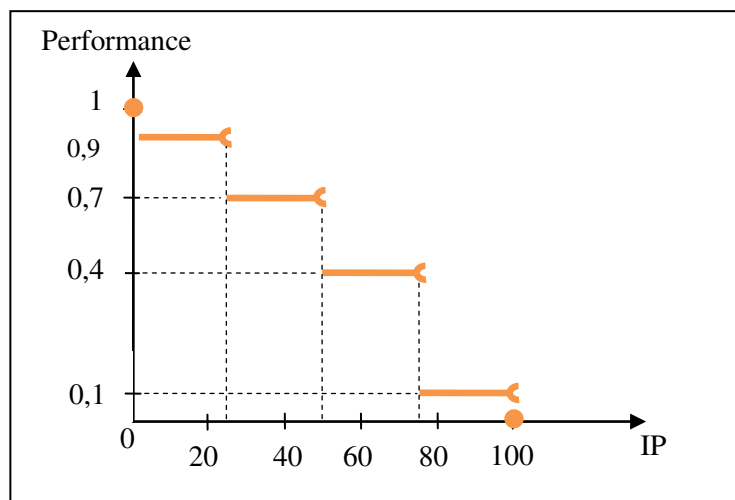


Figure III.4. Echelles de performance des IPs des critères AG et SX

III.3.3.2 Echelles de performance des IPs du critère "Qualité de vie"

A. Indicateur : Niveau d'éducation et sensibilisation (Nes)

Cet indicateur mesure le niveau de connaissance de la population résidente vis-à-vis des bonnes pratiques à faire lors d'un tremblement de terre. Pour cela, nous avons développé un questionnaire contenant cinq questions qui seront posées à la population résidente du bâtiment d'habitation.

Question 1 : que devriez vous faire avant un séisme ? (4 points)

- Ne pas prendre le risque sismique en importance .
- Fixer bien les éléments qui peuvent tomber et engendrer des dégâts.
- Déterminer les endroits sécuritaires dans le ménage .
- Ne pas avoir une boîte à pharmacie.

Question 2 : Que faites vous lors d'une secousse de terre ?(6 points)

- Sauter de la fenêtre.
- Fuir directement vers l'extérieur .
- Attendre le secousse passe .
- S'agripper sous un élément structural rigide.

Question3 : Après la première secousse que allez vous faire ? (4 points)

- Allumer la télévision et voir les informations.
- Allez chez les voisin et se rendre visite et les aider.
- Se dégager vers l'extérieur , et attend les autres en dessous de bâtiment.
- Se dégager aux endroits libre et attendre que les répliques passent .

Question 4 : que devriez vous faire après les secousses ?(4 points)

- Rester et attendre .
- Retourner a la maison .
- Appeler et signaler les urgences .

Question 5 : qui sont les actions a suivre ? (2 points)

- Fuir et utiliser la senseur .
- Utiliser les panneaux d'aide a sortir.
- Se prendre les couloir sans savoir où se mènent.
- Se calmer et maîtriser les choses a faire.

En fonction des réponses et de la méthode de calcul représenté dans le tableau III.2, nous pouvons estimer ce niveau d'éducation sismique. L'échelle de performance que nous proposons pour l'évaluation de cet indicateur est la suivante :

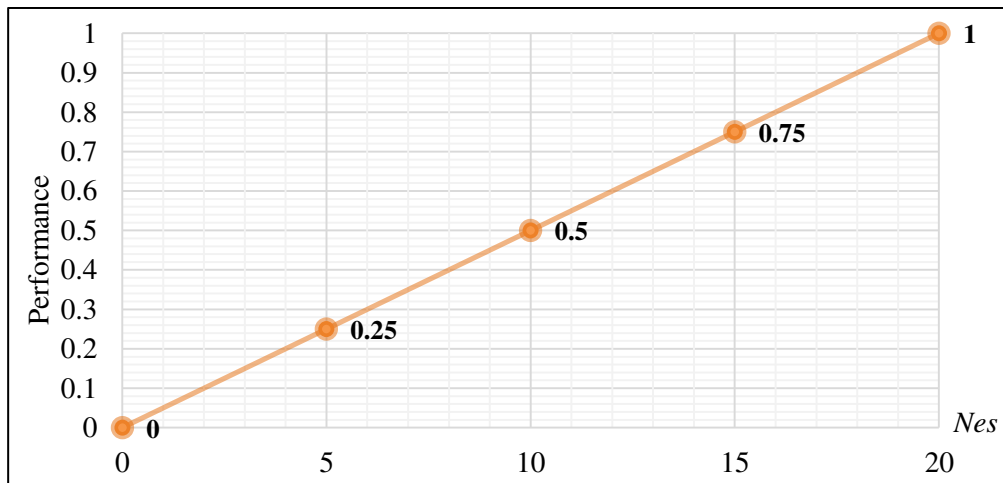


Figure III.5. Echelle de performance de l'indicateur Nes

B. Indicateur : Mobilité physique des occupants (*MoPhy*)

L'indicateur *MoPhy* mesure la capacité des individus à évacuer leurs lieux de résidence en cas de survenance d'un tremblement de terre. Pour cela, nous mesurons l'états de santé et le degré de mobilité de la population résidente (On recense les personnes ayant une maladie chronique ou un handicap). Nous proposons l'évaluation qualitative du Tableau III.4.

Tableau III.6. Echelle de performance de l'indicateur *MoPhy*

<i>MoPhy</i>	[100-75]% malades	]75-50]% malades	]50-25]% malades	]25-0[% malades	0% malades
Performance	0	0,1	0,4	0,7	1

III.3.3.3 Echelles de performance des IPs du critère "Occupation du bâtiment"

A. Indicateur : Temps d'occupation (*Tocc*)

On retient l'évaluation spatio-temporelle de la méthode MOVISS qui évalue le mouvement des personnes dans le temps et l'espace (Beck et al., 2010). Pour notre cas, nous prenons uniquement le côté temporel puisque le côté spatial est fixé (bâtiment d'habitation). Pour évaluer cet indicateur on calcule les pourcentages d'occupation sur 4 plages d'horaires d'occupation dominant suivant la méthode MOVISS.

Tableau III.7. Horaires d'occupation du logement

Heures d'occupation	8h-12h	12h-14h	14h-18h	>18h
Pourcentage des personnes	P%	P%	P%	P%

Ensuite on calcule la moyenne d'occupation journalière des quatre plages d'occupation comme suit :

$$\text{Moyenne P\%} = \frac{\sum_{i=1}^n P\%}{4}$$

Tableau III.8. Echelle de performance de l'indicateur *Tocc*

Moyenne P%	00%	25%	50%	75%	100%
Performance	1	0,75	0,5	0,25	00

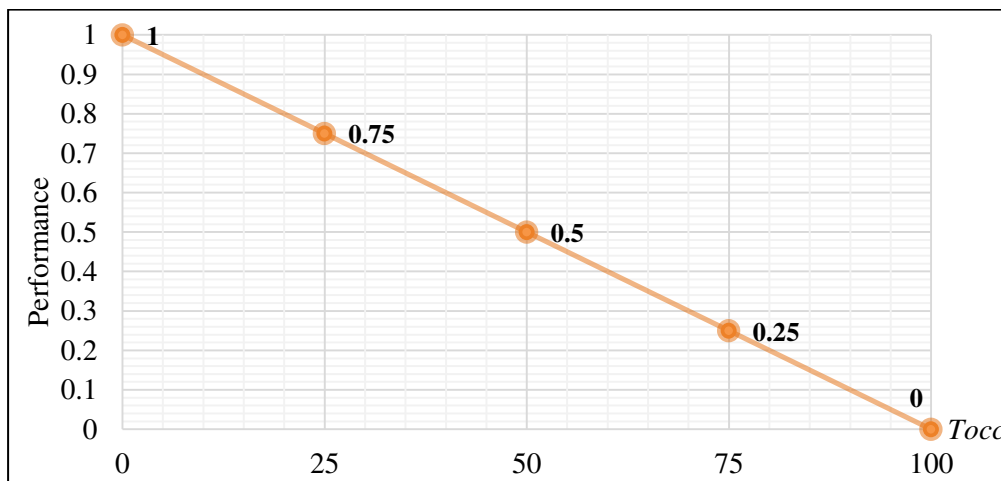


Figure III.6. Echelle de performance de l'indicateur *Tocc*

B. Indicateur: Taux d'occupation du logement (*Tol*)

D'après l'article 4 du décret n° 2002-120 du 30 janvier 2002, la superficie habitable exigée pour chaque individu est de minimum 9 m², donc pour les type de résidence en Algérie on trouve :

$$\begin{cases} F2 \approx 35 \pm 5 \text{ m}^2 \Rightarrow 3 \text{ personnes} \\ F3 \approx 45 \pm 5 \text{ m}^2 \Rightarrow 5 \text{ personnes} \\ F4 \approx 65 \pm 5 \text{ m}^2 \Rightarrow 7 \text{ personnes} \\ F5 \approx 75 \pm 5 \text{ m}^2 \Rightarrow 9 \text{ personnes} \end{cases}$$

Sur la base de cette quantification, nous proposons l'évaluation des Figures III.7 et III.8.

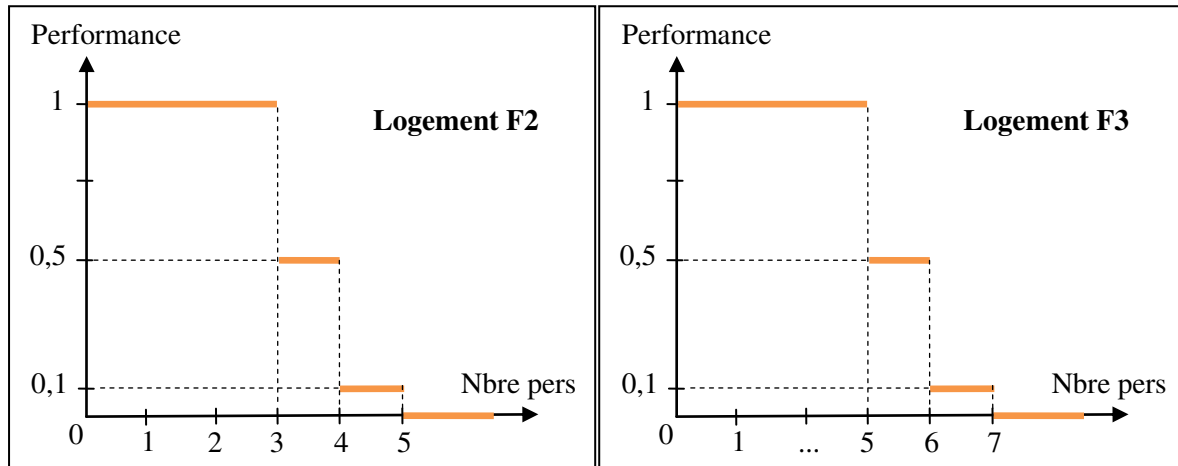


Figure III.7. Echelle de performance de l'indicateur *Tol* (Logements F2 et F3)

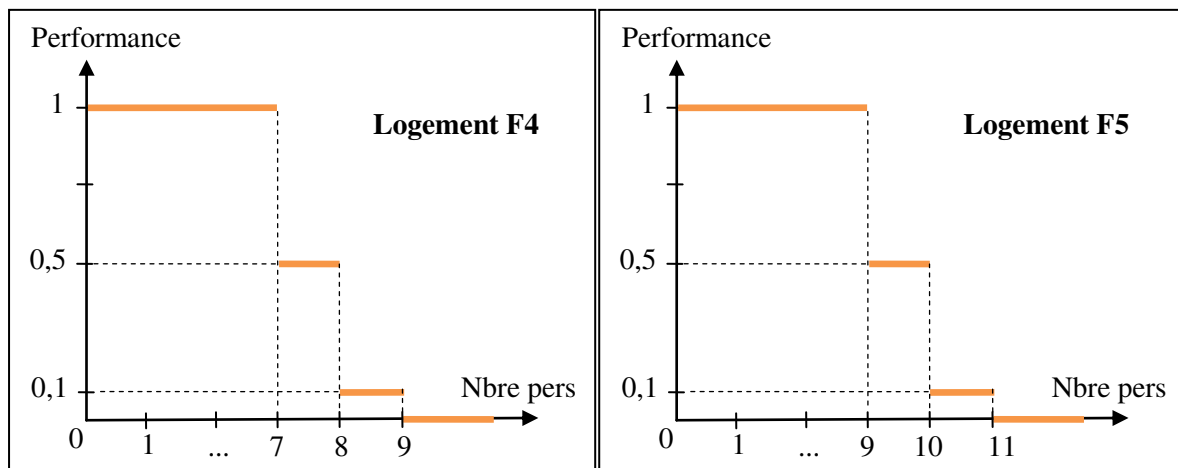


Figure III.8. Echelle de performance de l'indicateur *Tol* (Logements F4 et F5)

III.3.3.4 Echelles de performance des IPs du critère "Secourisme"

Nous proposons dans cette section une échelle de performance pour les deux IPs de ce critère (*Dishop* et *Disppc*). En effet, nous n'avons pas trouvé d'échelle dans la littérature consultée. Dans le but de garantir une évaluation la plus objective possible, nous avons effectué un entretien avec un expert dans le domaine. En effet, l'échelle de performance développée dans la tableau III.7 a été construite en partenariat avec le chef d'unité du centre de protection civil de la daïra de M'chedallah.

Tableau III.9. Echelle de performance des indicateurs *Dishop* et *Disppc*

Distance (km)	0-15 km	15-30 km	30-45 km	> 45 km
Performance	0,9	0,7	0,4	0,1

III.3.3.5 Echelles de performance des IPs du critère "Voisinage du bâtiment"

A. Indicateur : Accessibilité au bâtiment (*Accbat*)

Cet indicateur prend en compte la facilité d'accéder au bâtiment lors de l'intervention des services de secours.

Tableau III.10. Echelle de performance des indicateurs *Dishop*

Accessibilité	Très facile	Facile	Moyenne	Difficile
Performance	1	0,7	0,4	0

B. Indicateur : présence de zones libre de dégagé

Cet indicateur évalue la possibilité de contenir la population sortant du bâtiment après une secousse sismique et ce à l'écart des bâtiments et des zones de risques en cas de répliques.

Tableau III.11. L'indice de performance selon la présence de la zone de dégagé

Zone	Largement suffisante	Moyennement suffisante	Pas d'espace
Performance	1	0,5	0

III.3.3.6 Echelles de performance des IPs du critère "Exposition aux séismes"

A. Indicateur : Zonage sismique (*Zon*)

L'indicateur *Zon* mesure le degré d'exposition aux séismes en fonction de la zone où le bâtiment est construit (vulnérabilité naturelle). L'échelle de performance est donnée par le tableau III.10.

Tableau III.12. Echelle de performance de l'indicateur *Zon*

Zones	Zone 0	Zone I	Zone II		Zone III
			Zone II-a	Zone II-b	
Sismicité	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte
Performance	1	0,8	0,6	0,4	0,1

B. Indicateur : Code de construction utilisé (*Cocons*)

Cet indicateur vérifie l'actualisation du bâtiment par rapport aux normes de construction en vigueur. En effet, si un bâtiment n'a pas été construit selon la réglementation en vigueur, celle-ci nécessite alors une adaptation et est de ce fait vulnérable. L'échelle de performance est comme illustrée par le Tableau III.11.

Tableau III.13. Echelle de performance de l'indicateur *Cocons*

Règlement	RPA 99 v.2003	RPA99	RPA 88	RPA83, 81 et AS55
Performance	1	0,7	0,4	0,1

III.3.3.7 Echelles de performance des IPs du critère "Stabilité du bâtiment"

A. Indicateur: Age de bâtiment (*Abat*)

Les bâtiments anciens sont très vulnérables en cas de secousse sismique du fait de leur affaiblissement. Nous proposons l'échelle du Tableau III.12 pour l'évaluation de cet indicateur.

Tableau III.14. Echelle de performance de l'indicateur *Abat*

Age de bâtiment	<10 ans	10-30 ans	30-50 ans	>50 ans
Performance	1	0,7	0,4	0,1

B. Indicateur: Nombre de séismes >4.5 ayant touché le bâtiment (*Nstbat*)

Si un bâtiment est soumis à une forte secousse sismique, celui-ci subit inévitablement une déstabilisation et une perte de résistance. Si aucune intervention de diagnostic n'a été engagé et si plusieurs séismes touchent le bâtiment, celui-ci devient alors de plus en plus vulnérable. Pour apprécier la performance de cet indicateur on retient l'évaluation suivante.

Tableau III.15. Echelle de performance de l'indicateur *Abat*

Nombre des séismes	0	1-3	3-6	>6
Performance	1	0,7	0,4	0,1

III.4 Approche ascendante "Bottom-Up" – Agrégation des performances

III.4.1 Définition de l'approche

Une approche dite ascendante, ou approche Bottom-Up (de bas en haut), se caractérise par une suite de processus vise à calculer les performances des niveaux supérieurs de la méthodologie à partir d'une méthode bien déterminée.

La méthodologie de l'approche ascendante est détaillée par la Figure III.9.

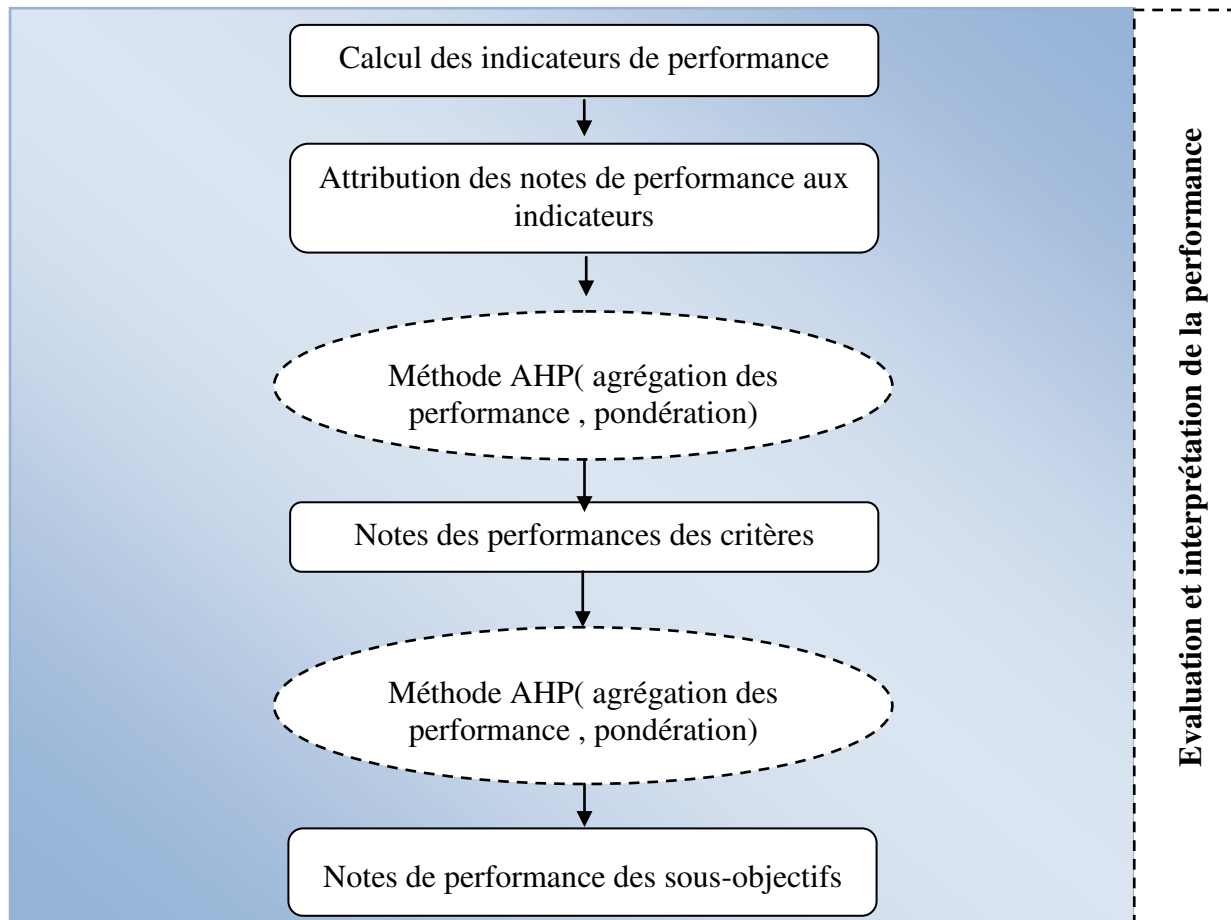


Figure III.9. Les étapes de l'approche ascendante

III.4.2 Méthodes d'agrégation des performances

D'après Ben Mena (2000) Les méthodes d'agrégation fréquemment utilisées sont :

- **L'agrégation complète** : elle suggère d'inclure toutes les performances dans une fonction d'agrégation, en leur attribuant d'éventuels poids. Il existe plusieurs méthodes d'agrégation complète :
 - La comparaison par paire ;
 - La méthode des additions linéaires ; Somme pondérée ;
 - La théorie de l'unité multi-attributs ;
 - Etc.
- **L'agrégation partielle** : la technique consiste à comparer les performances deux à deux et à vérifier, selon certaines conditions pré-établies, si l'une des deux actions surclasse l'autre ou pas et ce, de façon claire et nette ;
- **L'agrégation locale** : elle considère que la performance peut être très grande, voire infinie. La technique consiste alors à considérer une performance de départ, aussi bonne que possible, et à chercher autour de cette performance s'il n'y en a pas de meilleure.

L'agrégation des indicateurs nécessite une grande clarté et une simplicité de réalisation, c'est pourquoi nous avons opté pour une agrégation complète

III.4.3 Méthode d'agrégation complète

Pour obtenir une note par indicateur, il s'agit maintenant d'agréger l'ensemble des critères associés à l'indicateur. D'après la littérature (Roy et Bouyssou, 1993), notre problématique correspond à l'*agrégation complète* ou *approche du critère unique de synthèse* ; c'est-à-dire l'inclusion de l'ensemble des données dans une formule mathématique en vue de l'obtention d'une valeur unique. Cela suppose de choisir quels poids attribuer à chaque donnée, comment combiner ces critères en un indicateur (par une somme, un produit ou une opération plus complexe).

Dans notre cas, cette approche (ascendante) est basée sur une agrégation multicritère et évalue les performances en utilisant la méthode de la somme pondérée (MSP). Les poids des indicateurs seront calculés en utilisant la méthode AHP (Analytic Hierarchic Process).

III.4.4 Méthode de la Somme Pondérée (MSP)

La somme pondérée offre l'avantage de la clarté et de la simplicité d'utilisation. Cette dernière consiste à attribuer une note de performance à chaque indicateur PI_i , qui sera multipliée par un coefficient de pondération w_i . La somme sur (n) indicateurs donne un résultat de performance agrégé, exprimé par l'équation :

$$PC_j = \sum_{i=1}^n PI_{ji} \times w_i$$

- PC_j : valeur de performance pour le critère C_j
- PI_i : valeur de performance pour l'indicateur I_i du critère C_j
- w_i : valeur du coefficient de pondération pour l'indicateur I_i du critère C_j

Cette valeur sera bornée entre 0 et 1 étant donné que l'ensemble des critères et des poids sont positifs et inférieurs ou égaux à 1.

III.5 Méthode Analytic Hierarchic Process (AHP)

III.5.1 Présentation générale de la méthode

La méthode de l'AHP est développée par Saaty en 1977. Elle a été conçue pour remédier aux difficultés de communication qu'il existait entre les avocats et les scientifiques, par le manque d'approche pratiques et systématiques pour le l'arrangement et la prise de décision prioritaire.

La procédure d'analyse hiérarchique (AHP) n'est pas une formule magique ou un modèle qui trouve la bonne réponse. Plutôt, c'est un processus qui aide le décideur dans sa quête d'une meilleure réponse. La chose la plus difficile au sujet d'AHP est son titre, Analytic Hierarchic Process :

- **Analytic (analyse)** : L'analyse est l'opposé de la synthèse, qui implique de remonter ou combiner des pièces pour en faire une entité.

- **Hierarchic (hiérarchique)** : une entité est presque toujours hiérarchique en structure. Cela veut dire qu'elle est divisée en unités qui sont subdivisées en plus petites unités.
- **Process (procédure)** : une procédure est une série d'action, de transformation, ou de fonctions qui génère une fin ou un résultat.

III.5.2 Etapes de la procédure AHP

Cette méthode se décompose en quatre étapes (Cherqui, 2005):

- 1) Hiérarchisation des indicateurs par importance du plus important au moins important.
- 2) Construction d'une matrice à partir de la comparaison de deux à deux des indicateurs.
- 3) Détermination des poids associés à chaque indicateur grâce à une méthode approchée de calcul des vecteurs propres
- 4) Vérification de la consistance du résultat.

III.5.2.1 Hiérarchisation des indicateurs par importance

Après l'arrangement du problème en un modèle hiérarchique, cette étape consiste à l'établissement des priorités entre indicateurs appartenant au même critère, selon le principe de l'importance. Soit $I_1, I_2, \dots, I_i, \dots, I_n$ l'ensemble des indicateurs dont on cherche le coefficient de pondération. Selon le principe de la hiérarchisation, I_1 est plus importante que I_2 , jusqu'à, I_n est l'indicateur le moins important. L'importance ici n'est pas stricte, I_{i-1} peut être aussi important que I_i .

III.5.2.2 Comparaison des indicateurs par importance

Afin d'établir les préférences, une échelle de valeurs doit être choisie, pour spécifier le degré d'importance d'un indicateur par rapport à un autre. Nous adoptons l'échelle de valeur (1-9), voir le tableau ci-dessous (Harker, 1989), permettant d'introduire les jugements du décideur plus proche de sa réalité. Soit w_i le poids de l'indicateur I_i . La comparaison par paire des indicateurs conduit à définir le degré d'importance d'un indicateur par rapport à l'autre en fonction du tableau suivant :

Tableau III.16. Degré d'importance des indicateurs

Intensité de l'importance	Définition	Explication
1	Importance égale	Les deux indicateurs contribuent identiquement à l'objectif
3	Faible importance de l'un sur l'autre	L'expérience et le jugement favorisent légèrement un indicateur sur l'autre
5	Importance essentielle ou forte	L'expérience et le jugement favorisent fortement un indicateur sur l'autre
7	Importance démontrée	Un indicateur est fortement favorisé et sa prépondérance est démontrée

Tableau III.17. Degré d'importance des indicateurs (suite)

Intensité de l'importance	Définition	Explication
9	Importance absolue	Il est évident qu'un indicateur doit être favorisé au maximum
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires entre deux jugements adjacents quand un compromis est nécessaire	
Valeurs inverses	Utilisées pour montrer la dominance du second élément par rapport au premier.	

A titre d'exemple, si l'indicateur I_i possède une importance essentielle par rapport à l'indicateur I_j , le rapport w_i/w_j sera égal à 5. La comparaison entre tous les indicateurs donne la matrice suivante :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1i} & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & \dots & a_{ii} & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ a_{j1} & \dots & a_{ji} & a_{jj} & \dots & a_{jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{ni} & a_{nj} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \text{ Avec } a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \text{ et } a_{ii} = 1$$

a_{ij} est l'intensité de l'importance de I_i sur I_j et w_i le coefficient de pondération associé à I_i .

III.5.2.3 Détermination des poids associés à chaque indicateur

Dans cette étape, nous allons calculer le vecteur des coefficients de pondération $W = \{w_1 \dots w_2 \dots w_n\}$. Pour ce faire, nous divisons chaque a_{ij} par la somme des valeurs de la colonne correspondante et ensuite nous effectuons une moyenne par ligne, soit l'opération mathématique suivante :

$$W = \begin{bmatrix} \frac{\frac{a_{11}}{\sum_{k=1}^n a_{k1}} + \dots + \frac{a_{1i}}{\sum_{k=1}^n a_{ki}} + \dots + \frac{a_{1n}}{\sum_{k=1}^n a_{kn}}}{n} \\ \dots \\ \frac{\frac{a_{i1}}{\sum_{k=1}^n a_{k1}} + \dots + \frac{a_{ii}}{\sum_{k=1}^n a_{ki}} + \dots + \frac{a_{in}}{\sum_{k=1}^n a_{kn}}}{n} \\ \dots \\ \frac{\frac{a_{n1}}{\sum_{k=1}^n a_{k1}} + \dots + \frac{a_{ni}}{\sum_{k=1}^n a_{ki}} + \dots + \frac{a_{nn}}{\sum_{k=1}^n a_{kn}}}{n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sum_{l=1}^n \left[\frac{a_{1l}}{\sum_{k=1}^n a_{kl}} \right]}{n} \\ \dots \\ \frac{\sum_{l=1}^n \left[\frac{a_{il}}{\sum_{k=1}^n a_{kl}} \right]}{n} \\ \dots \\ \frac{\sum_{l=1}^n \left[\frac{a_{nl}}{\sum_{k=1}^n a_{kl}} \right]}{n} \end{bmatrix}$$

Donc chaque coefficient w_i est obtenu par la formule suivante :

$$w_i = \frac{\sum_{l=1}^n \frac{a_{il}}{\sum_{k=1}^n a_{kl}}}{n}$$

Dont la somme des w_i doit être égale à 1.

III.5.2.4 Vérification de la consistance de résultat

Un grand avantage de la méthode est qu'elle calcule un indice dit « ratio de consistance » ou bien d'indice de cohérence, qui permet d'évaluer les calculs effectués. En d'autres termes, il permet de vérifier si les valeurs de l'échelle (1-9) attribuées par le décideur sont cohérentes ou non. Il fournit une mesure de la probabilité que la matrice a été complétée purement au hasard. A titre d'exemple, si le ratio CR est égal 0,20, cela veut dire qu'il y a une chance de 20 % que le décideur ait répondu aux questions d'une façon purement aléatoire. Donc il est recommandé que le décideur révise quelques jugements. Ainsi, l'AHP n'exige pas des décideurs d'être cohérent mais plutôt fournit une mesure d'incohérence et permet de réduire cette incohérence.

On définit les vecteurs suivants :

$$[\lambda'_1 \dots \lambda'_i \dots \lambda'_n] \text{ et } [\lambda_1 \dots \lambda_i \dots \lambda_n] \text{ tel que :}$$

$$\begin{bmatrix} \lambda'_1 \\ \dots \\ \lambda'_i \\ \dots \\ \lambda'_n \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^n w_k \times \begin{bmatrix} a_{1k} \\ \dots \\ a_{ik} \\ \dots \\ a_{nk} \end{bmatrix} = w_1 \times \begin{bmatrix} a_{11} \\ \dots \\ a_{1i} \\ \dots \\ a_{1n} \end{bmatrix} + \dots + w_i \times \begin{bmatrix} a_{i1} \\ \dots \\ a_{ii} \\ \dots \\ a_{ni} \end{bmatrix} + \dots + w_n \times \begin{bmatrix} a_{n1} \\ \dots \\ a_{ni} \\ \dots \\ a_{nn} \end{bmatrix}$$

$$\text{Et : } \lambda'_i = \frac{\lambda'_i}{w_i}$$

$$\text{Puis : } \lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda'_i}{n}$$

L'index de consistance CI (Saaty, 1996) est alors :

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Pour calculer le ratio de consistance CR, on divise l'index de consistance par une valeur RI dépendant du nombre d'indicateur n donnés par la table suivante :

Tableau III.18. Valeurs de RI

Taille de la matrice (n)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,53	1,56	1,57	1,59

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

L'attribution des poids est jugée acceptable si CR est inférieur à 0,1. Dans le cas contraire, la procédure doit être de nouveau appliquée. Le vecteur λ'_i maximum indique la ligne dans laquelle il y a un problème avec un coefficient a_{ij} . Si plusieurs coefficients sont en cause, l'erreur devient plus difficile à localiser.

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la méthodologie développée et proposée pour l'évaluation de la vulnérabilité sociale des bâtiments d'habitation en Algérie vis-à-vis des séismes. Pour cela, nous avons retenus deux approches complémentaires que nous avons définis puis détaillé. A l'issue de la première approche, nous avons construit un tableau de bord contenant les différents paramètres d'évaluation. Par la suite, nous avons associé à chaque IP une méthode de calcul et une échelle de performance permettant son évaluation. Dans un deuxième lieu, nous avons défini le processus d'agrégation multicritère adopté ainsi que les méthodes retenues.

Chapitre IV

Application de la méthodologie proposée sur des cas réels de bâtiments d'habitation

Dans cette dernière partie du travail, nous confronterons la méthodologie développée et la base de donnée récoltée sur un cas réel de bâtiment d'habitation dans la région de Bouira. Les résultats obtenus seront présentés puis discutés et argumentés. Entre autre, et dans le but de simplifier l'utilisation de la méthodologie ainsi que pour améliorer son exactitude, un outil numérique a été programmé sur Visual Basic.

IV.1 Introduction

A l'issue du travail mené jusqu'à maintenant, nous confrontons dans ce chapitre la méthodologie développée à un cas réel de bâtiment d'habitation que nous avons choisi dans la commune Saharidj et ce, en fonction des données statistiques disponibles. Nous commencerons dans un premier lieu par une présentation du cas d'étude. Ensuite, et à l'aide des méthodes de calcul et des échelles de performance développées dans le troisième chapitre, nous calculerons puis évaluerons les performances de chaque IPs. Nous allons enchaîner avec la pondération des différents paramètres de l'évaluation de la vulnérabilité (sous-objectifs, critères et IPs) en utilisant la méthode AHP. Enfin, nous terminerons par une agrégation des performances dans le but d'évaluer la vulnérabilité de notre cas d'étude. Les résultats obtenus seront aussi présentés puis discutés et argumentés dans ce chapitre.

Nous avons programmé sur Visual Basic un outil numérique dans le but d'améliorer l'utilisation de la méthodologie développée ainsi que la base de données collectée.

IV.2 Présentation du cas d'étude

La wilaya de Bouira est une wilaya algérienne située en Kabylie. La population de la wilaya en 2008 était estimée à environ 695 583 habitants. Elle a, de ce fait, une densité de population de 157 habitants/km² et d'une superficie de 4439 km².

Géologiquement, la wilaya présente deux reliefs : un Montagnier et un autre palier. Elle est classée en zone de moyenne sismicité (II-a) selon la réglementation en vigueur ([RPA, 2003](#)).

Nous avons choisi, en fonction des données statistiques sur la population résidente, un bâtiment d'habitation situé au niveau de la commune de Saharidj, daïra de M'chedallah. La commune présente un relief Montagnier et se trouve à 50 km du chef-lieu de la wilaya. La population résidente dans la commune est d'environ 8522 habitants et densité de cette population résidente est 93 habitant/km².

La Figure IV.1 montre la carte de la wilaya de Bouira et la localisation de la commune Saharidj et la Figure IV.2 une photo satellite de la commune.



Figure IV.1. Localisation de la commune de Saharidj dans la wilaya de Bouira



Figure IV.2. Photo satellitaire de la commune de Saharidj

Le cas étudié est un bâtiment d'habitation de 5 niveaux habitables (RDC+4étages) (Figure IV.3) construit en 2001 (année de mise en service). La Figure IV.4 présente la localisation du bâtiment.

Les données statistiques sur la population résidente dans le bâtiment en été recueillies du service des statistiques de la commune.



Figure IV.3. Photo du bâtiment étudié



Figure IV.4. Localisation du bâtiment étudié

IV.3 Présentation des données statistiques et calcul des IPs

Comme précédemment introduit, les données statistiques ont été obtenues auprès des services statistiques de la commune (Figure IV.1).

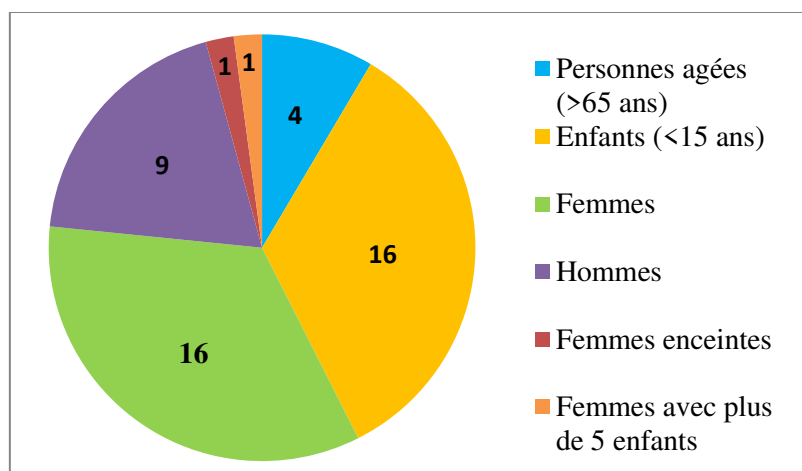


Figure IV.5. Statistiques de la population résidente dans le bâtiment

A présent, et à l'aide des méthodes de calcul présentées dans le chapitre III, nous calculons les valeurs des IPs de chaque critère de vulnérabilité. Les résultats obtenus sont regroupés dans le Tableau IV.1.

Il est à noter que pour l'IP « Niveau d'éducation et de sensibilisation » (évaluation à partir d'un questionnaire adressé aux résidents), seulement une partie de la population résidente a été interrogée. Ceci, est due à plusieurs facteurs (disponibilité des résidents, caractère conservateur de la population et parfois la non prise au sérieux des questions posées).

Tableau IV.1. Tableau des données recensées sur le bâtiment étudié

Critère	IP	Donnée	Valeur de l'IP					
AG	Ppa65	04	Ppa65 = 4/47 = 8%					
	Pe15	16	Pe15 = 16/47 = 34%					
SX	Pf	18	Pf = 18/47 = 38%					
	Pfe	01	Pf = 1/18 = 5%					
	Pf5	01	Pf5 = 1/18 = 5%					
QV	Nes	Cf. Figure IV.6	Nes = 11,66%					
	MoPhy	8 malades (chronique)	Nes = 8/47 = 17%					
OB	Tol	Statistiques des résidents	F2	04	07	04	03	05
			F3	05	03	05	07	04
	Tocc	8:00 – 12:00	15/47 = 32%			$\frac{32 + 42 + 32 + 91}{4}$ Tocc = 49,25 %		
		12:00 – 14:00	20/47 = 42%					
		14:00 – 18:00	15/47 = 32%					
		> 18:00	43/47 = 91%					
SR	Dishot	Mesure sur Maps (Cf. Figures IV.7 et 8)	6,90km					
	Disppc		7,70 km					
VB	Accbat	Cf. Figures IV.3 et 4	Facile					
	Pzldeb		Largement suffisant					
ES	Zon	RPA99 v.2003	II-a					
	Cocons	RPA99	Ancien code					
SB	Abat	2001	20 ans					
	Nstbat	Cf. site du CRAAG	2 séismes (2010 et 2003)					

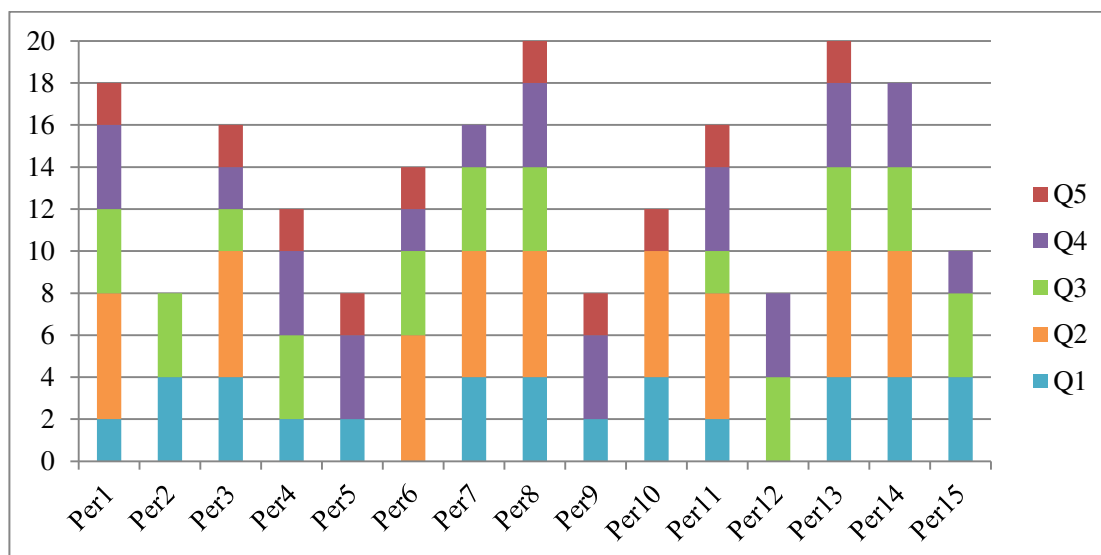


Figure IV.6. Résultats du questionnaire d'évaluation du niveau de sensibilisation aux séismes de la population

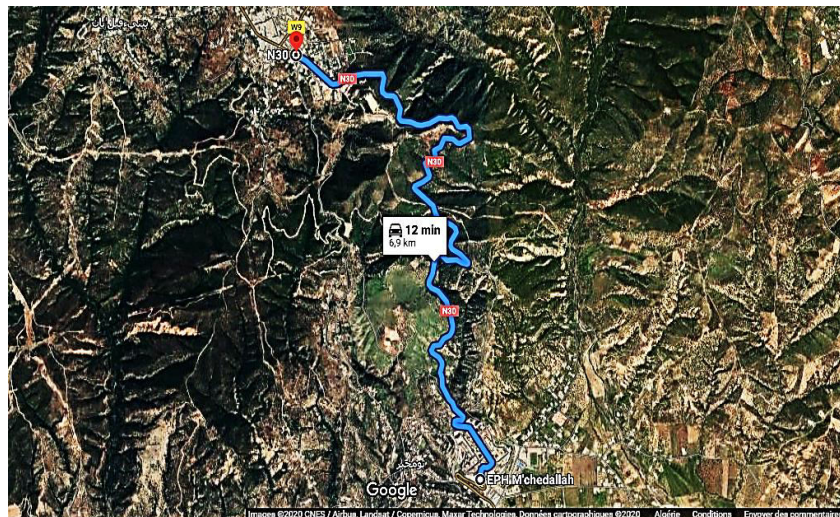


Figure IV.7. Distance entre le bâtiment et l'hôpital de M'chedallah

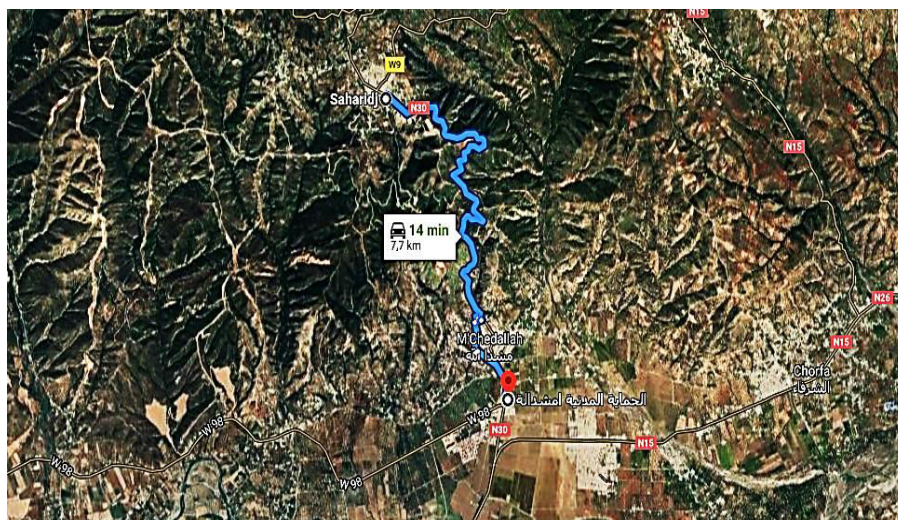


Figure IV.8. Distance entre le bâtiment et la protection civile de M'chedallah

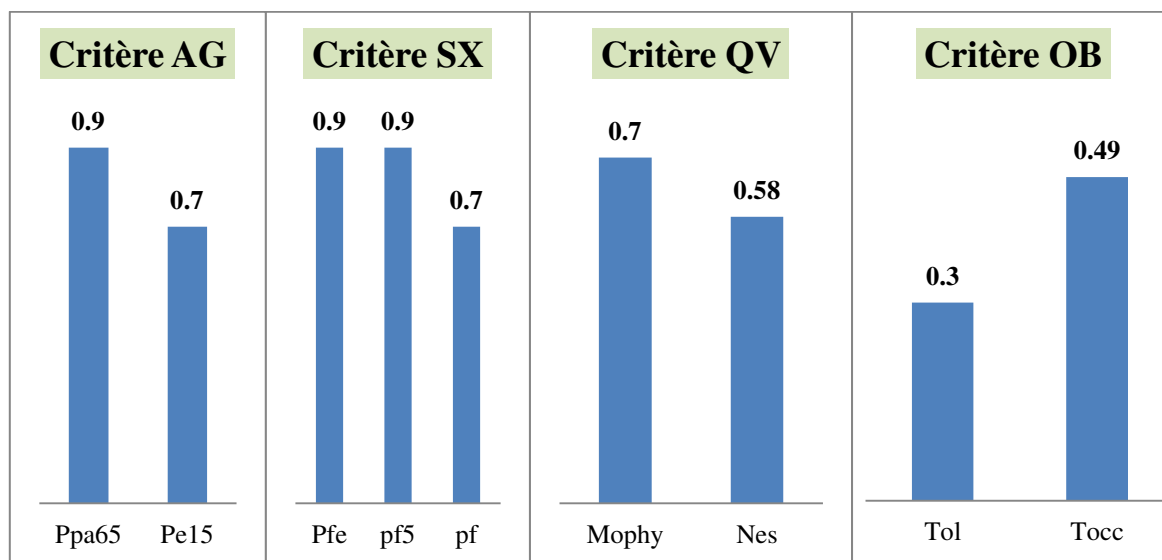
IV.4 Calcul des performances des IPs

En se basant sur les échelles de performance présentées dans le chapitre III et sur les résultats de calcul des IPs présentés dans le Tableau IV.1, nous calculons à présent les valeurs de performance des IPs. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau IV.2 ci-dessous ainsi que sur les Figures IV.9, 10 et 11.

Il est à noter que pour le calcul de la performance de l'IP Tol, nous avons d'abord calculé la moyenne des personnes occupant chaque type d'appartement. Ensuite, nous avons attribué à chacune des moyennes (F2 et F3) une note de performance (à partir des échelles du chapitre III). Enfin, la performance finale de cet IP est la moyenne des deux performances.

Tableau IV.2. Tableau des performances des IPs

Critère	IP	Valeur		Performance	
AG	Ppa65	08%		0,9	
	Pe15	34%		0,7	
SX	Pf	38%		0,7	
	Pfe	05%		0,9	
	Pf5	05%		0,9	
QV	Nes	11,66%		0,58	
	MoPhy	17%		0,70	
OB	Tol	F2	$\frac{4 + 7 + 4 + 3 + 5}{5}$ = 4,60	0,1	0,30
		F3	$\frac{5 + 3 + 5 + 7 + 4}{5}$ = 4,80	0,5	
	Tocc	49,25%		0,49	
SR	Dishot	6,90 km		0,9	
	Disppc	7,70 km		0,9	
VB	Accbat	Facile		0,7	
	Pzldeb	Largement suffisant		1	
ES	Zon	II–a		0,6	
	Cocons	Ancien code		0,7	
SB	Abat	23 ans		0,7	
	Nstbat	2		0,7	


Figure IV.9. Performances des IPs des critères du sous-objectif IF

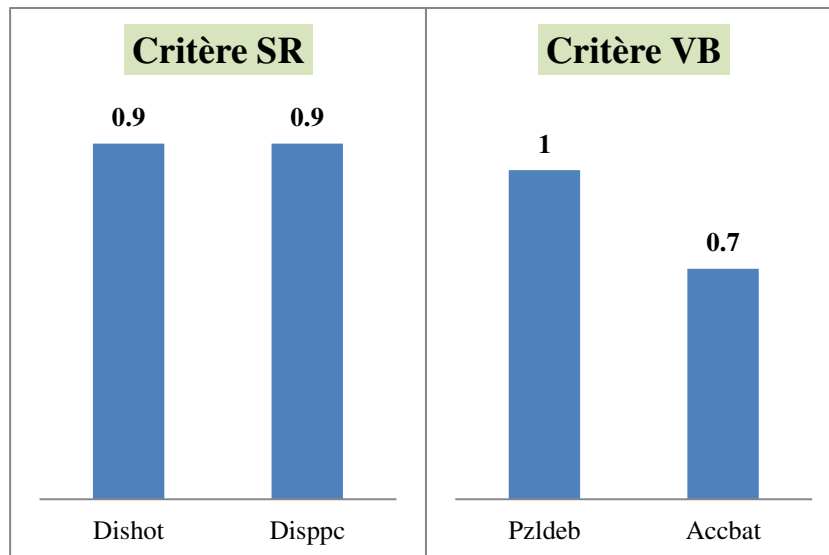


Figure IV.10. Performances des IPs des critères du sous-objectif AC

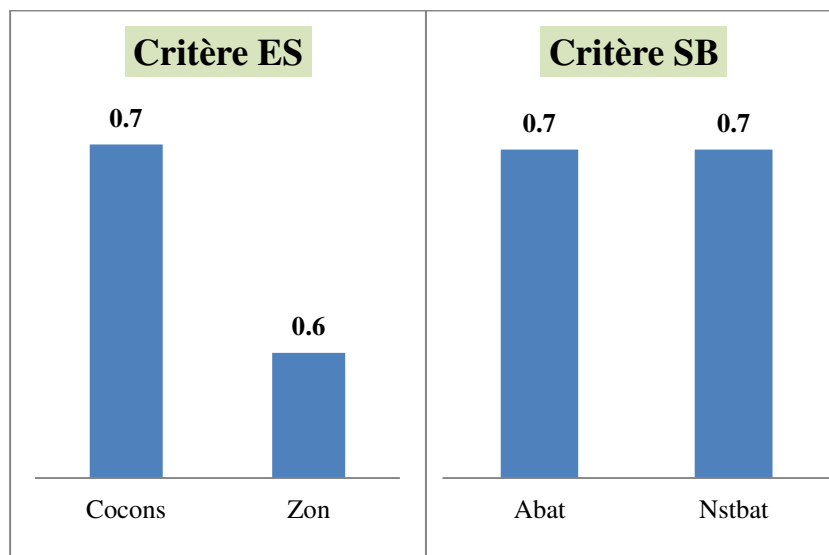


Figure IV.11. Performances des IPs des critères du sous-objectif AP

IV.5 Pondération des IPs – Application de la méthode AHP

Dans cette partie nous appliquons la méthode AHP pour calculer, dans un premier lieu, les poids associés à chaque IP. Puis nous calculerons, dans un deuxième lieu, les coefficients de pondération des critères puis des sous-objectifs.

Comme le calcul est le même pour tous ces paramètres de vulnérabilité, nous présenterons un exemple de calcul explicatif puis nous regrouperons les calculs des tableaux récapitulatifs.

IV.5.1 Pondération des IPs du sous-objectif "IF"

Nous avons choisi le sous objectif IF puisqu'il présente la taille maximale de la matrice de décision parmi l'ensemble des autres paramètres. Le calcul par l'AHP est détaillé ci-dessous.

IV.5.1.1 Etape 01 : Construction de la matrice de décision

Nous commençons tout d'abord par hiérarchiser les critères par ordre de préférence décroissant (Tableau IV.3). Puis en utilisant le tableau de préférence de Saaty (C.f. Tableau III.14, chapitre III) on attribue à chaque préférence une intensité suivant l'appréciation du décideur. Les résultats sont représentés dans le Tableau IV.3. La matrice ainsi obtenue est de (4x4).

Tableau IV.3. Matrice de décision du sous-objectif IF

	AG	SX	QV	OB
AG	1	2	5	7
SX	$\frac{1}{2}$	1	3	5
QV	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	1	3
OB	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	1

IV.5.1.2 Etape 02 : Calcul des poids des IPs

$$W_i = \begin{bmatrix} \frac{70}{516} + \frac{30}{212} + \frac{15}{112} + \frac{7}{64} \\ \frac{35}{516} + \frac{15}{212} + \frac{9}{112} + \frac{5}{64} \\ \frac{14}{516} + \frac{5}{212} + \frac{3}{112} + \frac{3}{64} \\ \frac{10}{516} + \frac{3}{212} + \frac{1}{112} + \frac{1}{64} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,520 \\ 0,297 \\ 0,124 \\ 0,058 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{cases} W_{AG} = 0,520 \\ W_{SX} = 0,297 \\ W_{QV} = 0,124 \\ W_{OB} = 0,058 \end{cases}$$

IV.5.1.3 Etape 03 : Vérification de la consistance des résultats

$$\begin{bmatrix} \lambda'_1 \\ \lambda'_2 \\ \lambda'_3 \\ \lambda'_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0,5 \\ 0,2 \\ 0,14 \end{bmatrix} + 0,297 * \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 0,33 \\ 0,2 \end{bmatrix} + 0,124 * \begin{bmatrix} 5 \\ 3 \\ 1 \\ 0,33 \end{bmatrix} + 0,058 * \begin{bmatrix} 7 \\ 5 \\ 3 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,14 \\ 1,219 \\ 0,5 \\ 0,231 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2,14}{0,52} \\ \frac{1,219}{0,297} \\ \frac{0,5}{0,124} \\ \frac{0,231}{0,058} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4,115 \\ 4,104 \\ 4,032 \\ 3,982 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{max} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4}{4} = 4,058$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - 4}{4 - 1} = 0,019$$

$$n=4 \Rightarrow RI=0,9$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,019}{0,90} = 0,021 < 0,10 \rightarrow \text{Vérifié}$$

IV.5.2 Récapitulatif du calcul des coefficients de pondération

IV.5.2.1 Pondération des IPs

Le Tableau IV.4 montre la classification des indicateurs selon leurs importances.

Tableau IV.4. Hiérarchisation des IPs selon leur importance

Critère	IPs	Hiérarchisation
AG	<i>Ppa65</i>	1er
	<i>Pe15</i>	2ème
SX	<i>Pf</i>	3ème
	<i>Pfe</i>	1er
	<i>Pf5</i>	2ème
QV	<i>Nes</i>	2ème
	<i>MoPhy</i>	1er
OB	<i>Tol</i>	1er
	<i>Tocc</i>	2ème
SR	<i>Dishot</i>	1er
	<i>Disppc</i>	1er
VB	<i>Accbat</i>	2ème
	<i>Pzldeb</i>	1er
ES	<i>Zon</i>	2ème
	<i>Cocons</i>	1er
SB	<i>Abat</i>	1er
	<i>Nstbat</i>	2ème

Les étapes de calcul (construction des matrices de décision, calcul des poids et vérification de la consistance des résultats) sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau IV.5. Calcul des poids des IPs

Critères	Matrice	W_i	λ'_i	λ_i	λ_{max}	CI	RI	RC
AG	$\begin{bmatrix} 1, 3 \\ \frac{1}{3}, 1 \end{bmatrix}$	$W_{Pa65}=0,75$	$\begin{bmatrix} 1,5 \\ 0,497 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix}$	2	2	0	0
		$W_{Pe15}=0,25$						
SX	$\begin{bmatrix} 1, 5, 7 \\ \frac{1}{5}, 1, 3 \\ \frac{1}{7}, \frac{1}{3}, 1 \end{bmatrix}$	$W_{Pfe}=0,724$	$\begin{bmatrix} 2,263 \\ 0,583 \\ 0,247 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3,125 \\ 3,02 \\ 3,012 \end{bmatrix}$	3,052	0,026	0,58	0,045
		$W_{Pj5}=0,193$						
		$W_{Pj}=0,082$						
QV	$\begin{bmatrix} 1, 3 \\ \frac{1}{3}, 1 \end{bmatrix}$	$W_{MoPhy}=0,75$	$\begin{bmatrix} 1,5 \\ 0,497 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix}$	2	2	0	0
		$W_{Nes}=0,25$						
OB	$\begin{bmatrix} 1, 2 \\ \frac{1}{2}, 1 \end{bmatrix}$	$W_{Tot}=0,666$	$\begin{bmatrix} 1,32 \\ 0,66 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix}$	2	2	0	0
		$W_{Tocc}=0,333$						
SR	$\begin{bmatrix} 1, 1 \\ 1, 1 \end{bmatrix}$	$W_{Disppc}=0,5$	$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix}$	2	2	0	0
		$W_{Dishor}=0,5$						
VB	$\begin{bmatrix} 1, 5 \\ \frac{1}{5}, 1 \end{bmatrix}$	$W_{Pzldab}=0,833$	$\begin{bmatrix} 1,663 \\ 0,332 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix}$	2	2	0	0
		$W_{Accbat}=0,166$						
ES	$\begin{bmatrix} 1, 3 \\ \frac{1}{3}, 1 \end{bmatrix}$	$W_{Cocons}=0,75$	$\begin{bmatrix} 1,5 \\ 0,497 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix}$	2	2	0	0
		$W_{Zon}=0,25$						
SB	$\begin{bmatrix} 1, 5 \\ \frac{1}{5}, 1 \end{bmatrix}$	$W_{Abat}=0,833$	$\begin{bmatrix} 1,663 \\ 0,332 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix}$	2	2	0	0
		$W_{Nstbat}=0,166$						

IV.5.2.2 Pondération des critères

Le Tableau IV.6 montre la classification des critères selon leurs importances.

Tableau IV.6. Hiérarchisation des critères selon leur importance

Sous-objectif	IPs	Hiérarchisation
IF	AG	1er
	SX	2eme
	QV	3eme
	OB	4eme
AC	SR	1er
	VB	2eme
AP	ES	1er
	SB	2eme

Les étapes de calcul (construction des matrices de décision, calcul des poids et vérification de la consistance des résultats) sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau IV.7. Calcul des poids des critères

Sous-objectif	Matrice	Wi	λ'_i	λ_i	$\lambda_{\max}$	CI	RI	RC
<i>IF</i>	$\begin{bmatrix} 1, 2, 5, 7 \\ \frac{1}{2}, 1, 3, 5 \\ \frac{1}{5}, \frac{1}{3}, 1, 3 \\ \frac{1}{7}, \frac{1}{5}, \frac{1}{3}, 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,520 \\ 0,297 \\ 0,124 \\ 0,058 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2,14 \\ 1,219 \\ 0,5 \\ 0,231 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4,115 \\ 4,104 \\ 4,032 \\ 3,982 \end{bmatrix}$	4,058	0,019	0,9	0,021
<i>AC</i>	$\begin{bmatrix} 1, 3 \\ \frac{1}{3}, 1 \end{bmatrix}$	$W_{SR}=0,75$ $W_{EB}=0,25$	$\begin{bmatrix} 1,5 \\ 0,497 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix}$	2	2	0	0
<i>AP</i>	$\begin{bmatrix} 1, 3 \\ \frac{1}{3}, 1 \end{bmatrix}$	$W_{ES}=0,75$ $W_{SB}=0,25$	$\begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix}$	2	2	0	0

IV.5.2.3 Pondération des sous-objectifs

Le Tableau IV.8 montre la classification des sous-objectifs selon leurs importances.

Tableau IV.8. Hiérarchisation des sous-objectifs selon leur importance

Objectif	IPs	Hiérarchisation
<i>Vulnérabilité sociale</i>	<i>IF</i>	1er
	<i>AC</i>	3eme
	<i>AP</i>	2eme

Les étapes de calcul (construction des matrices de décision, calcul des poids et vérification de la consistance des résultats) sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau IV.9. Calcul des poids des sous-objectifs

Objectif	Matrice	Wi	λ'_i	λ_i	$\lambda_{\max}$	CI	RI	RC
<i>Vulnérabilité sociale</i>	$\begin{bmatrix} 1, 2, 4 \\ \frac{1}{2}, 1, 3 \\ \frac{1}{4}, \frac{1}{3}, 1 \end{bmatrix}$	$W_{IF}=0,557$	$\begin{bmatrix} 1,685 \\ 0,964 \\ 0,366 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3,025 \\ 3,012 \\ 3 \end{bmatrix}$	3,012	0,0061	0,58	0,01
		$W_{AS}=0,32$						
		$W_{AC}=0,122$						

IV.6 Calcul des performance – Agrégation multicritère

L'étape finale de notre méthodologie consiste à calculer les performances des critères et des sous objectifs en utilisant les performances des IPs ainsi que les coefficients de pondération calculés par la méthode MSP.

Nous présentons ci-dessous un exemple d'agrégation par la méthode MSP de chaque niveau d'évaluation (IPs, critères et sous-objectifs).

IV.6.1 Agrégation IPs

L'agrégation des indicateurs est faite pour remonter aux performances des critères. Ci-dessous un exemple d'agrégation des IPs du critère *AG* :

$$P_{AG} = \sum \prod_{i=1}^n (I_i * W_i) = (I_{Ppa65} * W_{Ppa65}) + (I_{Pe15} * W_{Pe15})$$

$$P_{AG} = (0,75 * I_{Ppa65}) + (0,25 * I_{Pe15}).$$

IV.6.2 Agrégation des critères

L'agrégation des critères est faite pour remonter aux performances des sous-objectifs. Ci-dessous un exemple d'agrégation des critères du sous-objectifs *IF* :

$$P_{IF} = \sum \prod_{i=1}^n (I_i * W_i) = (I_{AG} * W_{AG}) + (I_{SX} * W_{SX}) + (I_{QV} * W_{QV}) + (I_{OB} * W_{OB}).$$

$$P_{IF} = (I_{AG} * 0,52) + (I_{SX} * 0,297) + (I_{QV} * 0,124) + (I_{OB} * 0,085).$$

IV.6.3 Agrégation des sous-objectifs

L'agrégation des critères est faite pour calculer l'indice de vulnérabilité sociale (*IVS*) du bâtiment étudié :

$$ISV = \sum \prod_{i=1}^n (I_i * W_i) = (I_{IF} * W_{IF}) + (I_{AP} * W_{AP}) + (I_{AC} * W_{AC})$$

$$ISV = (I_{IF} * 0,557) + (I_{AP} * 0,32) + (I_{AC} * 0,122).$$

IV.7 Organigramme conceptuel de calcul des performances

Nous avons regroupé tous les calculs dans une même figure (Figure IV.12). Cette représentation faciliterait la compréhension du processus suivie.

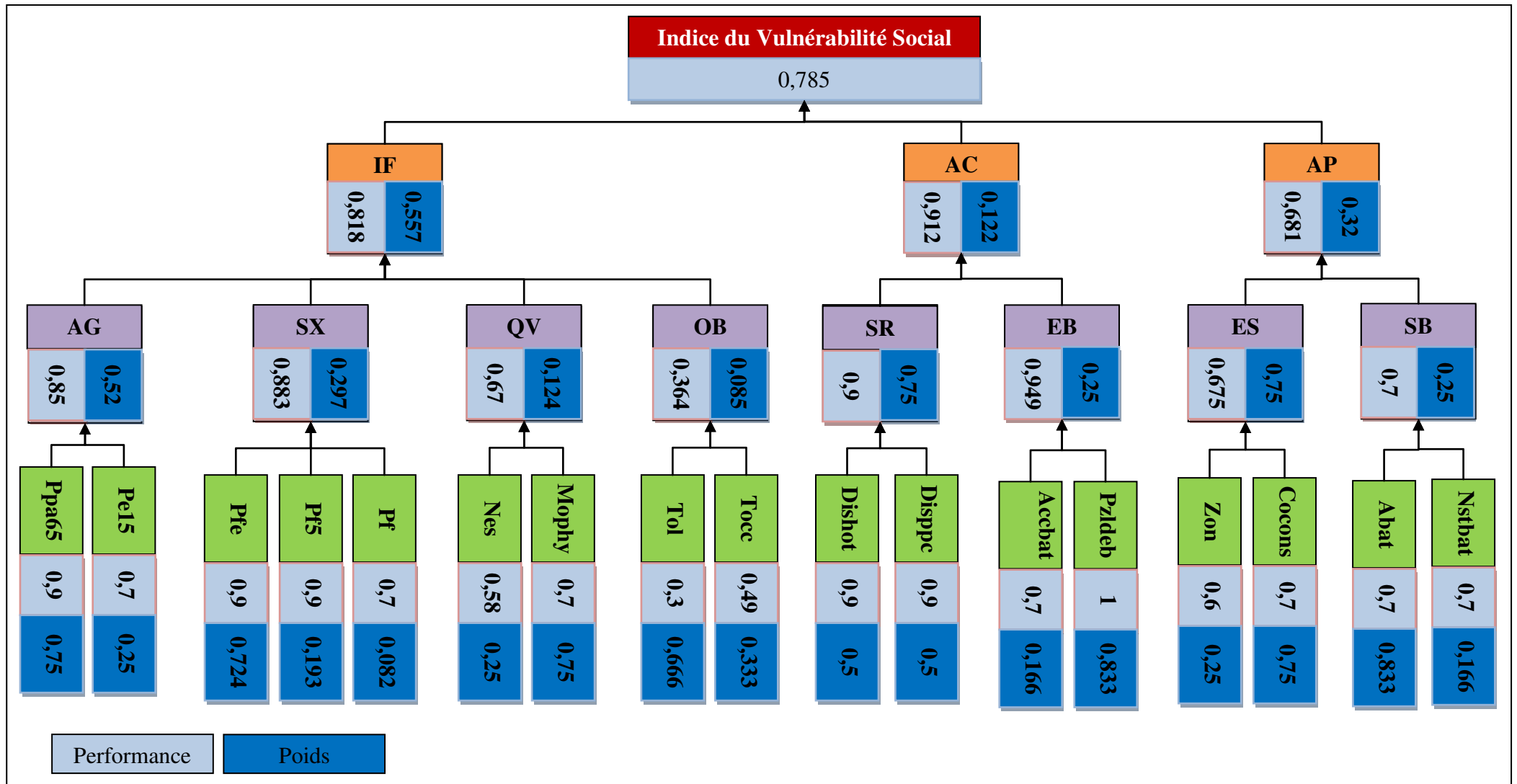


Figure IV.12. Organigramme conceptuel des calcul des performances par la MSP

IV.8 Programmation numérique de la méthodologie

IV.8.1 Présentation de Visual Basic

Visual Basic (VB) est un langage de programmation événementielle de troisième génération ainsi qu'un environnement de développement intégré, créé par Microsoft. Visual Basic est directement dérivé du BASIC et permet le développement rapide d'applications, la création d'interfaces utilisateur graphiques, l'accès aux bases de données en utilisant les technologies DAO, ADO et RDO, ainsi que la création de contrôles.

La dernière mise à jour de Visual Basic est la version 6.0, sortie en 1998.

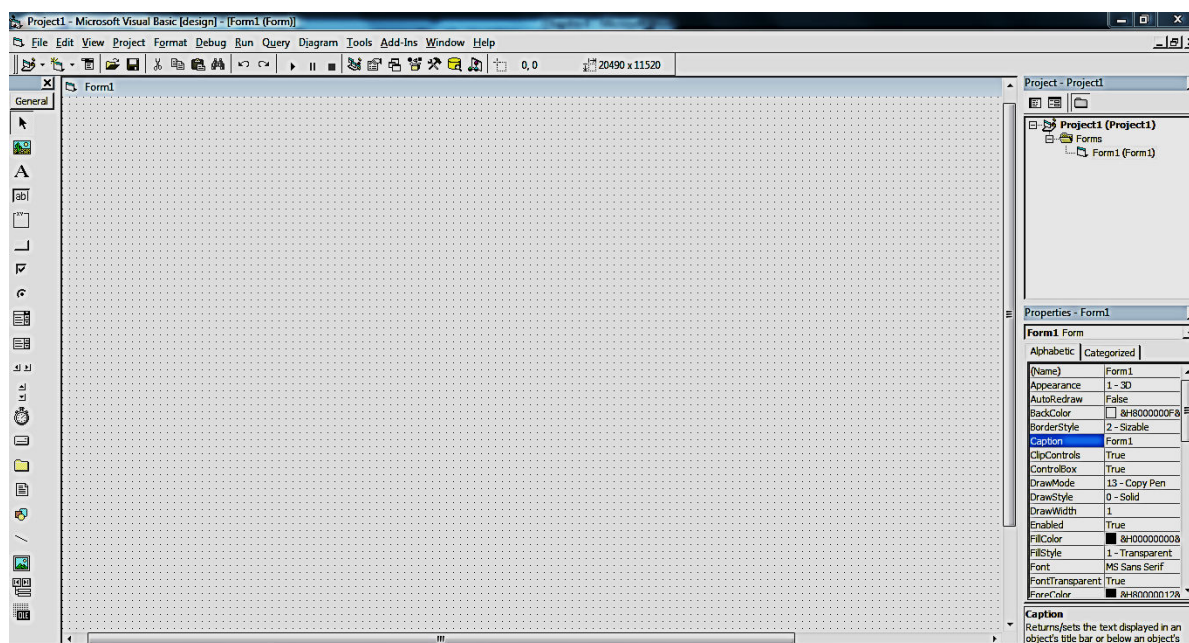


Figure IV.13. Interface de Visual Basic

IV.8.2 Formulation du programme

Ci-dessous les étapes de la programmation de l'outil développé :

```
Private Sub Command1_Click()  
Dim Ppa65, Pe15, Pf, Pfe, Pf5, Nes, MoPhy, Tol, Tocc, Dishot, Disppc,  
Accbat, Pzldeb, Zon, Cocons, Abat, Nstbat As Single  
Ppa65 = Val(Text1.Text)  
Pe15 = Val(Text2.Text)  
Pf = Val(Text3.Text)  
Pfe = Val(Text4.Text)  
Pf5 = Val(Text5.Text)  
Nes = Val(Text6.Text)  
MoPhy = Val(Text7.Text)  
Tol = Val(Text8.Text)  
Tocc = Val(Text9.Text)  
Dishot = Val(Text10.Text)  
Disppc = Val(Text11.Text)  
Accbat = Val(Text12.Text)  
Pzldeb = Val(Text13.Text)  
Zon = Val(Text14.Text)  
Cocons = Val(Text15.Text)
```

```

Abat = Val(Text16.Text)
Nstbat = Val(Text17.Text)
Text18 = (Ppa65 * 75 / 100) + (Pe15 * 25 / 100)
Text19 = (Pfe * 724 / 1000) + (Pf5 * 193 / 1000) + (Pf * 82 / 1000)
Text20 = (MoPhy * 75 / 100) + (Nes * 25 / 100)
Text21 = (Tol * 666 / 1000) + (Tocc * 333 / 1000)
Text22 = (Dishot / 2) + (Disppc / 2)
Text23 = (Accbat * 166 / 1000) + (Pzldeb * 833 / 1000)
Text24 = (Zon * 25 / 100) + (Cocons * 75 / 100)
Text25 = (Abat * 833 / 1000) + (Nstbat * 166 / 1000)
Text26 = (Text18 * 52 / 100) + (Text19 * 297 / 1000) + (Text20 * 124 / 1000)
+ (Text21 * 85 / 1000)
Text27 = (Text22 * 75 / 100) + (Text23 * 25 / 100)
Text28 = (Text24 * 75 / 100) + (Text25 * 25 / 100)
Text29 = (Text26 * 557 / 1000) + (Text27 * 122 / 1000) + (Text28 * 32 / 100)
End Sub

```

IV.8.3 Le langage utilisé dans la programmation

Ainsi, et après programmation de notre méthodologie, nous obtenons une application de calcul de l'indice de vulnérabilité sociale d'un bâtiment d'habitation vis-à-vis des séismes (Figure IV.14). Il suffit d'injecter les valeurs de performance pour avoir l'IVS finale.

Figure IV.14. L'interface de travail de programme.

IV.9 Discussion des résultats

Dans un premier lieu, nous avons effectué une étude statistique dans le but d'attribuer des valeurs aux indices de performance (IPs) à partir des méthodes de calculs définies dans les paragraphes III.6 du chapitre III. En effet, l'étude statistique nous a permis de recenser les données brutes sur la population résidente dans le bâtiment étudié. Ensuite et à l'aide des méthodes de calcul, nous avons attribué des valeurs aux IPs.

La deuxième étape consiste en l'attribution des notes de performance aux IPs calculés. Pour cela, nous avons utilisé d'une part les échelles développées dans le chapitre 3 et d'autre part les résultats issus du calcul des IPs. Les résultats obtenus montrent que :

- Les notes de performance des IPs relatifs à l'évaluation de la population résidente (âge, sexe, etc.) sont relatives aux données statistiques recensés.
- La note de performance attribuée au *Nes* est moyenne, cela est dû aux réponses de la population résidente dans le bâtiment au questionnaire qui leur est été adressé (note moyenne obtenue est de 11,66/20). Il est à noter qu'une partie seulement de la population a été interrogée cela était dû essentiellement à la disponibilité des personnes, au caractère conservateur de la population et parfois à la non prise au sérieux des questions posées.
- Le taux d'occupation des logements était élevé d'où la note de performance moyenne. C'est l'une des caractéristiques des logements en Algérie. Notre indice n'a fait que confirmé cette réalité.
- Le bâtiment est proportionnellement proche de l'hôpital et de la caserne de pompiers. Ceci l'a avantage du point de vu des performances attribuées aux IPs mesurant ces deux paramètres.
- Comme le bâtiment était proche de la RN30, l'accessibilité à celui-ci est très satisfaisante. La même chose est remarquée du point de vue de la présence des espaces à l'extérieur du bâtiment
- Le bâtiment est désavantagé par sa position dans une zone de moyenne sismicité. Le code de construction avec lequel le bâtiment a été étudié est ancien (RPA99), ceci désavantage aussi la note de performance de celui-ci.
- Le bâtiment est relativement ancien (environ 20 ans de service) alors sa note de performance est moyenne.

Dans la deuxième étape nous nous sommes intéressés aux calculs des poids des indicateurs. Pour cela nous avons appliqué la méthode AHP. Les résultats obtenus nous ont permis de classer les paramètres de vulnérabilité par ordre d'importance.

L'attribution des performances est grandement influencée par la prise de décision primaire lors de la construction des matrices de décision. Cette étape est entachée par une petite part de subjectivité de l'utilisateur (décideur). Cependant, la méthode offre une mesure de vérification des jugements avec l'indice *CR*.

Nous avons enfin, calculé les performances de tous les paramètres de vulnérabilité des différents niveaux par l'application de la méthode MSP. C'est une méthode très utilisée dans la littérature, simple et exacte. L'indice de vulnérabilité sociale (*IVS*) obtenu nous permet de localiser les bâtiments les plus vulnérables en cas de secousse sismique. Ceci fournirait sans doute une information très utile aux localités pour préparer et/ou d'améliorer leurs plans d'urgences en cas de catastrophes.

IV.10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons appliqué la méthode développée dans le chapitre III. Nous avons commencé par le calcul des différentes performances après avoir estimé leurs valeurs à partir des méthodes de calcul développées. La classification des indicateurs de vulnérabilité

selon leurs importances sur un échelle 0-9 a été faite en utilisant la méthode AHP pour ensuite calculer leurs coefficients de pondération.

Nous avons présenté les résultats obtenus sous différentes formes (tableaux et histogrammes) que nous avons ensuite discuter et argumenter.

L'outil numérique développé s'est avéré très utile. En effet, celui-ci facilité l'agrégation des performances et permet un gain de temps et de précision considérables.

Conclusion générale

La vulnérabilité sociale des villes et des territoires vis-à-vis des catastrophes naturelles (séisme notamment) est un domaine d'ingénierie complexe qui mobilise des connaissances importantes dans différentes disciplines relatives à la gestion des risques.

Cette étude est une contribution à la mise en place d'une méthodologie globale d'évaluation de la vulnérabilité sociale des villes algériennes vis-à-vis des séismes. Pour mener à bien notre travail nous l'avons divisé en quatre chapitres.

Le premier chapitre présentait une étude bibliographique du champ d'étude. Nous avons exposé quelques études de la vulnérabilité sociale dans le monde. Nous avons ensuite évoqué la notion des méthodes multicritères d'aide à la décision qui sont largement utilisées dans ce domaine.

Le deuxième chapitre était consacré à l'étude du cas de l'Algérie et de l'état des lieux des études de vulnérabilité sociale dans ce contexte. Nous avons présenté quelques statistiques de la population ainsi que la sismicité du territoire.

Le troisième chapitre était au cœur de notre travail. En effet, dans celui nous avons présenté la méthodologie développée. Celle-ci était basée sur une approche combinée par deux approches : (Top-down et Bottom-up). La première est une approche diagnostique de description des objectifs qui a pour but de décomposer un problème complexe (bâtiment d'habitation dans notre cas) en une série de paramètres facilement mesurables (les indicateurs de performance IPs). Par opposition à cette approche descendante, la deuxième est un processus d'agrégation des performances multicritère ascendant. Celui-ci est basé sur l'agrégation complète par la méthode de la somme pondérée. Le calcul des coefficients de pondération est fait par la méthode AHP (Analytic hierarchic process).

Nous avons appliqué la méthodologie développée et la base de donnée collectée sur un cas réel. Nous avons présenté les résultats obtenus que nous nous avons ensuite discutés et argumentés. Nous avons ensuite programmé un outil informatique sur Visual Basic.

A l'issu de ce travail, les conclusions suivantes peuvent être relevée :

- La note de vulnérabilité obtenue est très satisfaisante. Celle-ci reflète grandement le niveau d'exposition de la population au risque sismique.

- L'indice de vulnérabilité sociale (IVS) nous permet de localiser les bâtiments les plus vulnérables en cas de secousse sismique. Ceci fournirait sans doute une information très utile aux localités pour préparer et/ou d'améliorer leurs plans d'urgences en cas de catastrophes.
- L'outil numérique développé s'est avéré très utile. En effet, celui-ci facilite l'agrégation des performances et permet un gain de temps et de précision considérables.
- L'AHP, malgré sa complexité, est une méthode très exacte permettant de vérifier la cohérence des relations d'importance entre indicateurs. La méthode des sommes pondérées offre l'avantage de la clarté et de la simplicité d'utilisation.

Comme perspectives :

- La liste des IPs utilisée n'est pas exhaustive mais pourrait être améliorée en intégrant plus d'IPs à la méthodologie.
- Les méthodes de calcul, les échelles de performance peuvent aussi faire l'objet de recherche dans le but de les améliorer et de les adapter.
- L'outil numérique est très intéressant et peut aussi faire l'objet d'une programmation approfondie avec de langage plus performant.
- Au future sera mieux, de faire bien attention dans les études architecturales et celles de génie civil au critères qui rendent les bâtiments en Algérie vulnérable.

Bibliographie

- Al-Harbi, K. M. Al-S. (2001). Application of the AHP in project management. *International Journal of Project Management*, 19(1), 19–27. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(99\)00038-1](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(99)00038-1).
- Alizadeh, M., Alizadeh, E., Asadollahpour Kotenae , S., Shahabi, H., Beiranvand Pour, A., Panahi, M., Bin Ahmad, B., Saro , L. (2018), "*Social Vulnerability Assessment Using Artificial Neural Network (ANN) Model for Earthquake Hazard in Tabriz City, Iran.*", *Journal of Sustainability*, 10, 3376; doi:10.3390/su10103376. 1481-1499. www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/13/1481/2013.
- Ammi, H. (2019). "Villes et Développement économique en Algérie" . " Thèse de doctorat. Université de Toulon. France. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02894853>. 195 pp.
- Armas, I. (2008). " *Social vulnerability and seismic risk perception. Case study: the historic center of the Bucharest Municipality/Romania*". Springer Science + Business Media B.V. 397–410 pp.
- Armas, I. (2012). Multi-criteria vulnerability analysis to earthquake hazard of Bucharest, Romania. *Springer Science + Business Media B.V.* DOI 10.1007/s11069-012-0209-2. *Nat Hazards* 63:1129–1156
- Armas, I., Gavris, A. (2013). *Social vulnerability assessment using spatial multi-criteria analysis (SEVI model) and the Social Vulnerability Index (SoVI model) – a case study for Bucharest, Romania.*, Publié en *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss*
- Bana e Costa C. A., De Corte J. M. & Vansnick J. C. (2003). *MACBETH : Multicriteria Decision Analysis*. [ISBN 0 7530 1520 X]. LSE OR Working papers.
- Banque Mondiale, (2018), <https://www.banquemondiale.org>,
- Barroca, B., Pottier, N., Lefort, E. (2005). Analyse et évaluation de la vulnérabilité aux inondation du bassin de l'Orge aval, *Septièmes Rencontres de Théo Quant*, 12 pp.

- Beck, E., André-Poyaud, I., Chardonnel, S., Davoine, P., Lutoff, C. (2010). Méthodes et Outils pour l'évaluation de la Vulnérabilité Sociale aux Séismes. Rapport de recherche, 69 pp. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00989869>
- Ben jeddou, M., Bali kalboussi, W. (2015). "Application de la méthode AHP pour le choix multicritères des fournisseurs". *Revue Marocaine de recherche en management et marketing*, N°12. 60-71 pp.
- Ben mena, S. (2000). "Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision". *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*.vol.4, no2.p. 83–93.
- Benzerra, A., Cherrared, M., Chocat, B., Cherqui, F., et Zekiouk, T. (2012). "Decision support for sustainable urban drainage system management: A case study of Jijel, Algeria". *Journal of Environmental Management*.vol. 101, no. . p. 46–53.
- Boughazi, K. (2011/2012), Mémoire "Risque sismique et urbanisation . Regard croisé sur la ville d'Alger", de Magistère 28 mai 2012, université de Constantine, Algérie. 348 pp.
- Boulanger, Paul-Marie. (2004). "Les indicateurs de développement durable: un défi scientifique, un enjeu démocratique". *Les séminaires de l'Iddri*.N°12. p. 1-24.
- Brunner, N., Starkl, M. (2004). Decision aid systems for evaluating sustainability: a critical survey. *Environmental Impact Assessment Review*, mai 2004, 24(4), p. 441-469.
- Buckle, P. (1995). A framework for Assessing Vulnerability. *The Australian Journal of Emergency Management*, 13(4): 21–26.
- Bussemey-buhe, Catherine. (1997). Développement d'une méthode de conception environnemental des bâtiments prenant en compte l'environnement de proximité. Thèse de doctorat. Université de Savoie. France. 211 pp.
- Cherqui, F. (2005). "Méthodologie d'évaluation d'un projet d'aménagement durable d'un quartier Méthode ADEQUA". Thèse de doctorat. Université de la ROCHELLE. 180 pp.
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2), 242–261. <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>.
- Davoine, P., Beck, É., André-Poyaud, I., Chardonnel, S., Lutoff, C , Telechev, A. (2012). "Géo-visualisation pour la réduction de la vulnérabilité socio-spatiale en milieu urbain", CFC N°211. 69-83 pp.
- Djedi, M., Aitouche, M. (2007). Contexte sismotectonique de séisme de Boumerdes (21 mai 2003 M=6,8). *Algérie équipement* N° 43. 38-46 pp.

- Dwyer.A, Zoppou.C, Nielsen.O, Day.S, Roberts.S. (2004). Quantifying Social vulnerability: A methodology for identifying those at risk to natural hazards, *Geoscience australia*. ISBN: 1 920871 09 8. 92 pp.
- Fordham, M. (2000). The Place of Gender in Earthquake vulnerability and mitigation. In Second Euro Conference on Global Change and Catastrophic Risk Management - Earthquake Risks in Europe, Austria, Laxenburg, Austria.
- Füssel, H., (2005). *Vulnerability in climate change research: A comprehensive conceptual framework* , Tech. rep., University of California, International and Area Studies – Breslauer Symposium No. 6k. <https://escholarship.org/uc/item/8993z6nm>. 35pp.
- Granger, K. Jones, T., Scott. G. (1999). Community Risk in Cairns: a multi-hazard risk assessment. *Australian Journal of Emergency Management* , The Vol. 14, No. 2, Winter 1999: 25-26. Availability: ISSN: 1324-1540
- Hajkowicz, S., Prato, T. (1998). *Multiple Objective Decision Analysis of Farming Systems in Goodwater Creek Watershed, Missouri*, Research Report No. 24. Columbia, University of Missouri-Columbia, juin 1998, 21 p.
- Harker. P.T., Wasil, E.A., Golden, B.L. (1986). The analytic Hierarchy Process. ISBN [978 3 50244 6] Springer Verlag. DOI 10.1007/978-3-642-50244-6. 273 pp.
- Ministère de l'habitat. (2005). Journal Officiel De La République Algérienne N° 04. <https://www.ilo.org/dyn/natlex/docs/ELECTRONIC/69772/68794/F-1049933677/DZA-69772.pdf>. 19-21 pp.
- Kateb, K. (2003). "Population et organisation de l'espace en Algérie". Publication électronique Cairn.info pour Belin, 2003/4 tome 32. pages 311-331.
- Lillouch, S., Ait Meziane, Y., Bendadouche, H. (2019). Cartographical Synthesis Of Seismic Hazard On The North Eastern Of Algeria: Case Of Bejaia City And Vicinities. *Rencontres Nationales de Génie Civil et d'Hydraulique. Skikda, les 13 et 14 novembre 2019*. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/344632262>. 10 pp.
- Minciardi, R., Sacile, R., Taramaso, A-C., Trasforini, E, Traverso, S .(2005) : *Modeling the vulnerability of complex territorial systems : an application to hydrological risk*. Environmental modeling and soft wane, in press. Volume 21, Issue 7, July 2006, Pages 949-960
[.http://www.geo.mtu.edu/rs4hazards/links/SocialKateG/Attachments%20Used:VulnerabilityEnvironmentalHaz.pdf](http://www.geo.mtu.edu/rs4hazards/links/SocialKateG/Attachments%20Used:VulnerabilityEnvironmentalHaz.pdf).

- Ministère de la culture. (2008). Normalisation des infrastructures et équipements culturels. Direction des Etudes Prospectives de la Documentation et de l'Informatique. 225 pp.
- Moffett, A., Garson, J., Sarkar, S. (2005). MultCSync: a software package for incorporating multiple criteria in conservation planning. *Environmental Modelling & Software*, octobre 2005, 20(10), p. 1315-1322.
- Moussaoui, F. (2018). *Contribution à l'évaluation de la durabilité des bâtiments d'habitation en Algérie*. Thèse de doctorat. Université de Bejaia, Algérie. 195 pp.
- Moussaoui, F., & Cherrared, M. (2015). Contribution to assessment of the seismic performance of residential buildings in the Algerian context. In *SSCS'2015, RILEM International Conference Numerical Modeling Strategies for Sustainable Concrete Structures*. Rio de Janeiro, Brazil.
- Moussaoui, F., Cherrared, M., Kacimi, M. A., & Belarbi, R. (2018). A genetic algorithm to optimize consistency ratio in AHP method for energy performance assessment of residential buildings — Application of top-down and bottom-up approaches in Algerian case study. *Sustainable Cities and Society*, 42 (August 2017) 622-636. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2017.08.008>.
- ONS, (2019). Office Nationale des Statistiques. <https://www.ons.dz/>.
- Opricovic, S., Tzeng, G. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2): 445-455.
- Phillips, B. (2001). Holistic Disaster Recovery: Ideas for building local sustainability after a natural disaster, Chapter 6: Social and Intergenerational Equity. Natural Hazards Research Center University of Colorado, Colorado, USA. *Published by the Public Entity Risk Institute*. 236 pp.
- Programme des nations unies pour le développement (PNUD), (2004), rapport mondial sur la réduction des risques et de catastrophes, un défi pour le développement ; New York , p-148.
- Revue par pairs. (2019). Programme 2018-2019 de revue par les pairs dans le cadre de la coopération de l'UE en matière de protection civile et de gestion des risques de catastrophe. *Ecorys, Fraunhofer*, Algérie. 112 pp.
- Roy, B., & Bouyssou, D. (1993). *Aide Multicritère à la Décision: Méthodes et Cas*. [ISBN: 2717824731]. Collection Economica, Paris. 690 pp.

- RPA, (2003). Règlement Parasismique Algérien 99- Version 2003 . Ministre de l'habitat. Document technique réglementaire DTR BC 2 48. Centre national de recherche appliquée en génie-parasismique. 115 pp.
- Saaty, T.L. (2008). "Decision making with the analytic hierarchy process." pages 83-97. Journal international Services Sciences, Vol. 1 , 2008.
- Svoray T., Bar Kutiel P. et Bannet T. (2005). Urban land-use allocation in a Mediterranean ecotone: Habitat Heterogeneity Model incorporated in a GIS using a multi-criteria mechanism. *Landscape and Urban Planning*, 72(4), p. 337-351.
- Tabutin, D., Vallin, J. (1977). La population de l'Algérie. CICRED series. IMPRIMERE LOUIS-JEAN. 157 pp.
- Velasquez, M., T.Hester, P. (2013) . "An analysis of multi-criteria decision making methods". Publié par International Journal of Operations Research, Vol. 10, No. 2. 56-66 pp.
- Waas, Tom, Hugé, Jean, Block, Thomas. (2014). "Sustainability assessment and indicators: Tools in a decision-making strategy for sustainable development". Sustainability. vol. 6, no 9. p. 5512-5534.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. (2004). At risk: natural hazards, people's vulnerability and disaster. First published by Routledge, London. ISBN[0 415 25215 6 (hbk)]. 264 pp.
- Yelles Chaouche, A., (1993). "Sismicité en Algérie et tectonique des plaques". Algérie équipement. 9-19 pp.
- Yi Peng. (2012). Regional earthquake vulnerability assessment using a combination of MCDM methods. Publié en ligne Springer Science+Business Media New York, DOI 10.1007/s10479-012-1253-8.
- Zekiouk, T. (2009). "Construction d'un outil d'évaluation de la durabilité d'un système d'assainissement urbain – Application à la ville de Jijel". Mémoire de Magister. Université de Bejaia, Algérie. 192 pp.