

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



Faculté des Sciences et des sciences appliquées
Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

RAHAL Dounia
DJEMMAH Kahina

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

Filière : Génie Civil

Spécialité : Structures

Thème :

**Évaluation de la vulnérabilité sismique de l'habitat dans la Wilaya de Bouira par
l'application des méthodes : Vulbat-AL et Risk-UE**

Devant le jury composé de :

- | | | |
|----------------|-----|--------------|
| • SAOUDI. B | MCB | Président |
| • LAIB. A | MCB | Examineur |
| • MOUSSAOUI. F | MCB | Encadrant |
| • AOUADI. A | MCB | Co-encadrant |

Année Universitaire 2023-2024

Remerciement

Avant tout, nous rendons grâce à Dieu Tout-Puissant pour nous avoir accordé la santé, la patience et la force nécessaires pour mener à bien ce travail. Sans ses bénédictions, ce mémoire n'aurait pas été possible.

Nous tenons à remercier chaleureusement notre encadrant, **Mr. Moussaoui F.** pour sa disponibilité, ses conseils avisés et accompagnement tout au long de ce projet. Ses encouragements et son expertise ont été essentiels pour mener à bien ce projet.

Nous souhaitons également remercier **Mr. Aouadi A., Mr. Bakhti R.** et **Mr. Taib L.** pour leurs suggestions judicieuses et pour l'aide qu'ils nous ont accordé le long du travail mené.

Nous sommes également reconnaissants envers les membres du jury, pour avoir accepté de juger et d'évaluer ce travail et pour leurs remarques constructives.

Nous tenons à exprimer notre gratitude envers notre responsable du département et tous les enseignants pour leurs enseignements et leurs soutiens académiques au cours de notre parcours universitaire.

Un grand merci à, le président d'administration de la réalisation des projets de l'**OPGI, Mr. Ould Ami S.** pour sa collaboration et l'accès aux ressources nécessaires à la réalisation de ce mémoire.

Enfin, nous remercions notre famille et notre ami pour leurs soutiens moraux, leurs encouragements qui m'ont aidé à surmonter les moments difficiles.

Dounia & Kahina

Dédicaces

Je dédie ce travail :

- A ma chère mère,
- A mon cher père,
- A mes chères sœurs,
- A mon cher fiancé,
- A mon binôme,

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

Pour leur soutien moral, et qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études.

Pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout long ce travail.

A tous mes amis et collègues

Kahina

Je dédie ce travail :

- A la mémoire de ma chère mère,
- A mon cher père,
- A ma chère belle-mère,
- A ma chère sœur,
- A mon petit frère,
- A mon binôme,

Qui n'a jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

Pour leur soutien moral, et qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études.

Pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout long ce travail.

A tous mes amis et collègues

Dounia

Table des matières

Sommaire

Remerciement.....	i
Dédicaces	ii
Table des matières	iii
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	viii
Nomenclature et abréviation	xi
Résumé.....	xii
Abstract	xii
الملخص	xii
Introduction générale	1

Chapitre 01 : Bibliographie. État actuel des connaissances sur le sujet

I.1 introduction	3
I.2 La vulnérabilité – Contexte général	3
I.2.1 Définitions	3
I.2.2 Types de vulnérabilité	4
I.2.3 Domaines d’application.....	4
I.3 La vulnérabilité dans le domaine de la construction – Le bâtiment d’habitation	5
I.3.1 Le risque sismique.....	5
I.4 Les facteurs affectant la vulnérabilité sismique des bâtiments	7
I.4.1 Qualité d’exécution	7
I.4.2 Etat d’entretien	7
I.4.3 Régularité	8
I.4.4 Ductilité	8
I.4.5 Position.....	8
I.4.6 Renforcement	8
I.4.7 Conception parasismique	9
I.5 Méthode d’évaluation de la vulnérabilité sismique	9
I.6 Vulnérabilité des villes algériennes	14
I.7 Conclusion	16

Chapitre 02 : Présentation des méthodes dans le cadre de la présente étude. Méthode : Vulbat-AI & Risk-UE

II.1 Introduction	17
II.2 Méthode Vulbat-AL – Méthodologie pour l'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments d'habitation en Algérie.....	17
II.2.1 A propos de la méthode	17
II.2.2 Approche utilisé	17
II.2.3 Approche diagnostic descendante – "Top-down"	18
II.2.4 Approche « Bottom-up » Agrégation multicritère	37
II.3 Programmation de la méthode Vulbat-AL	40
II.3.1 Visual basic	40
II.3.2 Présentation de programme.....	40
II.4 Présentation de la méthode Risk-UE	41
II.4.1 Calcul de l'indice de vulnérabilité (VI) par la méthode Risk-UE	42
II.5 Conclusion	44

Chapitre 03 : Confrontation des méthodes Vulbat-AI et Risk-UE. Etude de cas réels et validation des résultats

III.1 Introduction	45
III.2 Présentation du cas d'étude	45
III.2.1 Informations techniques sur les bâtiments.....	46
III.3 Application de la méthodologie Vulbat-AI – Résultats obtenus	51
III.3.1. Cas d'étude n°01	51
III.4 Pondération des IPs – Utilisation de la méthode AHP	61
III.4.1 Exemple d'application : Pondération des IPs du critère Qualité de vie	61
III.4.2 Synthèse des calculs des poids des IPs	62
III.4.3 Synthèse des calculs des poids des critères	64
III.4.4 Synthèse des calculs des poids des objectifs.....	64
III.5 Calcul des performances – Méthode MSP	64
III.5.1 Cas d'étude n°01	65
III.5.2 Cas d'étude n°02.....	65
III.5.3 Cas d'étude n°03.....	66
III.5.4 Cas d'étude n°04.....	66
III.5.5 Cas d'étude n°05.....	67
III.5.6 Cas d'étude n°06.....	67
III.5.7 Cas d'étude n°07.....	68
III.5.8 Cas d'étude n°08.....	68
III.6 Discussions des résultats obtenus.....	69
III.6.1 Pondération des IPs	69
III.6.2 Pondération des critères.....	71

III.6.3 Pondération des objectifs	71
III.6.4 Performances obtenues par niveaux intermédiaires.....	71
III.6.5 Indice de vulnérabilité sismiques des cas d'études.....	73
III.7 Application de la méthodologie Risk-EU :.....	74
III.8 Validation de la méthode Vulbat-AL – Confrontation à la méthode Risk-UE	75
III.9 Conclusion.....	75

Chapitre 04 : Généralisation de l'application de la méthode Vulbat-Al. Contribution à la cartographie de la région de Bouira

IV.1 Introduction	76
IV.2 Généralisation de l'application de la méthode Vulbat-Al sur la région de Bouira – Cas d'études	76
IV.2.1 Présentation du cas d'étude n°02.....	76
IV.2.2 Présentation du cas d'étude n°03.....	82
IV.3 Présentation des résultats obtenus sur Visual basic	88
IV.3.1 Cas d'étude n°02	88
IV.3.2 Cas d'étude n°03	90
IV.4 Vulnérabilité des cas d'études présentés dans le mémoire Hassani & Tahir, 2022	92
IV.4.1 Cas d'étude n°01 « AADL »	92
IV.4.2 Cas d'étude n°02 « Ait Laaziz ».....	94
IV.5 Cartographie des résultats obtenus.....	95
IV.5.1 Présentation du logiciel ArcGIS	95
IV.5.2 Cartes de la vulnérabilité sismique de chaque région	96
IV.6 Conclusion	97

Conclusion générale.....	98
---------------------------------	-----------

Références bibliographiques.....	100
---	------------

Liste des figures

Chapitre 01

Figure I.1. Représentation schématique du risque sismique	7
Figure I.2. Plaques tectonique eurasiennne et africaine	15
Figure I.3. Activité sismique dans le nord d'algérie (CAAG, 2024 ; AND, 2014 ; ONS, 2014)	15

Chapitre 02

Figure II.1. Méthodologie adoptée pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique pour un bâtiment d'habitation.....	18
Figure II.2. Processus de calcul par la méthode AHP.....	39
Figure II.3. Interface du programme	40
Figure II.4. Fonctions d'appartenance floues de la méthode Risk-UE.....	41

Chapitre 03

Figure III.1. Localisation géographique du notre cas d'étude (Source : Google Earth).....	45
Figure III.2. Photos prises sur le site de notre cas d'étude	46
Figure III.3. Plan de coupe A-A des cas d'études	47
Figure III.4. Plan des cas d'études (étage 4 de droite : Blocs 02 & 07)	47
Figure III.5. Rapport de sol du site des cas d'études	51
Figure III.6. Evaluation des performances – Cas d'étude n°01	65
Figure III.7. Evaluation des performances – Cas d'étude n°02.....	65
Figure III.8. Evaluation des performances – Cas d'étude n°03	66
Figure III.9. Evaluation des performances – Cas d'étude n°04.....	66
Figure III.10. Evaluation des performances – Cas d'étude n°05.....	67
Figure III.11. Evaluation des performances – Cas d'étude n°06.....	67
Figure III.12. Evaluation des performances – Cas d'étude n°07	68
Figure III.13. Evaluation des performances – Cas d'étude n°08.....	68
Figure III.14. Performances obtenues par critères	73
Figure III.15. Performances obtenues par objectifs.....	73
Figure III.16. Vulnérabilité sismique des bâtiments des cas étudiés	74

Chapitre 04

Figure IV.1. Localisation géographique du cas d'étude n°01 (Source : Google Earth).....	76
Figure IV.2. Photos prises sur le site du cas d'étude n°02	77
Figure IV.3. Plan de coupe des blocs A & C	78
Figure IV.4. Plan du 1er jusqu'au 5ème étage du bloc A	78
Figure IV.5. Plan du 1er jusqu'au 5ème étage du bloc B	79
Figure IV.6. Plan du 1er jusqu'au 5ème étage du bloc C	79
Figure IV.7. Rapport de sol du site de M'chdellah	81
Figure IV.8. Localisation géographique du cas d'étude n°03 (Source : Google Earth).....	82
Figure IV.9. Photos prises sur le site du cas d'étude n°03	82
Figure IV.10. Plan de coupe des bloc A, B, C, D, E & F.....	83
Figure IV.11. Plan du RDC jusqu'à 4ème étage de bloc D, E (angle).....	84
Figure IV.12. Plan du RDC jusqu'à 4ème étage de bloc A, B, C (Barre)	85
Figure IV.13. Rapport de sol du site de Bouira.....	88
Figure IV.14. Evaluation de la vulnérabilité du bloc A	88
Figure IV.15. Evaluation de la vulnérabilité du bloc B	89
Figure IV.16. Evaluation de la vulnérabilité du bloc C	89
Figure IV.17. Evaluation de la vulnérabilité du bloc A	90
Figure IV.18. Evaluation de la vulnérabilité du bloc B	90
Figure IV.19. Evaluation de la vulnérabilité du bloc C	91
Figure IV.20. Evaluation de la vulnérabilité du bloc D	91
Figure IV.21. Evaluation de la vulnérabilité du bloc E.....	92
Figure IV.22. Evaluation de la vulnérabilité du bâtiment 20	92
Figure IV.23. Evaluation de la vulnérabilité du bâtiment 19	93
Figure IV.24. Evaluation de la vulnérabilité du bâtiment 27	93
Figure IV.25. Evaluation de la vulnérabilité du bâtiment 28.....	94
Figure IV.26. Evaluation de la vulnérabilité du bâtiment A	94
Figure IV.27. Evaluation de la vulnérabilité du bâtiment B	95
Figure IV.28. Interface du logiciel ArcGIS	96
Figure IV.29. Présentation de la vulnérabilité sismique des cas étudiés sur ArcGIS	96
Figure IV.30. Présentation de la vulnérabilité sismique des cas étudiés sur ArcGIS (Suite).....	97

Liste des tableaux

Chapitre 01

Tableau I.1. Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments – Revue de littérature	9
Tableau I.2. Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments – Revue de littérature (Suite)	10
Tableau I.3. Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments – Revue de littérature (Suite)	11
Tableau I.4. Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments – Revue de littérature (Suite)	12
Tableau I.5. Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments – Revue de littérature (Suite)	13
Tableau I.6. Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments – Revue de littérature (Suite)	14

Chapitre 02

Tableau II.1. Tableau de bord de diagnostic de la vulnérabilité	19
Tableau II.2. Tableau de bord de diagnostic de la vulnérabilité (Suite)	20
Tableau II.3. Méthodes de calcul et les échelles des IPs	22
Tableau II.4. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)	23
Tableau II.5. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)	24
Tableau II.6. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)	25
Tableau II.7. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)	26
Tableau II.8. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)	27
Tableau II.9. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)	28
Tableau II.10. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)	29
Tableau II.11. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)	30
Tableau II.12. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)	31
Tableau II.13. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)	32
Tableau II.14. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)	33
Tableau II.15. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)	34
Tableau II.16. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)	35
Tableau II.17. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)	36
Tableau II.18. Valeurs de RI	39
Tableau II.19. Fonctions d'appartenance binaires	41

Tableau II.20. Valeurs de V_I^* (Milutinovic &Trendafiloski ,2003)	42
Tableau II.21. Scores pour les facteurs de vulnérabilité V_m : bâtiments en maçonnerie.....	43
Tableau II.22. Scores pour les facteurs de vulnérabilité V_m : Bâtiments en BA (Milutinovic &Trendafiloski, 2003)	44

Chapitre 03

Tableau III.1. Caractéristiques structurelles du bâtiment	46
Tableau III.2. Données statistiques sociales collectées – Cas d’étude n°01	48
Tableau III.3. Données statistiques sociales collectées – Cas d’étude n°02	48
Tableau III.4. Données statistiques sociales collectées – Cas d’étude n°03	48
Tableau III.5. Données statistiques sociales collectées – Cas d’étude n°03 (Suite).....	49
Tableau III.6. Données statistiques sociales collectées – Cas d’étude n°04	49
Tableau III.7. Données statistiques sociales collectées – Cas d’étude n°05	49
Tableau III.8. Données statistiques sociales collectées – Cas d’étude n°06	49
Tableau III.9. Données statistiques sociales collectées – Cas d’étude n°06 (Suite).....	50
Tableau III.10. Données statistiques sociales collectées – Cas d’étude n°07	50
Tableau III.11. Données statistiques sociales collectées – Cas d’étude n°08	50
Tableau III.12. Calcul et évaluation des performances des IPs – Cas d’étude n°01	51
Tableau III.13. Calcul et évaluation des performances des IPs – Cas d’étude n°01 (suite)...	52
Tableau III.14. Calcul et évaluation des performances des IPs – Cas d’étude n°01 (suite)...	52
Tableau III.15. Calcul et évaluation des performances des IPs – Cas d’étude n°01 (suite)...	53
Tableau III.16. Calcul et évaluation des performances des IPs – Cas d’étude n°02	54
Tableau III.17. Calcul et évaluation des performances des IPs – Cas d’étude n°03	55
Tableau III.18. Calcul et évaluation des performances des IPs – Cas d’étude n°04	56
Tableau III.19. Calcul et évaluation des performances des IPs – Cas d’étude n°05	57
Tableau III.20. Calcul et évaluation des performances des IPs – Cas d’étude n°06	58
Tableau III.21. Calcul et évaluation des performances des IPs – Cas d’étude n°07	59
Tableau III.22. Calcul et évaluation des performances des IPs – Cas d’étude n°08	60
Tableau III.23. Attribution des ordres des préférences entre les IPs.....	61
Tableau III.24. Synthèse des calculs des poids des IPs	62
Tableau III.25. Synthèse des calculs des poids des IPs (Suite)	63
Tableau III.26. Synthèse des calculs des poids des IPs (suite).....	64
Tableau III.27. Synthèse des calculs des poids des critères	64
Tableau III.28. Synthèse des calculs des poids des objectifs	64
Tableau III.29. Résultats de la vulnérabilité des cas d’études par la méthode Risk-UE.....	74

Chapitre 04

Tableau IV.1. Caractéristiques structurelles du cas d’étude n°02	77
Tableau IV.2. Statistiques sociales du bloc A.....	80
Tableau IV.3. Statistiques sociales du bloc B.....	80
Tableau IV.4. Statistiques sociales du bloc C.....	81
Tableau IV.5. Caractéristiques structurelles du cas d’étude n°03	83

Tableau IV.6. Statistiques sociales du bloc A.....	85
Tableau IV.7. Statistiques sociales du bloc B.....	86
Tableau IV.8. Statistiques sociales du bloc C.....	86
Tableau IV.9. Statistiques sociales du bloc D.....	87
Tableau IV.10. Statistiques sociales du bloc E.....	87

Nomenclature et abréviation

- **AB** : Age de bâtiment
- **AC** : Alignement des éléments verticaux de contreventement
- **ACB** : Accessibilité au bâtiment
- **Accblt** : accessibilité
- **AgrChim** : agressivité chimique
- **AHP** : analytic hierarchy process
- **Amoy** : Valeurs moyennes d'accélération pour les séismes
- **BA** : Bâtiment accolés avec joint insuffisant ou obstrué
- **CC** : Continuité des éléments de contreventement en hauteur
- **CCU** : Code de construction utilisé
- **CNS** : Risque de chute des éléments non structuraux
- **ConcArch** : conception architecturale
- **DC** : forte différence de contreventement
- **DH** : distance aux hôpitaux
- **DPC** : Distance aux postes de protection civile
- **DPP** : distance aux postes police
- **DS** : désordres structuraux
- **EC** : état général de conservation
- **EM** : Eloignement par rapport à la mer
- **EMS** : Echelle macrosismique européenne
- **EP** : Elancement en plan
- **ET** : Etage transparent
- **EtatStr** : Etat de la structure
- **FPE** : Femmes avec plus de 5 enfants
- **HAZUS** : Hazurd Us
- **HB** : Hauteur de bâtiment
- **IPs** : Indice de performance sismique
- **Indic** : indicateur
- **Log** : logements
- **MMAD** : Méthodes multicritères d'aide à la décision
- **MHP** : Mobilité physique des occupants
- **MSP** : Méthode de la somme pondérée
- **NES** : Niveau d'éducation et de sensibilisation
- **ONS** : Office national des statistiques
- **PA** : Ration de la population âgée
- **PE** : Proximité d'eau
- **PEL** : Poteau élancé
- **PC** : Poteau court
- **PCP** : Proximité de changement de pente
- **PF** : Ration de la population féminine
- **PH** : Potentiel hydrogène
- **Popul** : population
- **PR** : Projet de réhabilitation pour les anciens bâtiments
- **PS** : Proximité de soutènement
- **PSR** : Partie saillante ou rentrante
- **PT** : Pente générale du terrain
- **Qualvie** : Qualité de vie
- **RE** : Ration d'enfants
- **REL** : Régularité en élévation
- **RP** : Régularité en plan
- **SC** : Système de contreventement
- **Secrsm** : Secourisme
- **SS** : Sol en surface
- **StabSol** : Stabilité du sol
- **SysStr** : Système structura
- **TO** : Taux d'occupation de logement
- **TS** : Type de site
- **Vulbat** : Vulnérabilité de bâtiment
- **VulnSoc** : Vulnérabilité social
- **VulnSol** : Vulnérabilité du sol
- **VulnStr** : Vulnérabilité de la structure
- **VulnEnv** : Vulnérabilité environnementale
- **ZL** : Présente de zone libre
- **ZS** : Zonage sismique

Résumé

L'objectif de cette étude est de développer une méthode pour évaluer la vulnérabilité sismique des constructions résidentielles en Algérie. L'approche descendante (Top-down) et l'approche ascendante (Bottom-up) sont les deux approches complémentaires de cette méthodologie. L'approche initiale consiste en un diagnostic descriptif qui vise à établir un tableau de bord qui regroupe différents indicateurs d'évaluation de la vulnérabilité d'un bâtiment. Dans une autre méthode, on utilise la méthode de la somme pondérée pour agréger plusieurs critères et évaluer les performances des critères et des objectifs de vulnérabilité. On déterminera les poids des indicateurs en utilisant la méthode AHP. Pour évaluer la performance globale de la méthode développée, nous la confrontons à une cité d'habitation située dans la commune de Taghzout, dans la Wilaya de Bouira. Les résultats ont également été comparés à ceux de notre méthodologie en évaluant la performance globale en utilisant la méthode Risk-UE. On a exposé et discuté des résultats obtenus. Après avoir validé, nous avons étendu notre méthodologie à d'autres situations d'étude dans la région de Bouira. On a exposé les résultats obtenus sur une carte de vulnérabilité créée à l'aide d'ArcGIS.

Mots clés : vulnérabilité, bâtiment d'habitation, indicateurs de performance, méthode AHP.

Abstract

The aim of this study is to develop a method for assessing the seismic vulnerability of residential buildings in Algeria. The top-down approach and the bottom-up approach are the two complementary approaches of this methodology. The top-down approach consists of a descriptive diagnosis aimed at establishing a scorecard that groups together various indicators for assessing a building's vulnerability. In another approach, the weighted sum method is used to aggregate several criteria and assess the performance of vulnerability criteria and targets. Indicator weights are determined using the AHP method. To assess the overall performance of the developed method, we compare it with a housing estate located in the commune of Taghzout, in the Wilaya of Bouira. The results were also compared with those of our methodology by assessing overall performance using the Risk-UE method. The results obtained were presented and discussed. After validation, we extended our methodology to other study situations in the Bouira region. The results were presented on a vulnerability map created using ArcGIS.

Key words: vulnerability, residential building, performance indicators, AHP method.

الملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تطوير منهجية لتقييم هشاشة المباني السكنية في الجزائر. ويعتبر النهج التنازلي من الأعلى إلى الأسفل والنهج التصاعدي من الأسفل إلى الأعلى هما النهجان المكملان لهذه المنهجية. يتكون النهج التنازلي من التشخيص الوصفي الذي يهدف إلى إنشاء بطاقة نتائج تجمع مؤشرات مختلفة لتقييم هشاشة المبنى. في طريقة أخرى، يتم استخدام طريقة المجموع المرجح لتجميع عدة معايير وتقييم أداء معايير وأهداف الضعف. يتم تحديد أوزان المؤشرات باستخدام طريقة **AHP**. لتقييم الأداء العام للطريقة التي تم تطويرها، قمنا بمقارنتها مع عقار سكني يقع في بلدية تغزوت بولاية البويرة. كما تمت مقارنة النتائج أيضًا مع نتائج منهجيتنا من خلال تقييم الأداء العام باستخدام طريقة **Risk-UE**. تم عرض النتائج التي تم الحصول عليها ومناقشتها. بعد التحقق من صحة المنهجية، قمنا بتوسيع نطاق منهجيتنا لتشمل حالات دراسة أخرى في منطقة البويرة. وعُرضت النتائج على خريطة هشاشة تم إنشاؤها باستخدام نظام المعلومات الجغرافية **ArcGIS**.

الكلمات المفتاحية: قابلية التأثر، المباني السكنية، مؤشرات الأداء، تجميع متعدد المعايير.



Introduction générale

Introduction générale

Dans la ceinture périméditerranéenne, le nord de l'Algérie est touché par les tremblements de terre causés par la rencontre des plaques tectoniques africaines et eurasiennes. Cette zone, qui compte plus de 90 % de la population, présente une vulnérabilité étant donné sa densité urbaine élevée et la construction inadéquate des infrastructures, cela est particulièrement important.

Les séismes entraînent d'importantes pertes économiques et humaines, ce qui met en évidence l'importance d'évaluer et de diminuer la vulnérabilité des structures. En Algérie, la gestion des risques sismiques représente un défi majeur pour les autorités urbaines, avec environ 30 séismes enregistrés chaque mois ([Cherifi, 2017](#)). La grande vulnérabilité des constructions, notamment celles construites avant l'adoption des normes parasismiques, accroît considérablement le risque.

Plusieurs approches ont été développées pour évaluer cette vulnérabilité, telles que RISK-UE, HAZUS et CETE Méditerranée, qui permettent d'évaluer les éventuels dégâts et de ranger les priorités de renforcement des infrastructures. Afin de garantir une meilleure protection des populations et des infrastructures, il est essentiel d'adopter une approche pluridisciplinaire qui englobe la compréhension de l'aléa, l'évaluation de la vulnérabilité, l'évaluation du risque et la prise de décision.

Dans notre mémoire, nous exposons une approche pour évaluer la vulnérabilité sismique des bâtiments. Il est divisé en quatre chapitres, allant de l'introduction à la conclusion générale.

- ❖ **Le premier chapitre :** ce chapitre est une recherche bibliographique où nous avons exploré le contexte général de la vulnérabilité sismique des bâtiments d'habitation. Ensuite, nous avons défini certaines notions de base, et présenté les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments les plus utilisées. Nous avons également fourni un aperçu détaillé de la situation en Algérie à la lumière de cette notion de vulnérabilité des territoires face aux séismes.
- ❖ **Le deuxième chapitre :** nous présenterons dans ce chapitre notre méthodologie développée « Vulbat-Al » qui est basée sur deux approches opposées. La première approche dite « Top-down », consiste à définir les paramètres nécessaires à l'évaluation, notamment les objectifs, les critères et les indicateurs de performance (IPs). Pour chaque indicateur, nous avons développé une méthode de calcul et une échelle de performance

correspondante. La deuxième approche, nommée « Bottom-up », se focalise sur le processus d'agrégation des données. Nous avons choisi d'utiliser la méthode de la somme pondérée, appliquant l'Analyse Hiérarchique des processus (AHP), pour évaluer les performances aux niveaux supérieurs de notre méthodologie. Ensuite, nous avons fait une brève présentation du logiciel « Visual basic » suivie du développement d'une application, pour faciliter le calcul de la vulnérabilité sismique des bâtiments d'habitation. Enfin, nous avons présenté la méthode Risk-EU et converti les valeurs floues des classes de performance en valeurs binaires, que nous avons ensuite organisées dans un tableau permettant de classer l'indice de vulnérabilité globale des bâtiments.

- ❖ **Le troisième chapitre :** dans ce chapitre, nous avons mis en pratique notre méthodologie développée ainsi que la méthode Risk-UE sur un cas réel de bâtiments d'habitation situé à Taghzout, ville de Bouira. D'abord, en utilisant nos méthodes et échelles associées, nous avons évalué et calculé la performance des indicateurs, puis présenté les résultats sous forme de tableaux. Les indicateurs ont été triés selon leur importance en utilisant la méthode de AHP, et les coefficients de pondération ont été calculés. La méthode MSP a ensuite été appliquée pour évaluer les performances de chaque bâtiment, facilitée par l'utilisation du Visual basic, ce qui a simplifié les calculs et la visualisation des résultats permettant une lecture et une structuration hiérarchique claire des données. Une discussion approfondie des résultats obtenus a suivi cette analyse. Ensuite, en utilisant la méthode Risk-EU, nous avons calculé l'indice de vulnérabilité totale, puis présenté les résultats sous forme de tableau, et ces résultats ont également été discutés et argumentés. Enfin, la validation de notre méthode a été faite par la comparaison de la valeur moyenne de vulnérabilité structurelle de notre cas d'étude obtenue par notre méthode avec celle de la méthode Risk-UE.
- ❖ **Le quatrième chapitre :** est dédié à l'application de la méthode Vulbat-Al à différents cas de bâtiments d'habitation, avec présentation de résultats obtenus sur Visual basic. Ensuite, à l'aide du logiciel ArcGIS, la classe de la vulnérabilité de chaque bâtiment étudié a été montrée sous forme de cartographies.



Chapitre 01

Bibliographie.

État actuel des connaissances sur le sujet

I.1 introduction

Le séisme, également connu sous le nom de tremblement de terre, est un aléa qui a toujours éveillé la crainte chez les populations résidant dans certaines parties du monde. Il s'agit du risque naturel le plus catastrophique et celui qui provoque le plus de dégâts. Ce risque doit être évalué et compris pour toutes les politiques de planification. Les bâtiments jouent un rôle essentiel dans cette approche. Pour assurer progressivement la protection de toutes les constructions, il est essentiel d'évaluer et de réaliser des études de vulnérabilité des bâtiments existants.

Cette activité sismique est principalement due à la géologie de la région maghrébine et à ses caractéristiques tectoniques, situées à la frontière des plaques africaine et eurasiennne, en mouvement constant.

Ces événements, en particulier dans les zones denses, ont mis en évidence l'importance de réduire les dommages potentiels aux structures existantes et d'évaluer leur vulnérabilité face aux séismes.

De nombreuses recherches ont conduit à la création d'outils permettant d'évaluer la vulnérabilité sismique des structures existantes, qu'il s'agisse de bâtiments, de ponts ou d'éléments souterrains. Ces mesures visent à renforcer la résistance des structures et à réduire les pertes humaines et matérielles lors de futures situations sismiques.

I.2 La vulnérabilité – Contexte général

I.2.1 Définitions

A. Selon la littérature

La vulnérabilité décrit le caractère de quelque chose de fragile, de vulnérable ou encore de sensible. Il peut s'agir plus généralement d'une faiblesse ([Dictionnaire français, 2021](#)).

B. Selon la sociologie

La notion de la vulnérabilité est aussi beaucoup utilisée dans le secteur de la gérontologie et de la gériatrie, souvent en complément à celle, typiquement biomédicale, de fragilité (frailty). ([Martin, 2019](#)).

C. Selon l conomie

La vulnérabilité économique peut être définie comme la probabilité que le processus de développement économique d'un pays soit entravé par la survenance d' v nements imprévus exogènes, souvent appelés chocs externes ([Guillaumont; Cariolle, 2011](#)).

D. Selon l'ingénierie civil

La vulnérabilité d'un élément est définie comme étant le degré de perte qu'il subit lors d'une catastrophe naturelle. Sa nature et son estimation varient selon que cet élément représente une population, des structures sociales, des structures physiques ou des actifs économiques. La vulnérabilité se définit comme l'incapacité à résister à un aléa, et la vulnérabilité sismique est la probabilité de dommages aux bâtiments, services, infrastructures, etc., dus à tremblements de terre ([Khan, 2019](#)).

I.2.2 Types de vulnérabilité

I.2.2.1 La vulnérabilité énergétique

L'institut national des statistiques et des études économique (INSEE) définit la vulnérabilité énergétique comme l'état où la part de la dépense énergétique contrainte, appelée taux d'effort énergétique, est au-dessus d'un certain seuil, fixé au double du taux d'effort médian. Cela représente 8 % du revenu pour le logement et 4,5 % du revenu pour les déplacements.

I.2.2.2 La vulnérabilité environnementale

Elle concerne majoritairement l'analyse des dommages sur les ressources environnementales (végétation, les cultures, les sols et la faune), provoqués par les catastrophes naturelles. Ces approches restent pour l'essentiel qualitatives, avec une simple description de dommages ([Leone et Vinetl, 2004](#)).

I.2.2.3 La vulnérabilité sociale

Elle est essentiellement traitée sous la forme de retour d'expérience sur les réponses, les adaptations, les comportements face aux événements dommageables et leurs conséquences socio-économiques et territoriales. L'évaluation des risques consiste à diagnostiquer la vulnérabilité humaine en étudiant la qualité de la perception des menaces, les connaissances des moyens de protection et les types de comportement potentiel ([Leone et Vinetl, 2004](#)).

I.2.3 Domaines d'application

I.2.3.1 Dans le domaine de la santé

Dans le sens commun, le mot « vulnérabilité » trouve son origine dans l'idée de blessure : est vulnérable celui qui peut être blessé, par extension celui qui, par ses insuffisances, ses imperfections, ses faiblesses, peut donner prise à des attaques ([Dictionnaire français, 2009](#)).

Les patients dont la vulnérabilité est la plus marquée, les enfants, les personnes en fin de vie, les personnes atteintes de troubles mentaux, bénéficient d'une protection renforcée. Les atteintes à l'intégrité corporelle des mineurs ou des majeurs protégés sont strictement encadrées, sinon prohibées : stérilisations à visées contraceptives, cadre du prélèvement d'organe ou de tissus sur un mineur décédé, don d'organe par une personne protégée ([DEBET, 2018](#)).

I.2.3.2 Dans le domaine de l'informatique

Dans le domaine de la sécurité informatique, une vulnérabilité ou faille est une faiblesse dans un système informatique permettant à un attaquant de porter atteinte à l'intégrité de ce système, c'est-à-dire à son fonctionnement normal, à la confidentialité ou à l'intégrité des données qu'il contient.

Ces vulnérabilités sont la conséquence de faiblesses dans la conception, la mise en œuvre ou l'utilisation d'un composant matériel ou logiciel du système, mais il s'agit souvent d'anomalies logicielles liées à des erreurs de programmation ou à de mauvaises pratiques. Ces dysfonctionnements logiciels sont en général corrigés à mesure de leurs découvertes, mais l'utilisateur reste exposé à une éventuelle exploitation tant que le correctif (temporaire ou définitif) n'est pas publié et installé. C'est pourquoi il est important de maintenir les logiciels à jour avec les correctifs fournis par les éditeurs de logiciels. La procédure d'exploitation d'une vulnérabilité logicielle est appelée exploit ([techno-science, 2004](#)).

I.2.3.3 Dans le parcours de vie

La vulnérabilité dans le parcours de vie est souvent associée à la survenue d'événements non-normatifs, c'est-à-dire non attendus et non souhaités, tels que problèmes familiaux ou professionnels, accidents ou maladies graves ([Callahan, Edward J, McCluskey-Fawcett, Kathleen A., et West Virginia, 1983](#)). Elle peut également apparaître lors de moments de transition (quand on change de rôle social, par exemple devenir parent, intégrer ou quitter le monde professionnel, prendre sa retraite, etc.) ([Oris M., et al., 2009](#)).

I.3 La vulnérabilité dans le domaine de la construction – Le bâtiment d'habitation

Il faut prendre en compte la vulnérabilité de la construction de bâtiments d'habitation, car cela a des conséquences sur la sécurité et le bien-être des occupants. Divers éléments peuvent être responsable de cette vulnérabilité, comme des méthodes de construction défectueuses, des matériaux de mauvaise qualité ou même des erreurs de design. Les dangers liés comprennent la dégradation de la structure en cas de catastrophes naturelles comme les séismes ou les tempêtes, ainsi que des imperfections qui peuvent entraîner des accidents et des blessures pour les résidents. Il est essentiel de mettre en place une gestion des risques et de respecter des normes de construction afin de réduire cette vulnérabilité et assurer la sécurité à long terme des bâtiments d'habitation.

I.3.1 Le risque sismique

Le risque sismique peut être défini comme une mesure probabilisée des impacts sur un système. Pour un site ou une région donnée. Il représente l'estimation mathématique des pertes pendant une période de référence. C'est donc la combinaison entre un aléa sismique, qui est une probabilité qu'un séisme se produise en un endroit donné, et la vulnérabilité du lieu étudié. On peut l'exprimer par la convolution de l'aléa sismique, de la vulnérabilité du bâti ou de l'ouvrage,

et des pertes matérielles et humaines. Il faut préciser qu'un aléa important n'implique pas forcément un risque important. Pour chiffrer le risque sismique, on utilise la relation suivante :

$$\text{Risque Sismique} = \text{Aléa sismique} \times \text{Vulnérabilité sismique}$$

En général, le risque sismique se caractérise par sa variation dans le temps et dans l'espace. Il est fonction non seulement de la zone de sismicité, mais aussi de la densité de la population, du niveau du développement économique et des moyens mis en œuvre pour anticiper et résister à une crise post-sismique. Naturellement, la catastrophe sera d'autant plus grande que le séisme soit plus ou moins proche d'un centre urbain, ou bien que son intensité soit plus ou moins importante, tout comme la densité de la population et le niveau social de la ville. Cela représente donc plusieurs facteurs à considérer (Pellissier, 2004).

I.3.1.1 Composants du risque sismique

Le risque de séisme est l'un des dangers naturels les plus couramment abordés à travers le monde. La complication de l'aléa sismique, de la vulnérabilité du bâtiment et des pertes matérielles et humaines peut être exprimée. Généralement, il se manifeste de manière économique et sociale en fonction des différents scénarios de séismes pris en considération. Trois éléments caractérisent le risque sismique.

- **L'aléa sismique** : L'aléa correspond à un événement dangereux ou à une éventuelle exposition aux secousses telluriques pendant une période spécifique. La précision de l'événement est conditionnée par une connaissance approfondie du contexte géologique et tectonique de la sismicité historique et instrumentale au niveau local.
La localisation d'un séisme est influencée par des mécanismes régionaux (tectonique, géologie) à grande échelle, ainsi que par des caractéristiques locales (relief, nature du sol et sensibilité aux phénomènes induits). On divise donc généralement l'aléa en une partie régionale et une particularité locale.
- **Vulnérabilité sismique** : La capacité des structures et des bâtiments à faire face aux secousses sismiques (vulnérabilité physique) et la capacité des populations à faire face de manière cohérente et rationnelle à un événement majeur (vulnérabilité sociale) sont définies sous le terme de vulnérabilité sismique. Dans ces deux situations, nous devons exprimer notre ignorance des comportements pour en tenir compte dans notre évaluation globale.
La vulnérabilité correspond à un aléa (probabilité de l'événement) qui entraîne des dommages, généralement exprimés en unités monétaires ou parfois en degrés de dommages : $V = P_{\text{aléa}} \times C_{\text{dommages}}$
- **Les enjeux** : Les éléments exposés sont valorisés en fonction de leur valeur, englobant des bâtiments, leurs occupants et leurs contenus, ainsi que les activités économiques qu'ils accueillent, les infrastructures de transport et d'énergie, les structures vitales et les patrimoines susceptibles d'être impactés par un phénomène naturel.

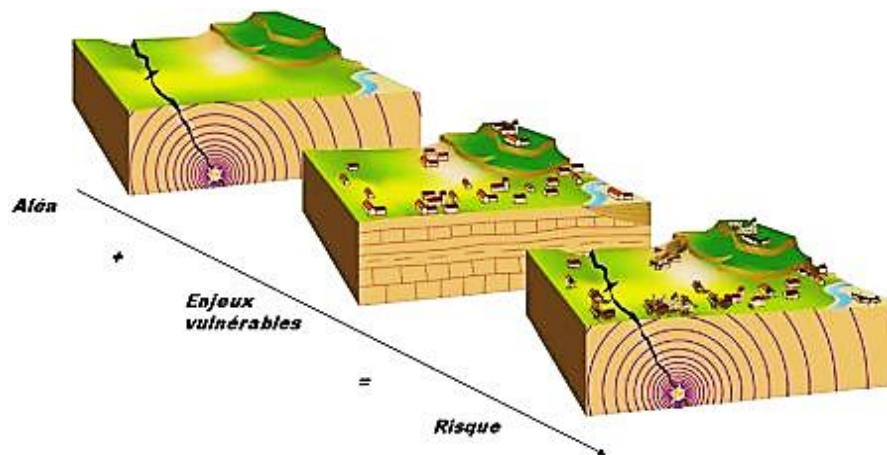


Figure I.1. Représentation schématique du risque sismique

I.4 Les facteurs affectant la vulnérabilité sismique des bâtiments

En dehors du type de construction, différents facteurs influent sur le niveau global de vulnérabilité d'une structure. Ces facteurs s'appliquent de manière générale à tous les types de structures, qu'elles soient calculées ou non, de même que les structures avec ou sans conception parasismique (Kassoul, 2016).

I.4.1 Qualité d'exécution

La résistance d'un bâtiment bien construit sera supérieure à celle d'un bâtiment mal construit, mais ce point n'a pas été pris en considération dans les échelles d'intensité, peut-être parce qu'il est difficile de définir ce « bien » et ce « mal ». L'emploi de matériaux de haute qualité et de méthodes de construction adéquates permettra à un bâtiment de faire face à la vibration de manière plus résistante qu'un bâtiment mal construit. Le mortier joue un rôle crucial si vous utilisez des matériaux de haute qualité. Même une construction en maçonnerie brute peut donner une solidité à un bâtiment si le mortier est de qualité supérieure. Une mauvaise méthode peut impliquer à la fois une négligence et une diminution des dépenses, telles que le manque d'assemblage adéquat de diverses parties de l'infrastructure. La structure finie ne répond pas aux dispositions appropriées du code de construction parasismique.

I.4.2 Etat d'entretien

Un bâtiment qui a été entretenu de manière adéquate se comportera en accord avec la résistance attendue en raison d'autres facteurs. La dégradation d'un bâtiment peut être considérablement plus faible, au point de réduire d'une unité sa classe de vulnérabilité. Il en va de même pour les bâtiments abandonnés ou délaissés et pour les cas où l'on constate un manque manifeste d'entretien. Celui des bâtiments déjà endommagés (le plus souvent par un séisme précédent dans le cas d'une série de secousses) est un cas particulier à souligner. Ces structures peuvent présenter un comportement extrêmement médiocre, de sorte qu'une réplique relativement faible

peut causer une quantité de dommages disproportionnée (notamment un effondrement) sur des structures endommagées par la secousse principale.

I.4.3 Régularité

En ce qui concerne la résistance au tremblement de terre, le bâtiment parfait serait un cube où toutes les variations internes de rigidité (cages d'escalier) seraient symétriquement disposées. Étant donné que de telles constructions seraient inconfortables sur le plan fonctionnel et déplorable sur le plan esthétique, il est possible d'estimer des différences plus ou moins importantes par rapport à ce plan idéal de la plupart des constructions que l'on peut rencontrer. Le bâtiment est plus vulnérable à la secousse sismique à mesure que l'on s'éloigne de la régularité ou de la symétrie, et on peut souvent constater sur des bâtiments endommagés comment les irrégularités ont clairement contribué aux dommages (par exemple lors de l'effondrement d'étages transparents).

I.4.4 Ductilité

La ductilité est une évaluation de la résistance d'un bâtiment à des charges latérales dans un domaine post-élastique, c'est-à-dire en absorbant l'énergie du séisme et en produisant des dommages de manière contrôlée, répartie de manière large ou concentrée localement, en fonction du type de construction et du système structural. La ductilité peut dépendre directement du type de construction : les structures en charpente métallique bien élaborées ont une ductilité élevée et sont donc plus résistantes à la secousse que les bâtiments de ductilité plus faible, tels que les maisons en briques. Dans les constructions parasismiques, il est essentiel de prendre en compte les paramètres du bâtiment qui influencent ses caractéristiques dynamiques (rigidité et répartition des masses), afin de garantir une transformation et une dissipation efficaces de l'énergie. Cela implique une interaction entre le sol, la structure et les éléments structuraux, tout en évitant les concentrations locales de dégradations.

I.4.5 Position

La situation d'un édifice par rapport aux autres édifices de son voisinage peut influencer son comportement lors d'un séisme. Les maisons situées à l'extrémité d'une rangée ou dans une position d'angle sont souvent les plus touchées dans le cas des rangées de maisons d'un lotissement urbain. De part et d'autre de la maison, un côté est raccordé à la voisine, l'autre n'est pas, ce qui entraîne une irrégularité de la rigidité globale de la structure qui tend à accentuer les dommages. Lorsque deux grands immeubles ayant des périodes propres différentes sont trop proches l'un de l'autre, des dommages graves peuvent survenir. Lors d'un tremblement de terre, ils ont la possibilité de changer de fréquence et de se heurter, ce qui entraîne un effet de pilonnage. Ces dommages ne reflètent pas la gravité de la secousse sismique et doivent être exclus lors de l'évaluation de l'intensité.

I.4.6 Renforcement

Quand une réhabilitation est envisagée pour améliorer le comportement des bâtiments face aux séismes, il en découle de nouveaux types de bâtiments appelés « composites ». Ils peuvent avoir des performances très différentes de celles d'un bâtiment de base non transformé. À titre

d'exemple, en utilisant des constructions anciennes en pierre tout venant et en améliorant les éléments horizontaux par le remplacement des planchers ou l'ajout d'éléments de liaison, on peut atteindre une performance de classe B. Les performances peuvent être améliorées si, en plus, on utilise des injections de mortier ou d'époxy ou un chemisage de béton armé, ce qui permet d'atteindre les classes attribuées aux bâtiments ayant une conception parasismique.

I.4.7 Conception parasismique

Pour une échelle macrosismique, il n'est pas possible de fournir une classification exhaustive des bâtiments calculés qui reflète les disparités et les nuances des codes parasismiques nationaux. Il est nécessaire de développer des liens entre les niveaux de résistance aux séismes selon les codes parasismiques en vigueur en Europe ou dans d'autres pays et les classes de vulnérabilité typiques mentionnées, et cela nécessite une discussion entre les spécialistes nationaux.

Il est nécessaire d'évaluer les fonctions de vulnérabilité pour les différents types de structures, en se basant principalement sur le niveau de conception parasismique prévu (conformément à la réglementation).

I.5 Méthode d'évaluation de la vulnérabilité sismique

Tableau I.1. Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments – Revue de littérature

Méthode	Organisme /Année	Objectif	Avantage	Inconvénient	Référence
Japonaise	Japon 1977	Dans cette méthode la performance sismique est représentée par un indice de performance sismique (Is) qui doit être calculé dans toutes directions de construction suivant les règles de l'art et parasismique suivant l'équation suivante : $Is = E_0 \times S_d \times T$.			(Verrhiest, 2008)
Italienne (GNDT) (Groupe National de Défense contre les Tremblements de terre)	Créé par le conseil national de la recherche italien en 1983	Développée par le GNDT La méthode a fait l'objet d'adaptations pour tenir compte des enseignements apportés par les tremblements de terre ultérieurs. La méthode revient au final avec 4 classes des vulnérabilités : A,B,C,D.	La méthode s'applique sur toute sorte de bâtiment, isolé ou un groupe de bâtisou bien de villes, mais bienque la structure soit en maçonnerie ou en béton armée, les structures en bois et en taches métalliques ne sont pas concernées par cette méthode		(Verrhiest, 2008)

Tableau I.2. Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments – Revue de littérature (Suite)

Méthode	Organisme /Année	Objectif	Avantage	Inconvénient	Référence
ATC 40	Publiée aux Etats-Unis en 1986 par Applied Technology Council	Conçue pour les bâtiments en béton armé, elle se base sur les déplacements plutôt que sur les forces. Cette méthode améliore la résistance des bâtiments aux séismes grâce à des analyses basées sur des déformations pont-élastiques.	Contrairement aux méthodes classiques qui sont basées sur les forces, cette méthode évalue les performances en fonction des déplacements. Elle est adaptée à différents types de bâtiments en béton armé.	La méthode nécessite des calculs statiques non linéaires, cela la rend accessible qu'aux spécialistes.	(Applied Technology Council, 1986.)
FEMA154 (Fédéral Emergency Management Agency)	Américain 1988	Etablir des procédures simples permettant tant aux spécialistes qu'aux non-initiés d'identifier le risque dans les bâtiments à partir d'une inspection visuelle.	Une méthode rapide d'évaluation de sécurité sismique des bâtiments.	Il s'agit d'une cote donnant à classification du risque sismique associé au bâtiment sans considération de la valeur des pertes économiques ou humaines.	(Verrhiest, 2008)
AFPS	Proposés par le groupe de travail « Vulnérabilité du bâti existant » de l'association Française du Génie parasismique au 1990	Évalue la vulnérabilité sismique des bâtiments construits depuis 1960. Elle propose deux approches : Qualitative : pour une évaluation rapide et initiale des constructions en utilisant une inspection visuelle et une grille relevée. Quantitative : afin d'effectuer une analyse détaillée en utilisant des méthodes d'analyse spécifiques pour confirmer les résultats de l'approche qualitative.	La méthode peut être utilisée pour divers types de bâtiments résidentiels, grâce à ces deux niveaux d'évaluation.	L'approche qualitative est une partie basée sur l'évaluation visuelle, ce qui peut introduire certaine subjectivité. Elle peut être moins pratique pour des structuraux plus anciens car elle conçoit les bâtiments après 1960.	(Association Française du Génie parasismique, 1990.)

Tableau I.3. Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments – Revue de littérature (Suite)

Méthode	Organisme /Année	Objectif	Avantage	Inconvénient	Référence
EMS 98 (European Macrosismic Scale)	Européenne 1998	La définition de l'échelle d'intensité macrosismique Européenne EMS98, permet d'estimer les dommages observés sur différents types de structures. Cette méthode utilise l'intensité comme donnée d'entrée du séisme. Elle est définie à l'origine pour caractériser les régions autour des épicentres des séismes en fonction des effets sur les constructions, les objets et les personnes.	L'EMS 98 propose une corrélation entre l'intensité sismique et l'endommagement des bâtiments. Mesurer la gravité d'une secousse sismique en fonction des effets observés dans une zone limitée mais elles peuvent également être utilisées pour des études de vulnérabilité. Sont fonctions de vulnérabilité basées sur l'observation lors d'un séisme passé et sur le jugement d'experts.	L'inconvénient de cette approche probabiliste est que l'évaluation des dommages est basée sur l'opinion des experts. Par conséquent, en plus des incertitudes de l'évaluation des dommages dues à la variabilité dans l'exécution réelle des constructions, on a celles liées à l'opinion des experts. Par ailleurs, une approche déterministe fondée sur des modèles numériques ou analytiques peut être la plus appropriée pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique.	(Kassoul, 2016)
FEMA 310	Créé par Federal Emergency Management Agency à Washington DC en 1998	Elle a pour objet principalement de proposer une méthode organisée et approfondie pour évaluer la résistance sismique des bâtiments existants, en augmentant les détails et en diminuant la marge de sécurité.	Cette méthode à trois niveaux offre une évaluation souple en fonction des exigences du projet. Au niveau 1, on procède à une évaluation rapide et complète des éléments structurels, non structurels et de fondation en utilisant des listes de contrôle détaillée. Les niveaux 2 et 3 ne sont employés que lorsque l'évaluation de niveau 1 est trop prudente, ce qui permet de réaliser des évaluations plus détaillées uniquement si elles sont économiquement bénéfiques, ce qui permet d'optimiser les ressources et de réduire des coûts.	Le processus d'évaluation selon FEMA 310 nécessite une expertise élevée, ce qui peut rendre son application complexe. Il est également possible que le manque de détails dans certaines parties du processus entraîne de la confusion, nécessitant une interprétation approfondie et augmentant les risques d'erreurs. En outre, les évaluations détaillées aux niveaux 2 et 3 peuvent être coûteuses et chronophages, ce qui peut constituer des obstacles pour certains projets ou organisations.	(Federal Emergency Management Agency 1998 ; Building Seismic Safety Council, 1992.)

Tableau I.4. Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments – Revue de littérature (Suite)

Méthode	Organisme /Année	Objectif	Avantage	Inconvénient	Référence
HAZUS Américaine	Développée par leNIBS (National Institute of Building Science) et supportée par laFEMA (Fédéral Emergency Management Agency) en 1999	Attribuer au bâtiment selon son système constructif une note associée au risque structurel, ellevarie entre 1.6 et 7.4. Elle correspond à la probabilité d'effondrement d'un bâtiment.	Construire des modèles Définition du dommage Calculer la probabilité de dommage de manière analytique. C'est une méthode rapide d'évaluation de la vulnérabilité sismique. Il est recommandé de procéder au diagnostic détaillé du bâtiment avant l'évaluation de sa vulnérabilité.		(Belmouden etLestuzzi, 2006)
Néo-Zélandaise	New Zélande Society for Earthquake Engineering en 2000	La méthode implique une estimation sommaire de la performance des bâtiments existants par rapport au standardexigé pour un nouveau bâtiment.Cette estimation, qui tient compte de toutes les informations raisonnablement disponibles, est donnée par le paramètre (pourcentage new buildings standard %NBS).			(Verrhiest, 2008)
RISK-UE	Européenne2001	Le principe des méthodes Risk-UE consiste à calculer un indice"IV" qui varie généralement entre 0 (non vulnérable) et 1 (très vulnérable), et qui sera un indicateur de l'état de la structure	La méthode Risk-UE qui définit une typologie plus détaillée que l'EMS98, est ainsi moins sensible que GNDT au contexte local, enplus cette méthode ΔV_f qui permet de réduire l'intervalle d'incertitudes. Elle donne un indice de vulnérabilité pour chaquetype de bâtiment.		(Belmouden et Lestuzzi, 2006)

Tableau I.5. Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments – Revue de littérature (Suite)

Méthode	Organisme /Année	Objectif	Avantage	Inconvénient	Référence
Grille Suisse	2003 par L'Office Fédéral des eaux et de la Géologie suisse	La méthode vise à recenser au moyen d'indicateurs les propriétés des ouvrages qui déterminent leur tenue au séisme et à évaluer le danger auquel sont exposés les bâtiments, les personnes et les biens. Une fiche d'inventaire consignant un schéma d'évaluation est fournie pour déterminer.			(Verrhiest, 2008)
Eurocode 8	Créé par la comité Européen de Normalization Brussels en 2005	Vise principalement à établir des critères précis et clairs pour évaluer la résistance sismique des bâtiments et infrastructures existants, en prenant en compte les actions sismiques et non sismiques pendant la durée de vie prévue.	Elle présente des critères précis pour l'évaluation sismique des structures existantes, ce qui simplifie la tâche des ingénieurs dans l'évaluation et l'amélioration de la sécurité des bâtiments actuels. Elle est aussi utilisée pour confirmer l'impact des incertitudes de modélisation structurale, en particulier dans l'évaluation sismique des structures en béton armé, démontrant ainsi sa mise en œuvre pratique et sa validité scientifiquement.	Le processus d'évaluation est complexe, car elle inclut les actions non sismiques et sismiques, ce qui peut nécessiter des analyses approfondies et détaillées.	(Comité Européen de Normalization Brussels, 2005.)

Tableau I.6. Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments – Revue de littérature (Suite)

Méthode	Organisme /Année	Objectif	Avantage	Inconvénient	Référence
VULNERALP	2007	VULNERALP est une adaptation de la méthode GNDT, c'est une méthode qualitative élaborée par le LCPC/LGIT dans le cadre du projet VULNERALP et par l'AFPS dans le cadre du groupe de travail « Vulnérabilité du bâti existant : approche d'ensemble ». Il s'agit d'une méthode « à étages » permettant de mettre en œuvre différents niveaux d'analyse de plus en plus précise et impliquant une mobilisation Progressive des moyens.	Elle consiste à estimer le dommage moyen en conformité avec l'échelle européenne à partir de recherches visuelles de critères structuraux simples. P permet d'obtenir des informations simples et élémentaires sur la vulnérabilité des constructions à grande échelle.	-De fortes marges d'erreurs. -Paramètres pris en compte dans l'estimation de la vulnérabilité.	(Verrhiest 2008 ; Guéguen, 2007)
La méthode de push-over		Consiste à établir une courbe effort-déplacement unique pour caractériser le comportement de la structure en "la poussant" de plus en plus fort. L'analyse 'push over' est une procédure statique non linéaire dans laquelle les charges verticales restent constantes et les efforts horizontaux, appliqués au niveau de la masse de la structure pour reproduire les forces d'inertie représentative de l'action sismique.	La méthode de calcul la plus rigoureuse d'analyse des structures sous l'action sismique est le calcul dynamique temporel non linéaire qui permet de reproduire fidèlement le comportement de la structure et de connaître ses états de performance à différents instants du séisme.	Ce type d'étude est difficilement envisageable pour des structures courantes en raison de la complexité des modèles utilisés qui nécessitent des moyens de calcul relativement lourds, et le calcul non linéaire en poussée progressive représente une alternative intéressante.	(Ourabah et al, 2010)

I.6 Vulnérabilité des villes algériennes

Au niveau de la convergence de l'Afrique et de l'Eurasie, l'Algérie se trouve sur une frontière active de plaques (figure I.2). La vitesse de rapprochement de ces plaques est d'environ 6 millimètres par an, ce qui entraîne une accumulation considérable de contraintes. Quand ces contraintes deviennent excessives, il est possible de mettre en œuvre certaines failles. Les bords de la faille se déplacent rapidement, ce qui provoque des ondes sismiques qui se propagent jusqu'à la surface. Les failles les plus actives se trouvent dans la chaîne de montagne nord-africaine (Atlas). (Source : IRSN).

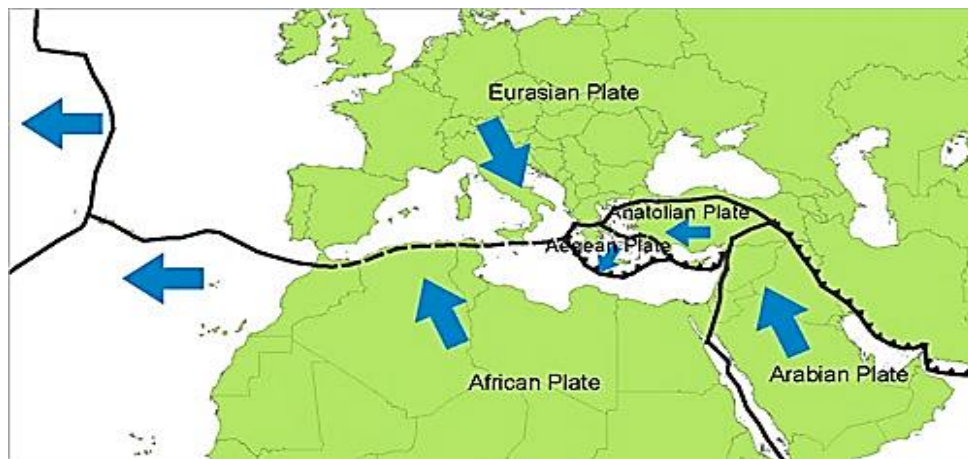


Figure I.2. Plaques tectonique eurasiennne et africaine

En Algérie, la région nord du pays présente un risque sismique très élevé (figure I.3). Regrettant, la plupart des bâtiments ne respectent pas les normes de construction parasismique, plus de 80 % des logements ne respectant pas les exigences de la Règlementation Parasismique Algérienne de 2003 (RPA, 2003) (figure I.3). Ces habitations sont particulièrement exposées aux tremblements de terre en raison de cette situation. En outre, cette vulnérabilité est aggravée par la répartition inégale de la population sur le territoire national, avec environ 90 % de la population résidant dans le nord de l'Algérie (figure I.3), ce qui entraîne une forte densité de population dans une zone déjà vulnérable aux risques sismiques.

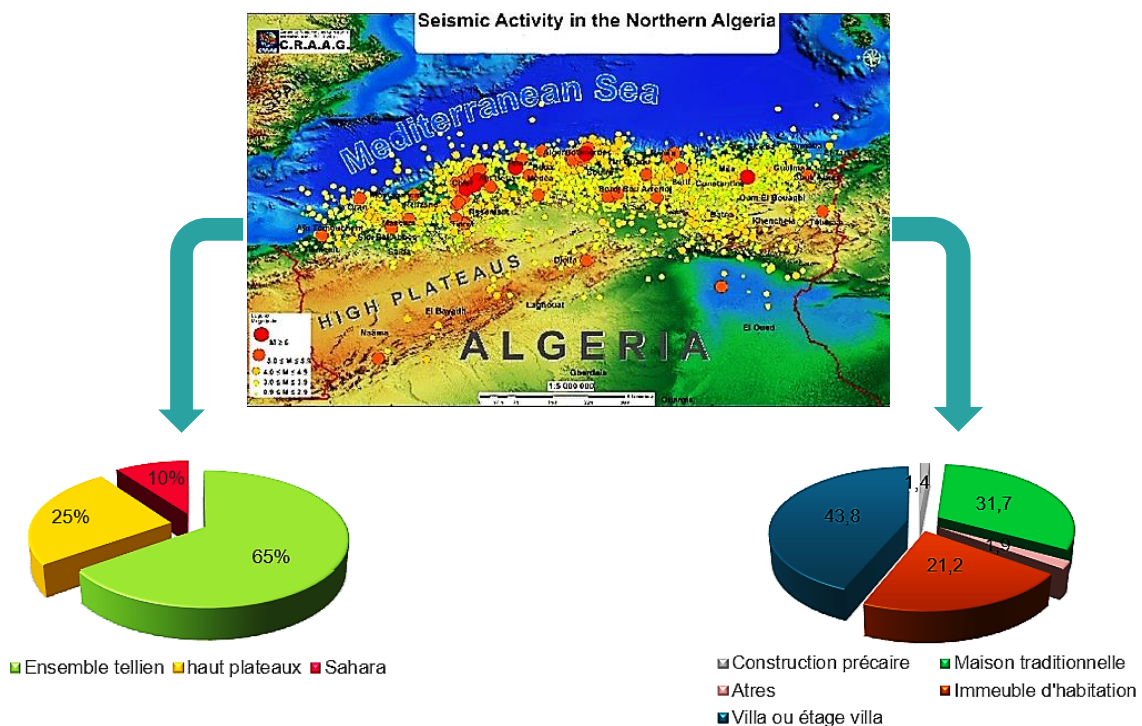


Figure I.3. Activité sismique dans le nord d'Algérie (CAAG, 2024 ; AND, 2014 ; ONS, 2014)

I.7 Conclusion

Le risque sismique élevée, le fait que la population soit concentrée dans le nord et que la plupart des bâtiments ne respectent pas les normes de construction accroissent la vulnérabilité de l'Algérie aux séismes.

Cette situation en Algérie nous a poussés à élaborer une approche pour évaluer cette faiblesse. Même si des méthodes internationales existent, elles ne sont pas toujours appropriées pour le contexte algérien. Par exemple, la méthode CETE Méditerranée peut être utilisée dans tout le contexte méditerranéen, mais il est préférable de concevoir notre propre méthode, qui sera développée dans le deuxième chapitre.



Chapitre 02

Présentation des méthodes dans le cadre de la présente étude.

Méthode : Vulbat-AI & Risk-UE

II.1 Introduction

L'Algérie, comme les autres pays méditerranéens, est soumise à une importante activité sismique. Elle a connu plusieurs tremblements de terre au fil de son histoire, notamment ceux de Chlef en (1980), Ain-Temouchent en (1999), et plus récemment celui de Boumerdès en (2003).

Les constructions anciennes en Algérie sont nombreuses et constituent une part significative du parc immobilier, étant les plus exposées aux risques d'effondrement en cas de séisme. Il est donc essentiel d'évaluer leur vulnérabilité pour garantir la sécurité.

La gestion des risques sismiques nécessite une évaluation de la vulnérabilité sismique, notamment dans les régions à haut risque sismique comme l'Algérie. Il est crucial de saisir comment les structures et les infrastructures réagissent aux séismes afin de réduire au minimum les pertes en vies humaines et les dégâts matériels lors de catastrophes sismiques.

Dans ce chapitre, nous allons exposer deux approches couramment employées pour évaluer la vulnérabilité sismique : la méthode Vulbat-AL et la méthode Risk-UE. Ces méthodes permettent d'utiliser des outils analytiques performants pour évaluer la capacité des bâtiments et des infrastructures à subir des séismes en Algérie, en fournissant des données précieuses pour la prise de décision en matière de renforcement parasismique et de construction urbaine.

II.2 Méthode Vulbat-AL – Méthodologie pour l'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments d'habitation en Algérie

II.2.1 A propos de la méthode

La méthode que nous proposons utilise des objectifs représentant les aspects principaux de projet quantifié 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 de performance (IPs) 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 (Singh et al., 2008; Waas et al., 2014).

II.2.2 Approche utilisée

Les deux approches utilisées dans cette méthode :

L'approche "Top-down" (Figure III.1) est basée sur 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 une (ou plusieurs) méthode(s) d'évaluation pour chaque indicateur.
5. Définir des méthodes d'appréciation de la performance de l'indicateur (normes, fonctions, base de données, avis d'experts, etc.).

En revanche, la méthode ascendante « Bottom-up » (Figure III.1) offre un avantage important de prendre en considération dès le départ les données disponibles, mais elle ne permet pas nécessairement d'obtenir un système d'objectif complet et équilibrer, car elle repose uniquement sur les données disponibles et non pas sur une vision complète des attentes. Cette méthode ascendante implique la création et la comparaison de modèles et/ou de méthodes pratiques et précises pour évaluer les performances des critères de durabilité en remontant des indicateurs simples aux objectifs globaux associés.

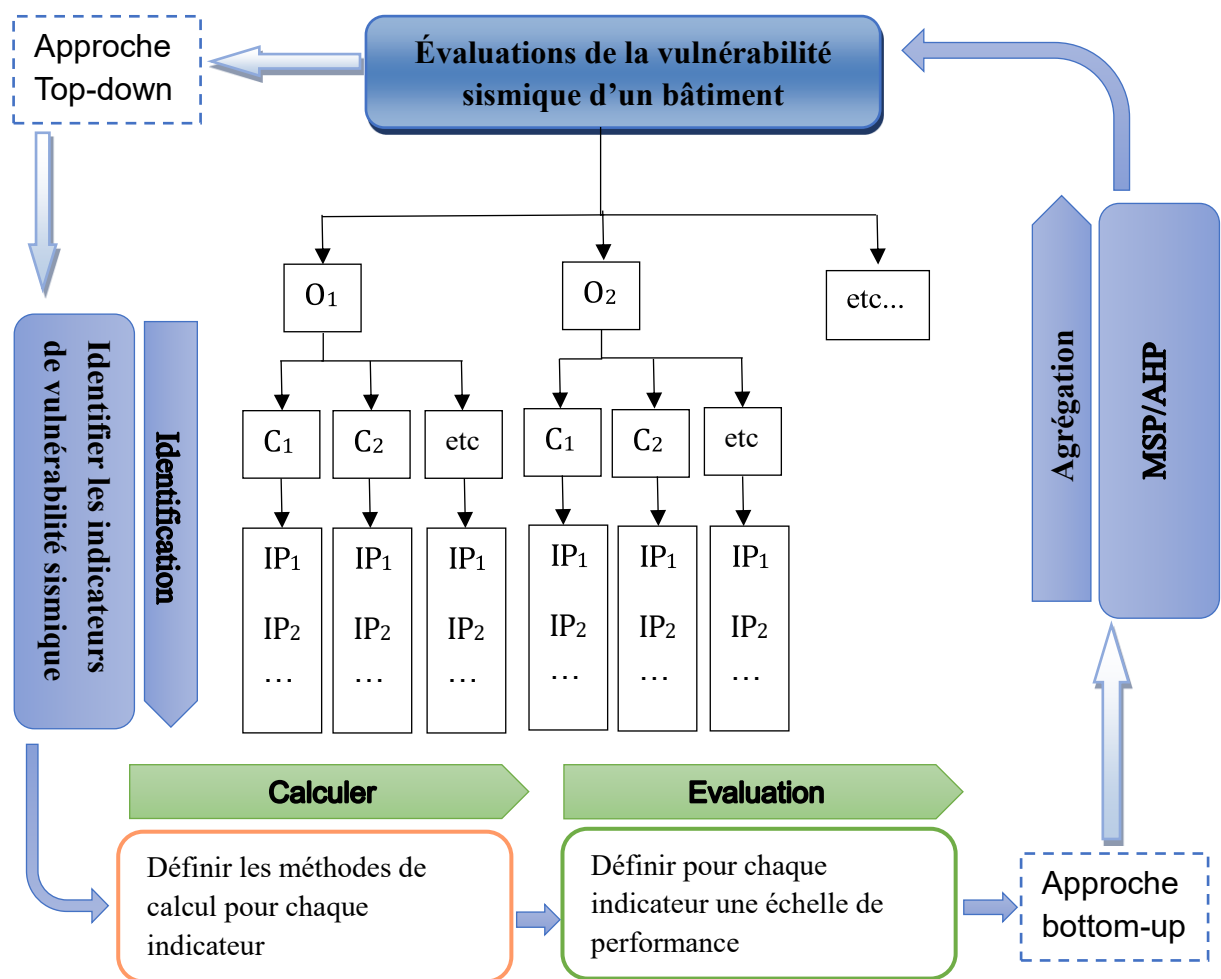


Figure II.1. Méthodologie adoptée pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique pour un bâtiment d'habitation

II.2.3 Approche diagnostic descendante – "Top-down"

La méthode Top-down de diagnostic représente une approche descendante pour décrire les objectifs, impliquant un examen approfondi de la vulnérabilité sismique des constructions

existantes. Ce processus implique l'identification et la définition de divers critères de durabilité, allant des objectifs de performance généraux aux indicateurs de performance spécifiques.

II.2.3.1 Identification des IPs

L'indice de vulnérabilité sismique (IVS) est un outil de décision précieux pour les ingénieurs en bâtiment en Algérie, notamment pour les constructions anciennes. Établir un tel indice implique l'analyse approfondie de divers paramètres révélateurs de la résistance sismique d'un bâtiment résidentiel.

Le diagnostic de la performance sismique (DSP) permet l'élaboration d'un tableau de bord comprenant les différents objectifs, critères et indicateurs de performance liés à la qualité sismique d'un bâtiment résidentiel (Moussaoui et Cherrared, 2021) comme les tableaux suivants le montre :

Tableau II.1. Tableau de bord de diagnostic de la vulnérabilité

Objectif	Critère	IPs	Symb.	Unité	Référence
Vulnérabilité du sol (VulnSol)	Stabilité du sol (stabsol)	Sol en surface	SS	/	Ghislaine VERRHIEST (CETE Méditerranée)
		Type de site	TS	/	
		Proximité d'un changement de pente	PCP	%	
		Pente générale du terrain	PT	/	
		Proximité d'eau	PE	%	
		Proximité de soutènement	PS	m	
	Agressivité chimique (Agrchim)	Degrés d'agressivité	Dgr d'agr	/	(Moussaoui et Cherrared, 2015)
		Potentiel hydrogène	PH	mg/l	
Vulnérabilité de la structure (VulnStr)	Conception architecturale (ConcArch)	Régularité en plan	RP	/	Ghislaine VERRHIEST (CETE Méditerranée)
		Régularité en élévation	REL	/	
		Elancement en plan	EP	/	
		Etages à hauteur différents	ET	/	
		Hauteur du bâtiment	HB	m	
		Parties saillantes ou rentrantes	PSR	/	
	Système structurel (SysStr)	Système de contreventement	SC	/	
		Poteaux courts	PC	/	
		Poteaux élancés	PEL	/	
		Alignement des éléments verticaux de contreventement	AC	/	
		Continuité des éléments de contreventement en hauteur	CC	/	
		Forte différence de contreventement (en plan et en élévation)	DC	/	
		Bâtiments accolés avec joint insuffisant ou obstrué	BA	/	

Tableau II.2. Tableau de bord de diagnostic de la vulnérabilité (Suite)

Objectif	Critère	Indicateurs de performance	Symb.	Unité	Référence
Vulnérabilité de la structure (VulnStr)	Etat de la structure (EtatStr)	Age du bâtiment (année de construction)	AB	ans	Ghislaine VERRHIEST (CETE Méditerranée)
		Etat général de conservation	EC	/	
		Désordres structuraux constatés	DS	/	
		Risque de chute des éléments non structuraux	CNS	/	
		Projet de réhabilitation et/ou d'entretien pour anciens bâtiments	PR	/	
Vulnérabilité social (VulnSoc)	Population résidente (Popul)	Ratio de la population âgée > 65ans	PA	%	(Slovic, 1992)
		Ratio d'enfants < 15 ans	RE	%	(Marris et al., 1995)
		Ratio de la population féminine	PF	%	(Rohrmann, 1995)
	Qualité de vie (QualVie)	Niveau d'éducation et de sensibilisation	NES	/	(Armas, 2006, 2008a, b)
		Mobilité physique des occupants	MPH	/	(Fertas, 2020)
		Femmes avec plus de 5 enfants	FPE	%	(Armas et Avram, 2009)
		Taux d'occupation du logement	TO		(Armas, 2012)
	Secourisme	Distance aux hôpitaux	DH	Km	(Dwyer et al., 2004)
		Distance aux postes de protection civile	DPC	Km	
		Distance aux postes de police	DPP	Km	
	Accessibilité	Accessibilité au bâtiment (issues de secours, panneaux de signalisations)	ACB		(Dwyer et al., 2004)
		Présence de zones libre et dégagé à l'extérieur du bâtiment	ZL		
Vulnérabilité environnementale (VulnEnv)		Zonage sismique	ZS	/	(Moussaoui et Cherrared, 2015)
		Valeurs moyennes d'accélération pour les séismes de magnitude moyenne à forte	AMoy	/	
		Code de construction utilisé	CCU	/	
		Eloignement par rapport à la mer	EM	Km	

II.2.3.2 Méthode de calcul et l'échelle de performance

Une fois que les IPs ont été définis, la prochaine étape est de les calculer. La mise en œuvre d'une méthode de calcul spécifique est nécessaire pour chaque IP, ce qui peut englober des

normes, des formules analytiques et/ou empiriques, des modèles de calcul par logiciel et d'autres.

Pour évaluer la réalisation des objectifs choisis, il est essentiel de convertir les valeurs des indicateurs en valeurs de performance en utilisant une échelle de performance.

Une échelle de zéro à un (0 à 1) a été sélectionnée. La valeur un (1) correspond à la meilleure performance ($P = 1$) et zéro (0) à la pire ($P = 0$). Afin de transformer la mesure initiale des indicateurs en scores, entre 0 et 1, des fonctions de performance doivent d'abord être construites en utilisant des bases scientifiques existantes (normes, etc.) et, lorsque celles-ci ne sont pas disponibles, des recommandations des experts du bâtiment ([Moussaoui, 2018](#)).

Les tableaux suivants résument les méthodes de calcul des IPs définies dans les tableaux précédents et leurs échelles de performance.

Tableau II.3. Méthodes de calcul et les échelles des IPs

Critère	IPs	Méthode de calcul	Référence	Echelle	Référence
Stabilité du sol (StabSol)	SS	Relevé visuel in situ : <ul style="list-style-type: none"> • Rocher, • Alluvions, • Présence de sable, • Ancien marais. 	(Battier, 2002)		(Battier, 2002)
	TS	Etude mécanique de sol (Rapport de sol) : <ul style="list-style-type: none"> • Catégorie S1 : sol rocheux, • Catégorie S2 : sol ferme, • Catégorie S3 : sol meuble, • Catégorie S4 : sol très meuble. 	(CGS, 2003)		(Battier, 2002)

Tableau II.4. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)

Critère	IPs	Méthode de calcul	Référence	Echelle	Référence
Stabilité du sol (StabSol)	PT	$\text{Pente } (\%) = \frac{\Delta h}{d} \times 100$ <ul style="list-style-type: none"> • Δh : dénivelée. • d : distance horizontale entre les deux extrémités du terrain. 	/		(Battier, 2002)
	PCP	<p>Distance (D) mesurée comme indiqué sur la figure ci-dessous :</p>	(Battier, 2002)	<div> <div> <p>Si : H= 10 m D= 5 m → H/D= 2</p> <p>Si : H= 10 m D= 10 m → H/D= 1</p> </div> <div> <p>Si : H= 10 m D= 20 m → H/D= 0.5</p> <p>Si : H= 10 m D= 50 m → H/D= 0.2</p> </div> </div>	(Battier, 2002)

Tableau II.5. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)

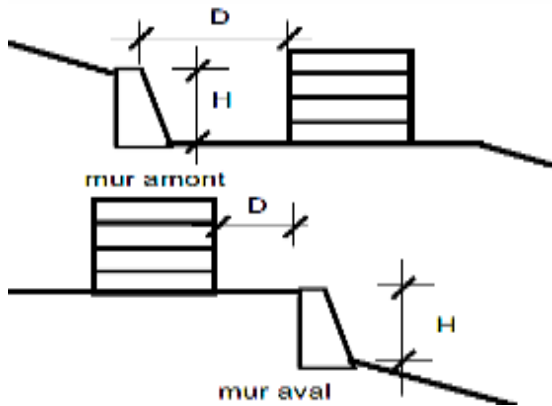
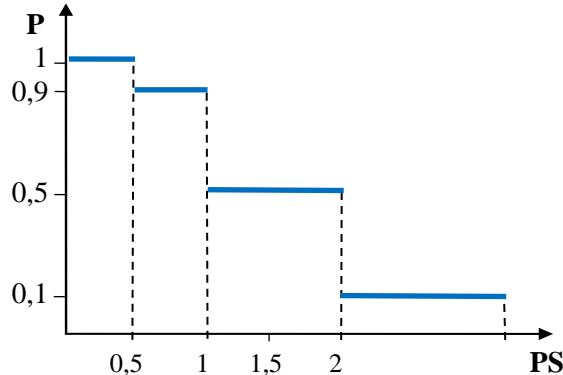
Critère	IPs	Méthode de calcul	Référence	Echelle	Référence									
Stabilité du sol (StabSol)	PE	Distance (D) mesuré par rapport à l’eau en surface (bord de mer, rivière, ruisseau, lac, etc.).	(Battier, 2002)	<table><tr><th>Indicateur</th><th colspan="2">PE</th></tr><tr><td>Distance</td><td>D> 100m</td><td>D< 100m</td></tr><tr><td>Performance</td><td>Bonne (0.9)</td><td>Mauvaise (0.1)</td></tr></table>	Indicateur	PE		Distance	D> 100m	D< 100m	Performance	Bonne (0.9)	Mauvaise (0.1)	(Battier, 2002)
	Indicateur	PE												
Distance	D> 100m	D< 100m												
Performance	Bonne (0.9)	Mauvaise (0.1)												
	PS	<p>Distance (D) mesurée comme indiqué sur la figure ci-dessous :</p> 	/	 <p>Exemple :</p> <p>Si : H= 10 m D= 5 m ➡ H/D= 2</p> <p>Si : H= 10 m D= 10 m ➡ H/D= 1</p> <p>Si : H= 10 m D= 20 m ➡ H/D= 0.5</p> <p>Si : H= 10 m D= 50 m ➡ H/D= 0.2</p>	(Battier, 2002)									

Tableau II.6. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)

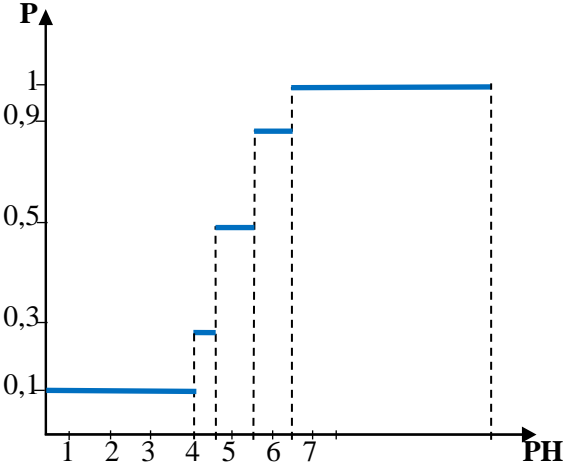
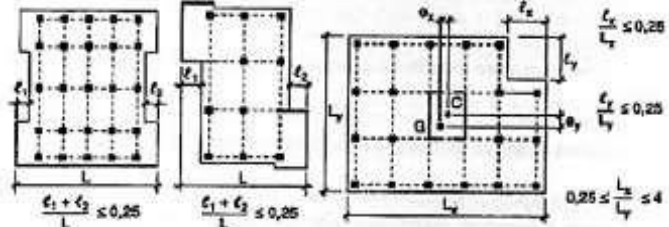
Critère	IPs	Méthode de calcul	Référence	Echelle	Référence						
Agressivité chimique (AgrChim)	Dgr d'agr	Etude chimique de sol (Rapport de sol) : <ul style="list-style-type: none">XA1 : Faible agressivité chimique,XA2 : Agressivité chimique modérée,XA3 : Forte agressivité chimique.	(NF-EN 206/CN, 2014)	<table><tr><td>Indicateur</td><td>Agressive</td><td>Non aggressive</td></tr><tr><td>Performance</td><td>0.1</td><td>1</td></tr></table>	Indicateur	Agressive	Non aggressive	Performance	0.1	1	(Battier, 2002)
	Indicateur	Agressive	Non aggressive								
Performance	0.1	1									
	PH	Mesure de PH (PH-mètre ou kit a PH) : <ul style="list-style-type: none">$5,50 \leq PH \leq 6,50$: Faible agressivité,$4,50 \leq PH \leq 6,50$: Agressivité moyenne,$4,00 \leq PH \leq 4,50$: Forte agressivité.			(Battier, 2002)						
Conception architecturale (ConcArch)	RP	Un bâtiment est classé régulier en plan si : <ul style="list-style-type: none">$(l_1 + l_2) / L \leq 0,25$ - $l_x / L_x \leq 0,25$$l_y / L_y \leq 0,25$ - $0,25 \leq L_x / L_y \leq 4$ 	(Battier, 2002 ; CGS, 2003)	<table><tr><td>Régularité en plan</td><td>Bâtiment régulier</td><td>Bâtiment non régulier</td></tr><tr><td>Performance</td><td>1</td><td>0.1</td></tr></table>	Régularité en plan	Bâtiment régulier	Bâtiment non régulier	Performance	1	0.1	(CGS, 2003)
Régularité en plan	Bâtiment régulier	Bâtiment non régulier									
Performance	1	0.1									

Tableau II.7. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)

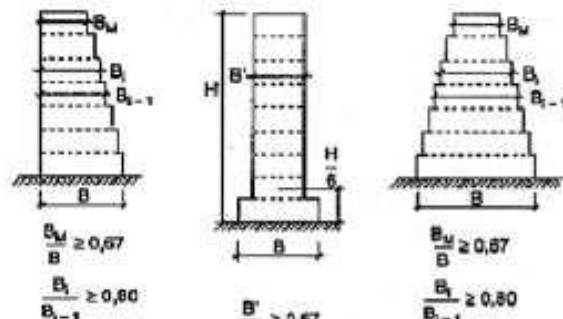
Critère	IPs	Méthode de calcul	Référence	Echelle			Référence						
Conception architecturale (ConcArch)	REL	<p>Un bâtiment est classé régulier en élévation si :</p> <p>- $B_m / B \geq 0,57$ et $B_i / B_{i-1} \geq 0,80$ -- $B' / B \geq 0,67$</p> 	(Battier, 2002 ; CGS, 2003)	<table><tr><td>Régularité en élévation</td><td>Bâtiment régulier</td><td>Bâtiment non régulier</td></tr><tr><td>Performance</td><td>1</td><td>0.1</td></tr></table>			Régularité en élévation	Bâtiment régulier	Bâtiment non régulier	Performance	1	0.1	(CGS, 2003)
	Régularité en élévation	Bâtiment régulier		Bâtiment non régulier									
	Performance	1		0.1									
EP	<p>On dit qu'il y a un élancement en plan si :</p> $0.25 \leq \frac{lx}{ly} \leq 4$	<table><tr><td>Elancement en plan</td><td>Bâtiment élancé</td><td>Bâtiment non élancé</td></tr><tr><td>Performance</td><td>0.1</td><td>1</td></tr></table>			Elancement en plan	Bâtiment élancé	Bâtiment non élancé	Performance	0.1	1			
Elancement en plan	Bâtiment élancé	Bâtiment non élancé											
Performance	0.1	1											
ET	<p>Constat visuel in situ de l'existence d'étages souple.</p>	<table><tr><td>Indi</td><td>Présence d'un étage transparent</td><td>Absence de l'étage transparent</td></tr><tr><td>Per</td><td>0.1</td><td>1</td></tr></table>			Indi	Présence d'un étage transparent	Absence de l'étage transparent	Per	0.1	1			
Indi	Présence d'un étage transparent	Absence de l'étage transparent											
Per	0.1	1											

Tableau II.8. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)

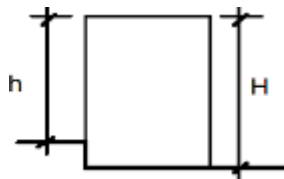
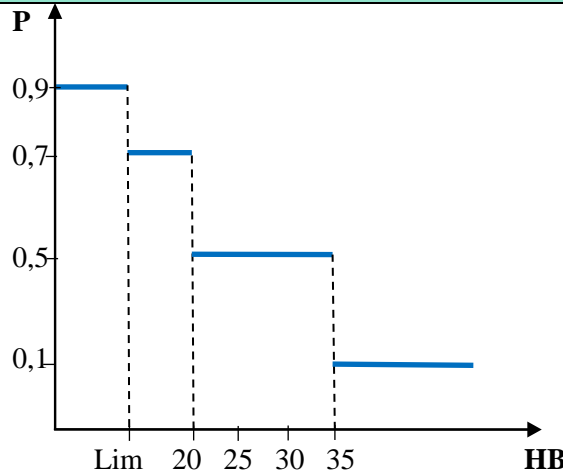
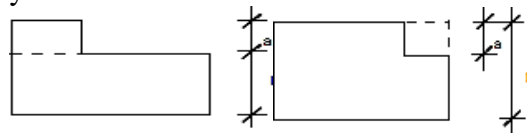
Critère	IPs	Méthode de calcul	Référence	Echelle	Référence								
Conception architecturale (ConcArch)	HB	<p>La hauteur (H) du bâtiment (nombre de niveaux) est mesurée à partir de la surface libre du terrain jusqu’au sommet de la structure (y compris l’acrotère).</p> 	(Battier, 2002 ; CGS, 2003)	 <table><tr><td>Zone</td><td>I</td><td>II</td><td>III</td></tr><tr><td>Lim</td><td>11</td><td>14</td><td>17</td></tr></table>	Zone	I	II	III	Lim	11	14	17	(CGS, 2003)
	Zone	I		II	III								
Lim	11	14	17										
Système structurel (SysStr)	PSR	<p>Une partie rentrante ou saillante ne doit pas dépassée :</p> $\frac{lx}{Lx} \leq 0.25 \ ; \ \frac{ly}{Ly} \leq 0.25 \ ; \ 0.25 \leq \frac{Lx}{Ly} \leq 4$ <p>- lx, ly : la somme des dimensions des parties saillante ourentrante selon la direction x et y. . Lx, Ly : la largeur totale en plan selon la direction x et y.</p>  <p>Parties saillantes Parties rentrantes</p>	<table><tr><td>Indicateur</td><td>$\frac{lx}{Lx} \leq 0.25 \ ; \ \frac{ly}{Ly} \leq 0.25 \ ; \ 0.25 \leq \frac{Lx}{Ly} \leq 4$</td><td>Si non</td></tr><tr><td>Performance</td><td>(0.9)</td><td>(0.1)</td></tr></table>	Indicateur	$\frac{lx}{Lx} \leq 0.25 \ ; \ \frac{ly}{Ly} \leq 0.25 \ ; \ 0.25 \leq \frac{Lx}{Ly} \leq 4$	Si non	Performance	(0.9)	(0.1)				
Indicateur	$\frac{lx}{Lx} \leq 0.25 \ ; \ \frac{ly}{Ly} \leq 0.25 \ ; \ 0.25 \leq \frac{Lx}{Ly} \leq 4$	Si non											
Performance	(0.9)	(0.1)											

Tableau II.9. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)

Critère	IPs	Méthode de calcul	Référence	Echelle	Référence																						
Système structurel (SysStr)	SC	La nature du système de contreventement est définie par la réglementation algérienne en vigueur. Pour les bâtiments à usage d’habitation (bâtiment en béton armé), le contreventement est soit un système en portique (poteau+poutre), soit un système mixte (voile+portique) ou une construction en voile. Les restrictions données par la réglementation pour le choix du mode de contreventement sont en fonction de la zone sismique ainsi que de la hauteur du bâtiment :	(CGS, 2003)	Portique auto stable :		(CGS, 2003)																					
		<table><tr><td>Zone</td><td colspan="2">I</td><td colspan="2">II</td><td colspan="2">III</td></tr><tr><td>Condition</td><td>N=7; H≤ 23m</td><td>Sinon</td><td>N=5; H≤17m</td><td>Sinon</td><td>N=2; H≤8m</td><td>Sinon</td></tr><tr><td>Performance</td><td>0.9</td><td>0.1</td><td>0.9</td><td>0.1</td><td>0.9</td><td>0.1</td></tr></table>					Zone	I		II		III		Condition	N=7; H≤ 23m	Sinon	N=5; H≤17m	Sinon	N=2; H≤8m	Sinon	Performance	0.9	0.1	0.9	0.1	0.9	0.1
	Zone	I		II			III																				
	Condition	N=7; H≤ 23m		Sinon	N=5; H≤17m		Sinon	N=2; H≤8m	Sinon																		
	Performance	0.9		0.1	0.9		0.1	0.9	0.1																		
PC	Un poteau est dit court si : la hauteur libre h < 4 × largeur maximale. (Risque de rupture par cisaillement.	Construction mixte :																									
PEL	Un poteau est dit élancé si : la hauteur libre h > 20 × largeur minimale. (Risque de rupture par flambement).	<table><tr><td>Zone</td><td>I II III</td></tr><tr><td>Condition</td><td>Nétg ≤10; H≤14</td><td>Si non</td></tr><tr><td>Performance</td><td>Bonne (0.9)</td><td>Mauvais (0.1)</td></tr></table>		Zone	I II III	Condition	Nétg ≤10; H≤14	Si non	Performance	Bonne (0.9)	Mauvais (0.1)																
Zone	I II III																										
Condition	Nétg ≤10; H≤14	Si non																									
Performance	Bonne (0.9)	Mauvais (0.1)																									
		<table><tr><td>Indi</td><td>Présence du poteau court/ élancé</td><td>Absence du poteau court/élancé</td></tr><tr><td>Perf</td><td>0.1</td><td>1</td></tr></table>		Indi	Présence du poteau court/ élancé	Absence du poteau court/élancé	Perf	0.1	1																		
Indi	Présence du poteau court/ élancé	Absence du poteau court/élancé																									
Perf	0.1	1																									

Tableau II.10. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)

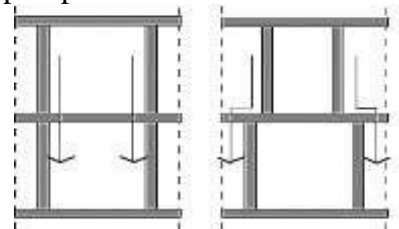
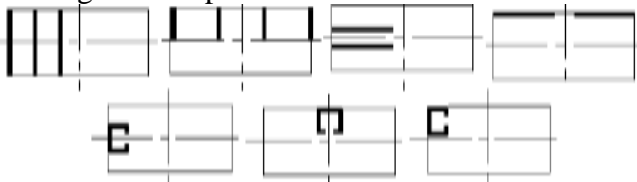
Critère	IPs	Méthode de calcul	Référence	Echelle			Référence						
Système structurel (SysStr)	AC	<p>La distribution verticale des éléments de contreventement doit être régulière et de préférence superposées afin de conférer aux différents niveaux une rigidité comparable aussi bien en translation qu'en torsion. Ceci dit, Une mauvaise disposition des palées de stabilité pourra entraîner des effondrements dus à des déformations trop importantes.</p> 	(Battier, 2002)	<table><tr><td>Indicateur</td><td>Superposé et verticalement régulier</td><td>Si non</td></tr><tr><td>Performance</td><td>0.9</td><td>0.1</td></tr></table>			Indicateur	Superposé et verticalement régulier	Si non	Performance	0.9	0.1	(CGS, 2003)
	Indicateur	Superposé et verticalement régulier	Si non										
	Performance	0.9	0.1										
CC	<p>Le système de contreventement ne doit pas comporter d'élément porteur vertical discontinu, dont la charge ne se transmette pas directement à la fondation.</p>	/	<table><tr><td>Indicateur</td><td>Continuité des éléments et le transmet des charges</td><td>Si non</td></tr><tr><td>Performance</td><td>0.9</td><td>0.1</td></tr></table>			Indicateur	Continuité des éléments et le transmet des charges	Si non	Performance	0.9	0.1		
Indicateur	Continuité des éléments et le transmet des charges	Si non											
Performance	0.9	0.1											
DC	<p>La forte différence de contreventement (en plan et en élévation) crée des distorsions dues aux moments. Cet IP peut être évalué directement dans le cas où la différence est flagrante ou par modélisation.</p> 	(Battier, 2002)	<table><tr><td>Indicateur</td><td>Existence de forte différence</td><td>Si non</td></tr><tr><td>Performance</td><td>0.1</td><td>0.9</td></tr></table>			Indicateur	Existence de forte différence	Si non	Performance	0.1	0.9		
Indicateur	Existence de forte différence	Si non											
Performance	0.1	0.9											

Tableau II.11. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)

Critère	IPs	Méthode de calcul	Référence	Echelle	Référence	
Système structurel (SysStr)	BA	Les joints sismiques doivent assurer l'indépendance complète des blocs qu'ils délimitent et empêcher leur entrechoquement, ils doivent être plans, sans décrochement et débarrassées de tout matériau de corps étranger. La largeur minimale d'un joint sismique séparant deux blocs est : $d_{min}=15(mm) + (\delta_1+\delta_2) \geq 40 (mm)$ δ_1, δ_2 : déplacement max des deux blocs au sommet.	(CGS, 2003)			
				<table><tr><td>Epaisseur</td><td>D <4cm</td><td>D >4cm</td></tr><tr><td>Performance</td><td>0.1</td><td>0.9</td></tr></table>	Epaisseur	
Epaisseur	D <4cm	D >4cm				
Performance	0.1	0.9				
Etat de la structure (EtatStr)	AB	L'âge du bâtiment est calculé à partir de la fin de sa construction (Écrasement d'éprouvettes et de carottes).	/	<p>Le graphique illustre l'échelle de performance AB (Année) avec des paliers à 1, 0,8, 0,7 et 0,1. L'axe des ordonnées est noté 'P' et l'axe des abscisses 'AB (Année)'. Des lignes verticales pointillées marquent les seuils à 10, 30 et 50 ans.</p>		(CGS, 2003)

Tableau II.12. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)

Critère	IPs	Méthode de calcul	Référence	Echelle	Référence										
Etat de la structure (EtatStr)	EC	<p>L'état de conservation du bâtiment est évalué selon l'échelle suivante :</p> <ul style="list-style-type: none">1 = Bâtiment bien entretenu ou restauré selon les règles de l'art,2 = Bâtiment partiellement entretenu ou dont la restauration est aisée,3 = Bâtiment menaçant ruine ou déprécié par une rénovation ou une transformation,4 = Bâtiment en état de ruine.	(Ministère de la culture et de la communication, 1990)	<table border="1"><thead><tr><th>EC</th><th>P</th></tr></thead><tbody><tr><td>Bon</td><td>0.9</td></tr><tr><td>Moyen</td><td>0.7</td></tr><tr><td>Mauvais</td><td>0.55</td></tr><tr><td>T. Mauvais</td><td>0.15</td></tr></tbody></table>	EC	P	Bon	0.9	Moyen	0.7	Mauvais	0.55	T. Mauvais	0.15	(CGS, 2003)
	EC	P													
	Bon	0.9													
Moyen	0.7														
Mauvais	0.55														
T. Mauvais	0.15														
DS CNS PR	Constats visuels lors de visites in-situ.	/	<table border="1"><thead><tr><th>Indicateur</th><th>Oui</th><th>Non</th></tr></thead><tbody><tr><td>Performance</td><td>0.1</td><td>0.9</td></tr></tbody></table> <table border="1"><thead><tr><th>Indicateur (PR)</th><th>Oui</th><th>Non</th></tr></thead><tbody><tr><td>Performance</td><td>0.9</td><td>0.1</td></tr></tbody></table>	Indicateur	Oui	Non	Performance	0.1	0.9	Indicateur (PR)	Oui	Non	Performance	0.9	0.1
Indicateur	Oui	Non													
Performance	0.1	0.9													
Indicateur (PR)	Oui	Non													
Performance	0.9	0.1													

Tableau II.13. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)

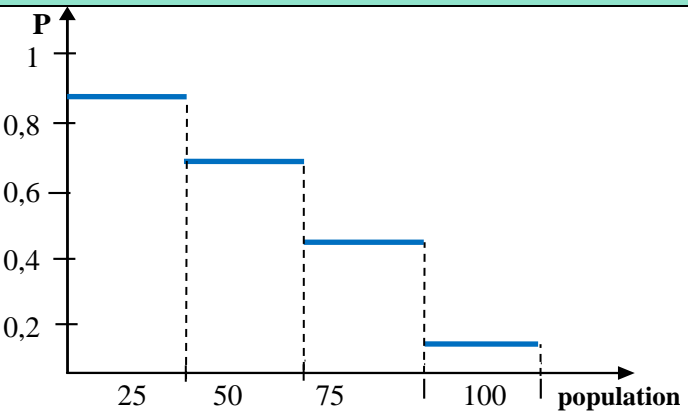
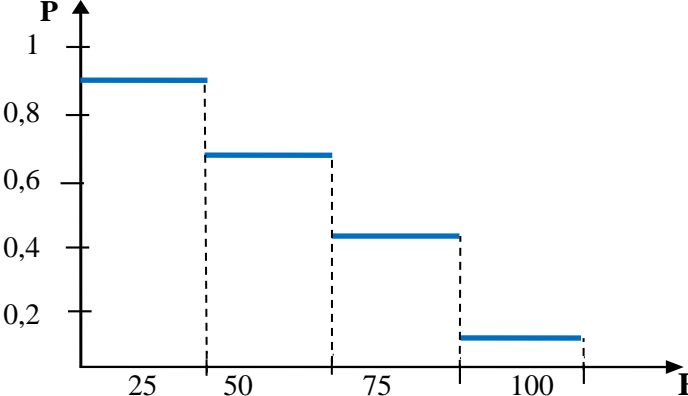
Critère	IPs	Méthode de calcul	Référence	Echelle	Référence												
Population (popul)	PA	$= \frac{Nb\,re\,PA}{Population\,totale}$	(Armaş, 2012)														
	RE	$= \frac{Nb\,re\,RE}{Population\,totale}$															
	PF	$= \frac{Nb\,re\,PF}{Population\,totale}$															
Qualité devie (Qualvie)	MPH	$= \frac{Nombre\,des\,personne\,malades}{\sum_1^n Totalité\,des\,individu}$	(Fertas, 2020)	<table><tr><td>Indi</td><td>[100-75]%</td><td>] 75 -50] %</td><td>] 50 -25] %</td><td>] 25 -0] %</td><td>0%</td></tr><tr><td>Perf</td><td>0</td><td>0.1</td><td>0.4</td><td>0.7</td><td>1</td></tr></table>	Indi	[100-75]%] 75 -50] %] 50 -25] %] 25 -0] %	0%	Perf	0	0.1	0.4	0.7	1	/
	Indi	[100-75]%] 75 -50] %] 50 -25] %] 25 -0] %	0%											
Perf	0	0.1	0.4	0.7	1												
FPE	$= \frac{Nb\,re\,FPE}{Population\,femelle\,totale}$	(Armaş, 2012)															

Tableau II.14. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)

Critère	IPs	Méthode de calcul	Référence	Echelle	Référence
Qualité de vie (Qualvie)	NES	$= \frac{\sum_1^n \text{Note de chaque personne}}{\sum_1^n \text{Nombre total des personnes}}$	(Moussaoui, 2018)	<p>Question 1 : que devriez-vous faire avant un séisme ? (4 points) :</p> <ul style="list-style-type: none"> -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. <p>Question 2: Que faites-vous lors d'une secousse de terre ? (6 points) :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Sauter de la fenêtre. -Attendre la secousse passe. -Fuir directement vers l'extérieur. -S'agripper sous un élément structural rigide. <p>Question 3: Après la première secousse qu'allez-vous faire ? (4 points) :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Allumer la télévision et voir les informations. <p>-Allez chez les voisins et se rendre visite et les aider.</p> <p>-Se dégager vers l'extérieur, et attend les autres en dessous de bâtiment.</p> <p>-Se dégager aux endroits libres et attendre que les répliques passent</p> <p>Question 4 : que devriez-vous faire après les secousses ? (4 points) :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Rester et attendre. -Retourner à la maison. -Appeler et signaler les urgences. <p>Question 5 : qui sont les actions à suivre ? (2 points) :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Fuir et utiliser l'ascenseur. -Utiliser les panneaux d'aide à sortir. <p>Se prendre les couloirs sans savoir où se mènent.</p> <p>-Se calmer et maîtriser les choses à faire.</p>	/

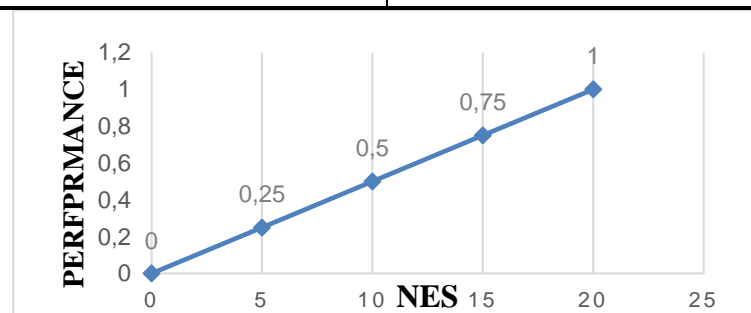


Tableau II.15. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)

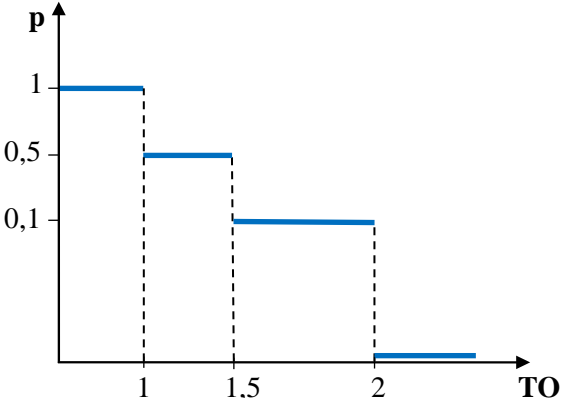
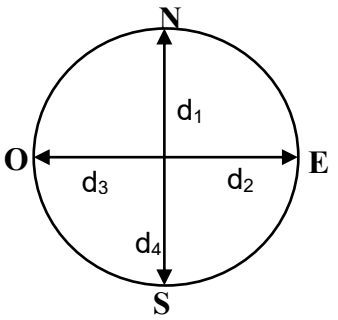
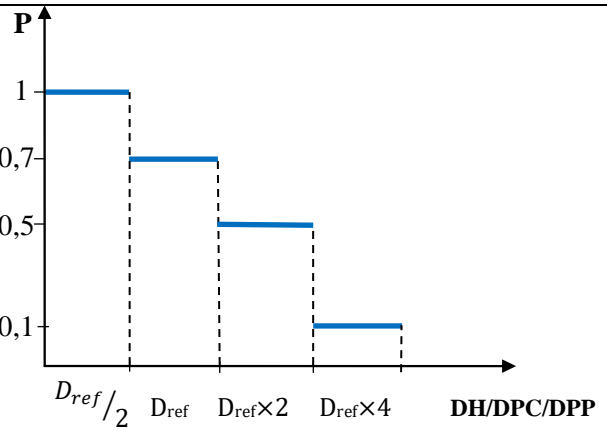
Critère	IPs	Méthode de calcul	Référence	Echelle	Référence
Qualité de vie (Qualvie)	TO	$= \frac{\sum_1^n \text{Nombre réel des occupants}}{\sum_1^n \text{Nombre théorie des occupants}}$	(Armaş, 2012)	 <p> $F_2 \approx 35 \pm 5m^2 \rightarrow 3$ personnes $F_4 \approx 65 \pm 5m^2 \rightarrow 7$ personnes $F_3 \approx 45 \pm 5m^2 \rightarrow 5$ personnes $F_5 \approx 75 \pm 5m^2 \rightarrow 9$ personnes </p>	
Secourisme (Secrsm)	DH DPC DPP	<p>Mesure de la distance sur Google Maps</p>  <ul style="list-style-type: none"> Pour une zone Urbaine : Vitesse = 40 Km/h et Temps = 15 minutes $D_{ref} = (d1+d2+d3+d4) / 4 = 8$ km Pour une zone Rural : Vitesse = 60 Km/h et Temps = 25 minutes $D_{ref} = (d1+d2+d3+d4) = 13$ Km/h 	/		/

Tableau II.16. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (suite)

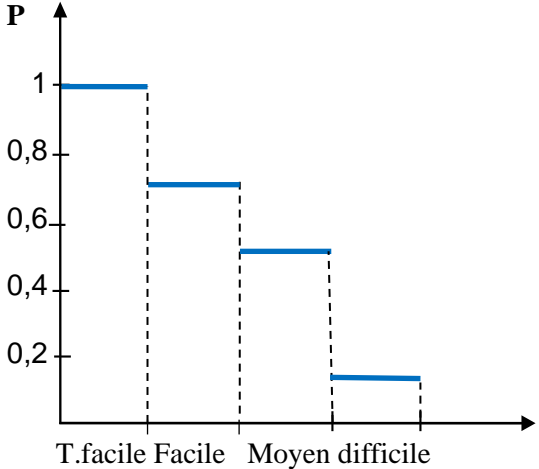
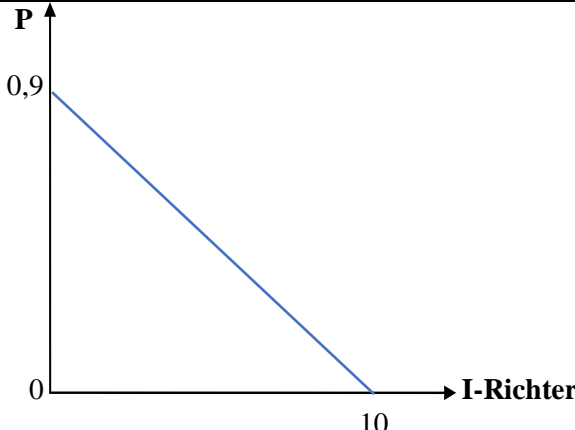
Critère	IPs	Méthode de calcul	Référence	Echelle	Référence																							
Accessibilité (Accblt)	ACB	/	/		/																							
	ZL	/	/	<table><tr><td>Zone</td><td>Largement suffisante</td><td>Moyen suffis</td><td>Pas d'espace</td></tr><tr><td>Perf</td><td>1</td><td>0.5</td><td>0</td></tr></table>	Zone	Largement suffisante	Moyen suffis	Pas d'espace	Perf	1	0.5	0																
Zone	Largement suffisante	Moyen suffis	Pas d'espace																									
Perf	1	0.5	0																									
Vulnérabilité environnementale (VulnEnv)	ZS	Le zonage sismique est déterminé à partir de la réglementation parasismique algérienne.	(CGS, 2003)	<table><tr><td>Zone</td><td>0</td><td>I</td><td colspan="2">II</td><td rowspan="2">III</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>IIa</td><td>IIb</td></tr><tr><td>Sismicité</td><td>Négligeable</td><td>Faible</td><td>Moyenne</td><td>Forte</td><td>T. Forte</td></tr><tr><td>Perf</td><td>1</td><td>0.8</td><td>0.6</td><td>0.4</td><td>0.1</td></tr></table>	Zone	0	I	II		III				IIa	IIb	Sismicité	Négligeable	Faible	Moyenne	Forte	T. Forte	Perf	1	0.8	0.6	0.4	0.1	
	Zone	0	I	II		III																						
			IIa	IIb																								
Sismicité	Négligeable	Faible	Moyenne	Forte	T. Forte																							
Perf	1	0.8	0.6	0.4	0.1																							
EM	Mesure de la distance sur Google Earth.	/	<table><tr><td>Distance</td><td>0-5 km</td><td>> 5 km</td></tr><tr><td>Perf</td><td>0.1</td><td>1</td></tr></table>	Distance	0-5 km	> 5 km	Perf	0.1	1	/																		
Distance	0-5 km	> 5 km																										
Perf	0.1	1																										

Tableau II.17. Méthodes de calcul et les échelles des IPs (*suite*)

Critère	IPs	Méthode de calcul	Référence	Echelle	Référence									
Vulnérabilité environnementale (VulnEnv)	Amoy	Calcul à partir des données statistiques disponible sur le site du CRAAG dans la zone d'étude.	/		/									
	CCU	Nouveau code (RPA 99 v.2003) ou ancien code (RPA 99, 88, 83 et 81 et AS 55).	/	<table><tr><td>Réglem</td><td>RPA99V2 003</td><td>RPA 99</td><td>RPA 88</td><td>RPA 83.81 et AS 55</td></tr><tr><td>Perf</td><td>1</td><td>0.7</td><td>0.4</td><td>0.1</td></tr></table>	Réglem	RPA99V2 003	RPA 99	RPA 88	RPA 83.81 et AS 55	Perf	1	0.7	0.4	0.1
Réglem	RPA99V2 003	RPA 99	RPA 88	RPA 83.81 et AS 55										
Perf	1	0.7	0.4	0.1										

II.2.4 Approche « Bottom-up » Agrégation multicritère

II.2.4.1 Description du processus d'agrégation adopté

Dans l'approche ascendante, l'utilisation de méthodes d'agrégation permet de mesurer un score global pour toutes les performances du bâtiment en se référant aux valeurs obtenues des IPs. Dans le cas présent, cette approche s'appuie sur une agrégation multicritère et évalue les résultats en utilisant la méthode de la somme pondérée (MSP). Les IPs sélectionnés ont été évalués en se basant sur la méthode AHP.

II.2.4.2 Méthode de la somme pondérée (MSP)

Parmi les techniques susmentionnées, c'est la méthode la plus utilisée ([Ben Mena, 2000](#) ; [Pohekar & Ramachandran, 2004](#)). Selon [Janssen, 2001](#), la méthode d'agrégation la plus couramment employée dans les études de décision est la somme pondérée. La méthode de la somme pondérée est utilisée pour sa clarté et sa simplicité. En effet, cette approche est relativement simple : la note globale est calculée comme la pondération moyenne des scores standardisés ([Janssen, 2001](#)).

Chaque indicateur IP recevra une note de performance de la MSP, qui sera multipliée par un coefficient de pondération w_i . La somme sur n indicateurs donne un résultat de performance agrégé et exprimé dans une note globale (formule suivante) :

$$PC_j = \sum PI_{ji} \times W_i$$

Avec:

- PC_j : la performance pour le critère C_j ;
- PI_{ji} : la performance pour l'indicateur I_i du critère C_j ;
- W_i : coefficient de pondération de l'indicateur I_i du critère C_j .

Pour donner les coefficients de pondération (w_i), nous ferons appel à la méthode AHP (Analytic Hierarchic Process). Entre 2000 et 2014, la méthode AHP est la plus couramment employée pour résoudre les problèmes de décision. Par conséquent, nous suggérons de faire le calcul des poids des critères en utilisant la méthode AHP, puis de les agréger en utilisant une somme pondérée.

II.2.4.3 : Méthode AHP

A. Présentation de la méthode

Il y a seulement 40 ans, [Saaty \(1977\)](#) a suggéré le modèle AHP, une méthode relativement simple dans son principe et dans sa mise en pratique, ce qui explique peut-être le nombre considérable de publications scientifiques qu'elle a engendrées. La méthode AHP est la méthode la plus répandue pour résoudre des problèmes, car elle aide le décideur à formuler son problème de manière méthodique, et surtout parce qu'elle offre une méthode d'évaluation des paramètres d'importance. Les motivations de sa popularité (les atouts de la méthode) sont les suivantes :

- Unités de mesures : qualitatives et quantitatives.

- Structure hiérarchique : trie des éléments d'un système à différents niveaux.
- Interdépendance : permet de prendre en compte la relation entre les différents éléments d'un système.
- Consistance : permet de garder une consistance logique des jugements utilisés pour déterminer les priorités.
- Synthèse : permet d'obtenir une appréciation générale de la désirabilité de chaque alternative.
- Identification des priorités : permet de prendre en compte la priorité relative de chaque critère afin d'obtenir la meilleure option en fonction des objectifs identifiés.
- Unicité : sa flexibilité lui permet d'être utilisé dans une variété de problèmes non organisés.

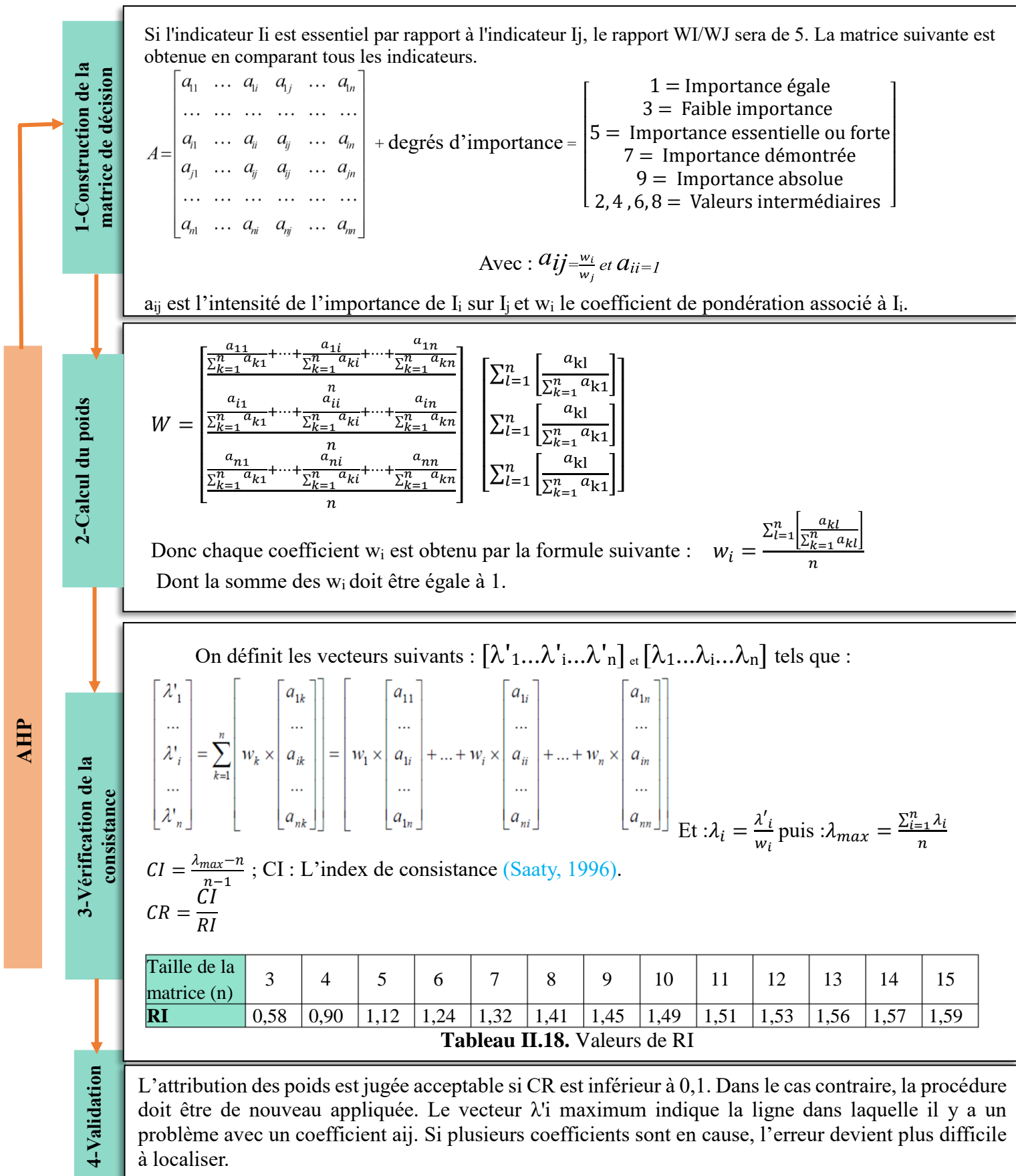
B. Etapes de la procédure AHP

Selon [Cherqui \(2005\)](#), cette méthode se divise en quatre étapes :

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

La figure ci-dessous résume le processus de calcul par la méthode AHP.

Figure II.2. Processus de calcul par la méthode AHP



II.3 Programmation de la méthode Vulbat-AL

II.3.1 Visual basic

Visual Basic est considéré comme le langage de programmation événementielle de troisième génération. Il a été lancé en 1987. Premier outil de développement visuel de Microsoft, il est considéré comme l'un des langages de programmation les plus puissants. Comparé à d'autres langages de programmation informatique, tels que C et C++, il est facile à apprendre et à comprendre, à condition de faire preuve de détermination et de dévouement.

Le langage de programmation Visual Basic permet aux programmeurs de créer des interfaces et des codes logiciels dans un environnement graphique facile à utiliser. VB est la combinaison de différents composants qui sont utilisés sur des formulaires ayant des attributs spécifiques et des actions à l'aide de ces composants. D'une part, il permet aux programmeurs de développer rapidement des applications basées sur Windows ; d'autre part, il facilite grandement l'accès aux bases de données en utilisant ADO, tout en permettant aux programmeurs d'utiliser des contrôles ActiveX et divers objets. Bien qu'il soit davantage destiné au développement d'applications, il est également utile pour le développement de jeux à des fins particulières ou limitées, contrairement au C++ qui convient mieux au développement de jeux (Siddiqui, 2015).

II.3.2 Présentation de programme

Dans le but de déterminer la vulnérabilité sismique et de diminuer les erreurs, nous avons développé une application de calcul sous Visual Basic :

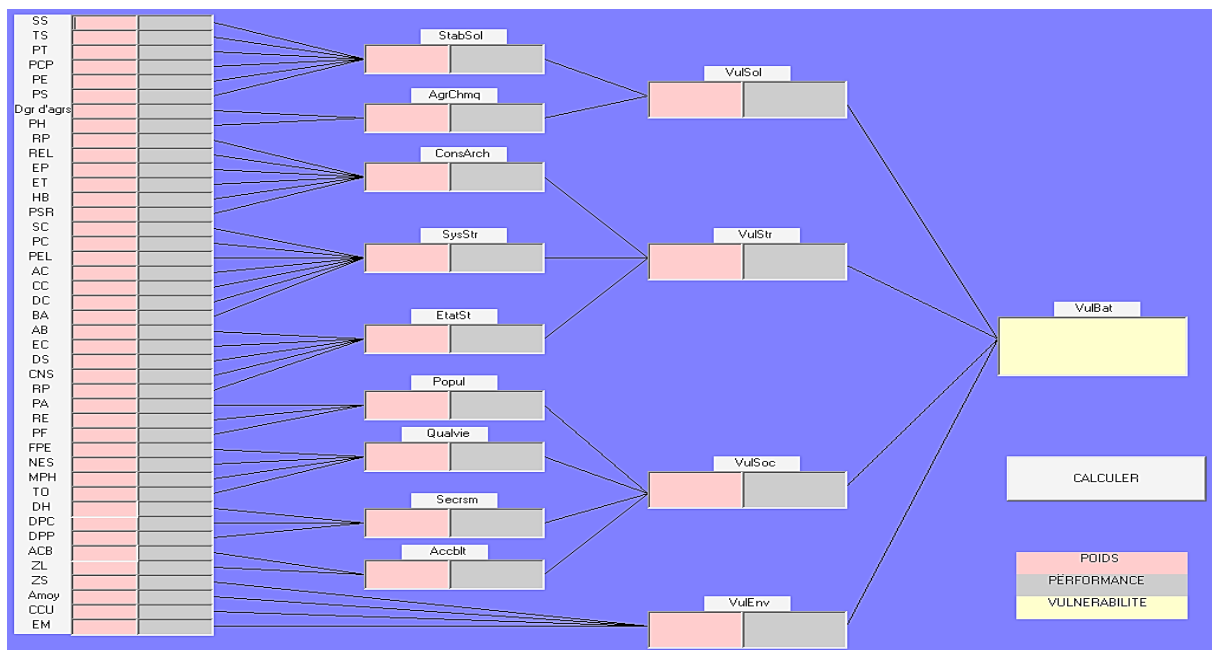


Figure II.3. Interface du programme

II.4 Présentation de la méthode Risk-UE

Plusieurs équipes européennes, et notamment 7 villes d'Europe de l'Est et de l'Ouest : Nice (France), Barcelone (Espagne), Catania (Italie), Sofia (Bulgarie), Bucarest (Roumanie), Thessalonique (Grèce) et Bitola (Macédoine) ont mis en commun leur connaissance du phénomène sismique et de ses effets sur les bâtiments et les populations, dans le but de soumettre le projet RISK-UE qui a débuté en janvier 2001 et a duré 3 ans. L'objectif principal est d'évaluer avec précision les dommages directs et indirects causés par le séisme et ses conséquences, d'accroître la sensibilisation dans sept villes et de mettre en œuvre les plans d'action nécessaires pour réduire efficacement le risque de séisme. (Milutinovic et Trendafiloski, 2003).

Les classes de performance de la méthodologie Risk-UE sont des fonctions d'appartenances floues (Figure II.4) :

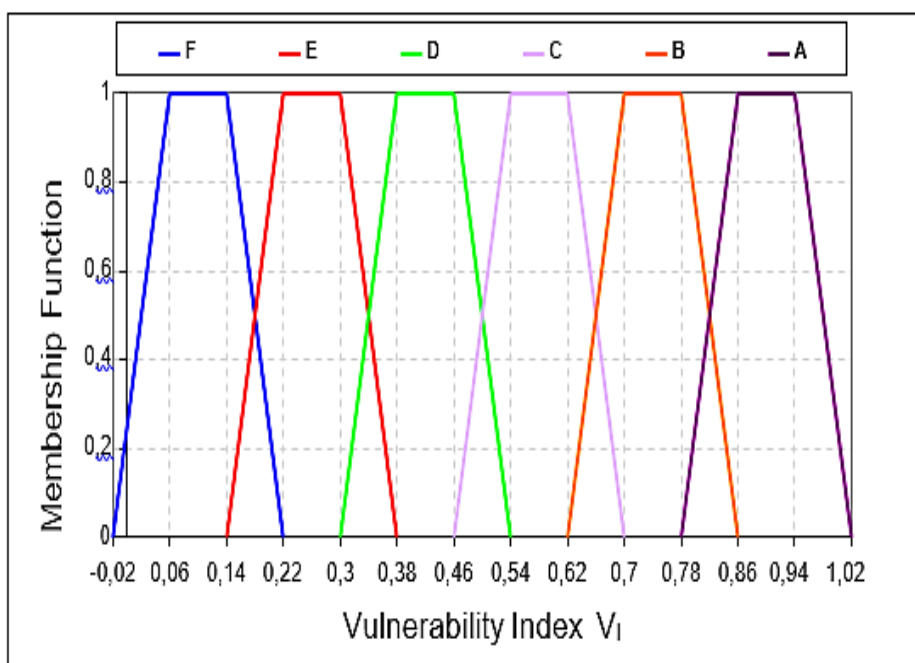


Figure II.4. Fonctions d'appartenance floues de la méthode Risk-UE

Nous proposons de convertir ces fonctions floues en fonctions binaires pour pouvoir comparer nos résultats à ceux de notre méthode :

Tableau II.19. Fonctions d'appartenance binaires

Classe	Très bon	Bon	Moyen	Mauvais	T. Mauvais	Médiocre
VI	0 - 0.18	0.19 - 0.34	0.35 - 0.50	0.51 - 0.66	0.67 - 0.82	+0.83

II.4.1 Calcul de l'indice de vulnérabilité (VI) par la méthode Risk-UE

La valeur totale de l'indice de vulnérabilité est calculée comme suit :

$$\overline{VI} = V_I^* + \Delta V_R + \Delta V_m$$

Avec : V_I^* : La valeur la plus probable de l'indice de vulnérabilité qui est donné par le tableau ci-dessous :

Tableau II.20. Valeurs de V_I^* (Milutinovic & Trendafiloski, 2003)

Typologie	Description	V_I^*
M1.1	Moellons	0.873
M1.2	Pierres appareillées	0.74
M1.3	Pierre de taille	0.616
M2	Adobe	0.84
M3.1	Plancher en bois	0.74
M3.2	Voûtes en maçonnerie	0.776
M3.3	Planchers avec poutrelles métalliques et maçonnerie	0.704
M3.4	Plancher en béton armé	0.616
M4	Murs porteurs en maçonnerie armée ou confinée	0.451
M5	Construction en maçonnerie renforcé dans leur ensemble	0.694
RC1	Système Poteaux/poutres	0.442
RC2	Murs de refend en béton	0.386
RC3.1	Structure régulière avec remplissage	0.402
RC3.2	Portique irréguliers	0.522
RC4	Structure mixte en BA (portique et voile en BA)	0.386
RC5	Murs en béton préfabriqué	0.384
RC6	Structure en béton préfabriqué avec murs de refend en béton .	0.544
S1	Système poteaux/poutres en acier	0.363
S2	Structure en acier contreventée	0.287
S3	Système poteaux/poutres en acier avec mur de remplissage en maçonnerie non armée	0.484
S4	Système poteaux/poutres en acier avec mur de refend en béton coulés en place	0.224
S5	Système composite acier et BA	0.402
W	Structures en bois	0.447

ΔV_m : Modificateur de comportement avec : $\Delta V_m = \sum V_m$

V_m : Scores pour les facteurs de vulnérabilité : bâtiments en maçonnerie donnés comme suit :

Tableau II.21. Scores pour les facteurs de vulnérabilité V_m : bâtiments en maçonnerie

(Milutinovic & Trendafiloski, 2003)

Facteurs de vulnérabilité	Paramètres	
État de conservation	Bon entretien	- 0,04
	Mauvais entretien	+ 0,04
Nombre d'étages	Faible (1 ou 2)	- 0,02
	Moyen (3, 4 ou 5)	+ 0,02
	Élevé (6 ou plus)	+ 0,06
Système structurel	Epaisseur du mur	- 0,04 ÷ +0,04
	Distance entre les murs	
	Connexion entre les murs (Tirants, équerre)	
	Liaison structures horizontales des murs	
Etage souple	Démolition/Transparence	+ 0,04
Régularité en plan	...	+ 0,04
Régularité en élévation	...	+ 0,02
Plancher superposés		+ 0,04
Toit	Poids du toit + poussée du toit	+ 0,04
	Connexions de toit	
Interventions de rénovation		- 0,08 ÷ +0,08
Dispositifs asismiques	Barbacane, Arcs en aluminium, Contreforts	
Bâtiment agrégat : position	Milieu	- 0,04
	Coin	+ 0,04
	Entête	+ 0,06
Bâtiment agrégat : élévation	Étages décalés	+ 0,02
	Bâtiments de différentes hauteurs	- 0,04 ÷ +0,04
Fondation	Fondation à différents niveaux	+ 0,04
Morphologie du sol	Pente	+ 0,02
	Falaise	+ 0,04

Lorsqu'un groupe de bâtiments est considéré comme faisant partie d'une certaine typologie, on ajoute la contribution de chaque facteur en fonction du ratio de bâtiments dans l'ensemble :

$$\Delta V_m = \sum r_k V_{m,k}$$

Où r_k est le rapport des bâtiments caractérisés par le facteur modificateur k , de score V_m, k .

Tableau II.22. Scores pour les facteurs de vulnérabilité V_m : Bâtiments en BA (Milutinovic & Trendafiloski, 2003)

Facteurs de vulnérabilité		Code faible	Code moyen	Code élevé
Niveau de code		+ 0,16	0	- 0,16
Mauvais entretien		+ 0,04	+ 0,02	0
Nombre d'étages	Faible (1 ou 2)	- 0,04	- 0,04	- 0,04
	Moyen (3, 4 ou 5)	0	0	0
	Élevé (6 ou plus)	+ 0,08	+ 0,06	+ 0,04
Irrégularité en plan	Retrait	+ 0,04	+ 0,02	0
	Saillie	+ 0,02	+ 0,01	0
Irrégularité en élévation		+ 0,04	+ 0,02	0
Poteau courte		+ 0,02	+ 0,01	0
Fenêtres en arc		+ 0,04	+ 0,02	0
Bâtiments agrégés (joint sismique insuffisant)		+ 0,04	0	0
Fondation	Poutres	- 0,04	0	0
	Poutres connectées	0	0	0
	Semelle isolée	+ 0,04	0	0
Morphologie du sol	Pente	+ 0,02	+ 0,02	+ 0,02
	Falaise	+ 0,04	+ 0,04	+ 0,04

ΔV_R : facteur de vulnérabilité régional. On l'ignore, car il est tenu en compte dans le calcul parasismique de la région.

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre, d'abord, nous avons examiné les différentes étapes de la méthodologie Vulbat-AL utilisée pour évaluer la vulnérabilité sismique des bâtiments d'habitation, en utilisant une approche construite à partir de deux approches parallèles :

- Dans la première méthode appelée « Top-down », nous avons établi les divers paramètres requis pour l'évaluation (objectifs, critères et IPs). Nous avons établi une méthode de calcul et une échelle de performance pour chaque IP.
- Puis, dans la deuxième méthode appelée « Bottom-up », nous avons établi le processus d'agrégation utilisé, où nous avons choisi la méthode de la somme pondérée par la méthode AHP pour évaluer les performances des niveaux supérieurs de notre méthodologie.

Ensuite, nous avons présenté la méthode Risk-UE et transformé les valeurs floues de la classe de performance en performances binaires, puis les avons organisées dans un tableau permettant de classer l'indice de vulnérabilité totale des bâtiments.



Chapitre 03

Confrontation des méthodes Vulbat-AI et Risk-UE.
Etude de cas réels et validation des résultats

III.1 Introduction

Dans cette étude comparative, nous allons appliquer la méthode Vulbat-AI et Risk-UE sur un cas de bâtiment d'habitation dans le but de valider les résultats.

En effet, nous mettons en évidence dans ce chapitre la méthodologie développée à travers sa confrontation avec la méthode Risk-UE en examinant un cas concret de bâtiments d'habitation. Nous avons choisi, en fonction de la disponibilité des résultats, une cité composée de neuf bâtiments (blocs) dans la commune de Taghzout (wilaya de Bouira).

Dans un premier temps, nous commencerons par exposer ce cas d'étude. Par la suite, en utilisant les techniques de calcul et les échelles de performance présentées dans le deuxième chapitre, nous effectuerons le calcul et l'évaluation des performances de chaque IP. Enfin, nous conclurons en regroupant les résultats la vulnérabilité de notre cas d'étude avec les deux méthodes.

III.2 Présentation du cas d'étude

Le lieu sélectionné pour mener cette étude est : la cité de 90 logements située à Taghezout, wilaya de Bouira. Les détails de ce site sont présentés dans les figures et les tableaux ci-dessous.



Figure III.1. Localisation géographique du notre cas d'étude (Source : Google Earth)



Figure III.2. Photos prises sur le site de notre cas d'étude

III.2.1 Informations techniques sur les bâtiments

Dans cette section, nous exposons les informations relatives aux bâtiments d'habitation nécessaires à notre étude.

A. Caractéristiques structurelles

Tableau III.1. Caractéristiques structurelles du bâtiment

Bâtiment	
Présentation	RDC+ 5 étages contreventé par un système portiques auto-stables
Implantation	Taghzout (wilaya de Bouira), zone de moyenne sismicité IIa
Caractéristiques structurels	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ossature : l'ouvrage est de 6 niveaux → contreventement portique auto stable. ➤ Plancher : 16+4 (cm) ➤ Les escaliers : un seul type ➤ Maçonnerie : murs extérieurs en double cloison + lame d'air de 5 cm, et les murs intérieurs en simple cloison. ➤ Fondation : Les semelles sont de type isolé.

B. Pièces graphiques (plans)

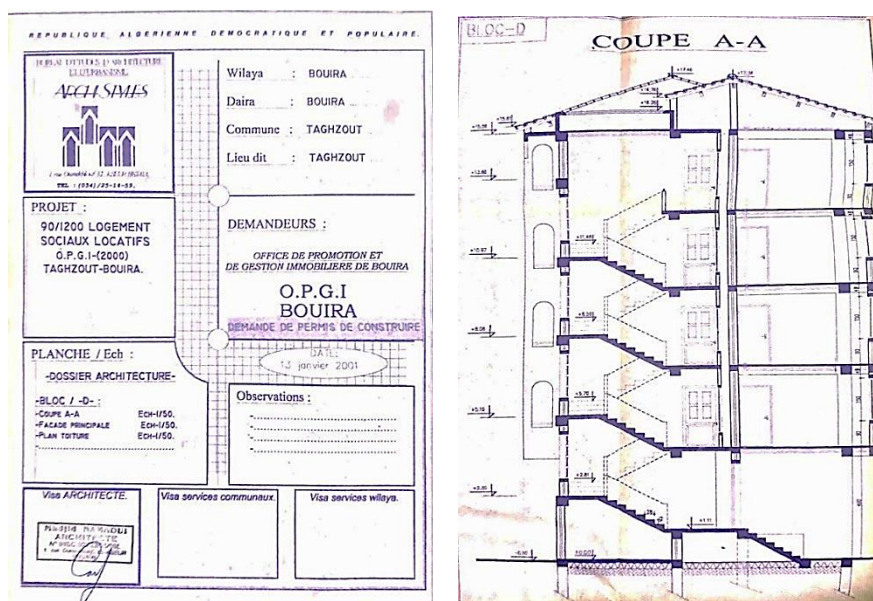


Figure III.3. Plan de coupe A-A des cas d'études

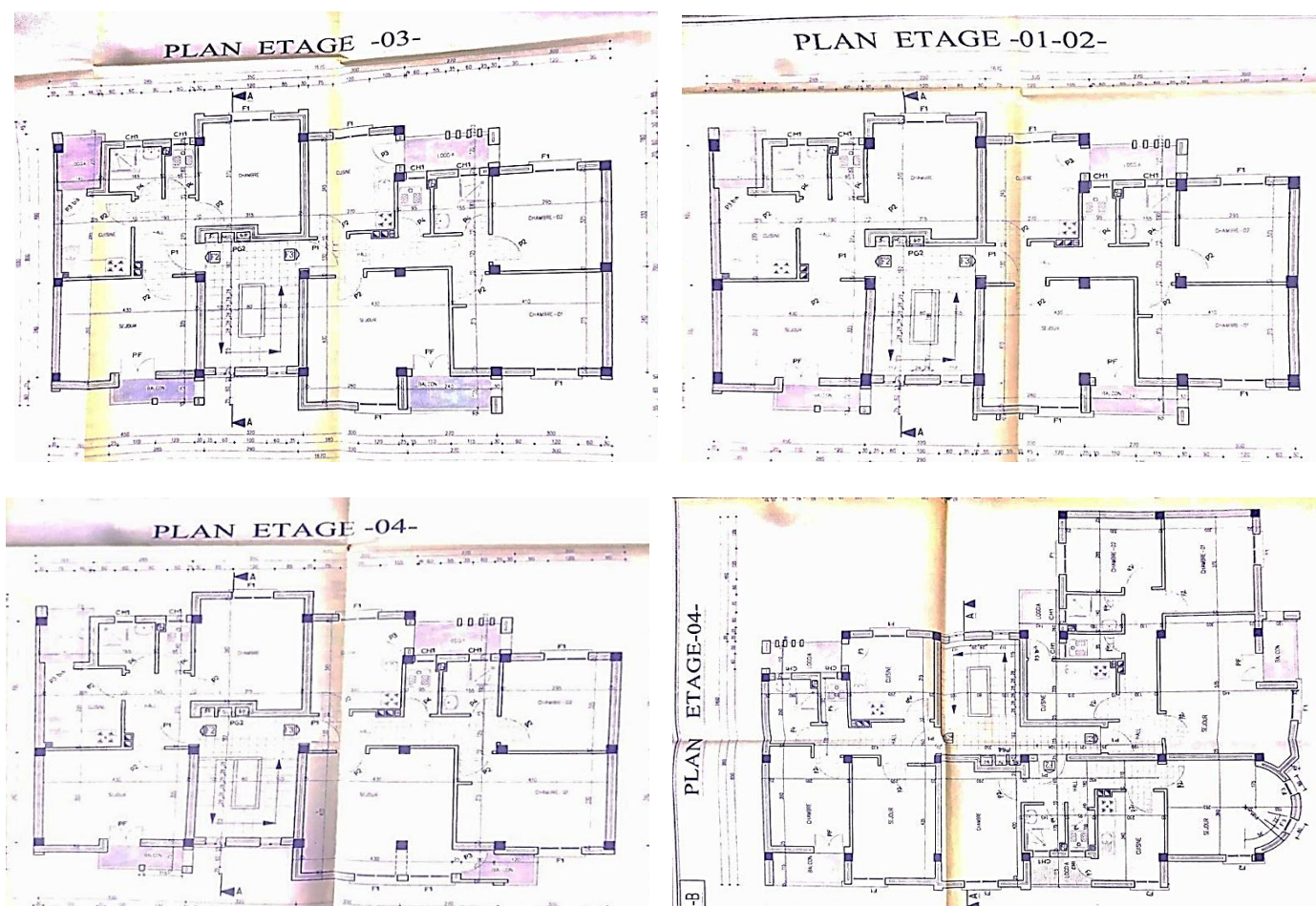


Figure III.4. Plan des cas d'études (étage 4 de droite : Blocs 02 & 07)

C. Données statistiques sociales

Tableau III.2. Données statistiques sociales collectées – Cas d'étude n°01

Cas d'étude n°01								
Etages	Log	occupant	homme	femme	F.plus5 enfants	Enfant <14ans	Age >65ans	malade
1	F2	0	0	0	0	0	0	0
	F3	5	2	3	0	0	0	0
2	F2	2	1	1	0	0	0	0
	F3	10	2	5	1	2	1	1
3	F2	4	2	1	0	1	0	0
	F3	4	1	1	0	2	0	0
4	F2	7	2	3	1	2	0	0
	F3	6	3	0	0	1	2	0
5	F2	0	0	0	0	0	0	0
	F3	5	1	2	0	0	2	1
Totale		43	14	16	2	8	5	2

Tableau III.3. Données statistiques sociales collectées – Cas d'étude n°02

Cas d'étude n°02								
Etages	Log	occupant	homme	femme	F.plus5 enfants	Enfant <14ans	Age >65ans	malade
1	F3	3	1	1	0	0	1	1
	F2	3	0	1	0	0	2	2
	F2	5	1	1	0	2	1	1
2	F3	3	1	1	0	1	0	0
	F2	4	1	1	0	2	0	0
	F2	4	3	1	0	0	0	0
3	F3	2	0	1	0	0	1	1
	F2	4	2	1	0	1	0	0
	F2	4	2	0	0	0	2	1
4	F3	4	1	2	0	0	1	1
	F2	5	2	2	0	0	1	1
	F2	3	1	0	0	0	2	1
5	F3	6	4	2	0	0	0	0
	F2	4	1	1	0	2	0	0
	F2	4	2	2	0	0	0	0
Totale		58	22	17	0	8	11	9

Tableau III.4. Données statistiques sociales collectées – Cas d'étude n°03

Cas d'étude n°03								
Etages	Log	occupant	homme	femme	F. plus 5 enfants	Enfant <14ans	Age >65ans	malade
1	F2	5	4	1	0	0	0	0
	F3	7	2	3	0	0	2	0
2	F2	4	3	1	0	0	0	0
	F3	3	1	1	0	1	0	0
3	F2	6	4	1	0	1	0	0
	F3	7	5	0	1	0	2	2

Tableau III.5. Données statistiques sociales collectées – Cas d'étude n°03 (Suite)

Cas d'étude n°03								
Etages	Log	occupant	homme	femme	F. plus 5 enfants	Enfant <14ans	Age >65ans	malade
4	F2	1	0	0	0	0	1	1
	F3	0	0	0	0	0	0	0
5	F2	4	1	2	0	1	0	0
	F3	4	1	1	0	2	0	0
Totale		41	21	10	1	5	5	3

Tableau III.6. Données statistiques sociales collectées – Cas d'étude n°04

Cas d'étude n°04								
Etages	Log	occupant	homme	femme	F. plus 5 enfants	Enfant <14ans	Age >65ans	malade
1	F2	5	1	1	0	3	0	0
	F3	4	1	1	0	2	0	0
2	F2	4	2	2	0	0	0	0
	F3	5	1	1	0	3	0	0
3	F2	5	2	2	0	1	0	1
	F3	5	1	1	0	3	0	0
4	F2	4	2	2	0	0	0	1
	F3	4	1	1	0	0	2	1
5	F2	3	1	1	0	1	0	0
	F3	4	1	2	0	1	0	1
Totale		43	13	14	0	14	2	4

Tableau III.7. Données statistiques sociales collectées – Cas d'étude n°05

Cas d'étude n°05								
Etages	Log	occupant	homme	femme	F. plus 5 enfants	Enfant <14ans	Age >65ans	malade
1	F2	2	1	1	0	0	0	0
	F3	3	1	1	0	1	0	0
2	F2	0	0	0	0	0	0	0
	F3	4	1	1	0	2	0	1
3	F2	5	3	1	0	1	0	0
	F3	6	3	1	0	0	2	2
4	F2	6	3	1	0	1	1	0
	F3	3	1	1	0	1	0	0
5	F2	2	1	1	0	0	0	1
	F3	5	2	1	0	0	2	1
totale		36	16	9	0	6	5	5

Tableau III.8. Données statistiques sociales collectées – Cas d'étude n°06

Cas d'étude n°06								
Etages	Log	occupant	homme	femme	F. plus 5 enfants	Enfant <14ans	Age >65ans	malade
1	F2	2	1	1	0	0	0	0
	F3	4	2	1	0	0	1	1

Tableau III.9. Données statistiques sociales collectées – Cas d'étude n°06 (Suite)

Cas d'étude n°06								
Etages	Log	occupant	homme	femme	F. plus 5 enfants	Enfant <14ans	Age >65ans	malade
2	F2	7	3	1	1	3	0	0
	F3	7	1	3	1	3	0	0
3	F2	2	1	1	0	0	0	0
	F3	7	3	3	1	1	0	0
4	F2	5	1	3	0	1	0	0
	F3	7	2	5	1	0	0	0
5	F2	4	1	2	0	0	1	0
	F3	5	1	1	0	3	0	0
totale		50	16	21	4	11	2	1

Tableau III.10. Données statistiques sociales collectées – Cas d'étude n°07

Cas d'étude n°07								
Etages	Log	occupant	homme	femme	F. plus 5 enfants	Enfant <14ans	Age >65ans	malade
1	F2	0	0	0	0	0	0	0
	F3	6	2	2	0	2	0	0
	F3	2	0	1	0	0	1	1
2	F2	0	0	0	0	0	0	0
	F3	2	1	1	0	0	0	0
	F3	5	1	2	0	2	0	0
3	F2	0	0	0	0	0	0	0
	F3	2	1	1	0	0	0	0
4	F2	0	0	0	0	0	0	0
	F3	4	1	1	0	0	2	1
	F3	2	1	1	0	0	0	0
5	F2	5	2	1	0	2	0	0
	F3	5	3	2	0	0	0	0
	F3	2	1	1	0	0	0	0
totale		39	14	14	0	8	3	2

Tableau III.11. Données statistiques sociales collectées – Cas d'étude n°08

Cas d'étude n°08								
Etages	Log	occupant	homme	femme	F. plus 5 enfants	Enfant <14ans	Age >65ans	malade
1	F2	5	1	1	0	3	0	0
	F3	1	1	0	0	0	0	1
2	F2	3	1	1	0	1	0	0
	F3	4	1	1	0	2	0	0
3	F2	3	1	1	0	1	0	0
	F3	6	2	3	1	0	1	3
4	F2	7	3	3	1	1	0	1
	F3	3	2	1	0	0	0	0
5	F2	0	0	0	0	0	0	0
	F3	1	0	0	0	0	1	1
totale		33	12	11	2	8	2	6

D. Rapport de sol

VII - CONCLUSION

Le projet de 90 logements sociaux de Taghzout est implanté sur un terrain présentant une déclivité faible, cependant, il est stable, et aucun risque particulier n'est à craindre.

Les sols sont constitués par des couches d'argile graveleuse renfermant des débris marneux ou schisteux consolidés, en alternance avec des grèves argileuses, contenant parfois des horizons sablo-graveleux.

Compte tenu de la lithologie des sols, et de leurs caractéristiques géotechniques, nous proposons de classer le site à la catégorie S3

Nous préconisons de retenir une contrainte admissible de 1,5 bars pour l'ensemble du terrain.

Les semelles seront du type isolées et ancrées à 2 mètres de profondeur. les tassements induits seront admissibles (< à 5 cm).

Le sol support étant plastique, il est recommandé de couler le béton de fondations immédiatement après l'ouverture des fouilles, en vue d'empêcher l'infiltration des eaux.

Le terrain n'est pas agressif, et ciment ordinaire peut convenir pour la confection du béton de fondation.

Enfin, nous restons à la disposition de notre client pour d'éventuels conseils ou éclaircissements.



Figure III.5. Rapport de sol du site des cas d'études

III.3 Application de la méthodologie Vulbat-Al – Résultats obtenus

Les méthodes de calcul et les échelles de performance nous permettent de calculer et d'évaluer les performances de chaque indicateur (IPs) :

III.3.1. Cas d'étude n°01

Tableau III.12. Calcul et évaluation des performances des IPs – Cas d'étude n°01

Critère	IPs	Valeur de calcul	Performance
Stabilité de sol	SS	Alluvion	
	TS	sol meuble, S3	
	PT	P=0 → plat	
	PCP	Plat	
	PE	D= 188m donc D>100m	
	PS	Pas de soutènement	

Tableau III.13. Calcul et évaluation des performances des IPs – Cas d'étude n°01 (suite)

Critère	IPs	Valeur de calcul	Performance
Agressivité chimique	Dgr d'agr	L'agressivité chimique dans la zone de ville de Bouira est nulle selon les rapports de sol du laboratoire de l'habitation et de la construction	
	PH		

Tableau III.14. Calcul et évaluation des performances des IPs – Cas d'étude n°01 (suite)

Critère	IPs	Valeur de calcul	Performance
Conception architecturale	RP	Bâtiment non régulier	
	REL	Bâtiment régulier	
	EP	Bâtiment élancé	
	ET	Absence de l'étage transparent	
	HB	$H=2.89 \times 4 + 4 + 0.25 = 15.81m$ Zone II $Lim < H < 20$	
	PSR	Mauvaise	
Système structurel	SC	Zone IIa $N=5$; $H=15.81m$	
	PC	Absence du poteau court	
	PEL	Absence du poteau élancé	
	AC	Superposé et verticalement régulier	
	CC	Continuité des éléments et le transmet des charges	
	DC	Absence de forte différence	
	BA	Pas de joint sismique	
Etat de la structure	AB	$2024-2003 = 21$ ans	
	EC	Moyen	
	DS	Non	
	CNS	Oui	
	PR	Oui	
Population résidente	PA	$PA = (5/43) \times 100 = 11.62\%$	
	RE	$RE = (8/43) \times 100 = 18.60\%$	
	PF	$PF = (16/43) \times 100 = 37.21\%$	

Tableau III.15. Calcul et évaluation des performances des IPs – Cas d'étude n°01 (suite)

Critère	IPs	Valeur de calcul	Performance
Qualité de vie	NES	$NES = 338/43 = 12.51$	
	MPH	$MPH = (2/43) \times 100 = 4.65\%$	
	TO	$TO = 43/45 = 0.95$	
	FPE	$FPE = (2/16) \times 100 = 12.5\%$	
Secourisme	DH	Zone urbaine Dref = 8 Km D = 8.9 Km	
	DPC	Zone urbaine Dref = 8 Km D = 8.4 Km	
	DPP	Zone urbaine Dref = 8 Km D = 7.2 Km	
Accessibilité	ACB	Moyenne	
	ZL	Largement suffisante	
VulnEnv	ZS	Bouira zone IIa moyenne sismicité	
	Amoy	D'après le CRAAG	
	CCU	RPA 99	
	EM	D= 55 km donc D > 5 Km	

Les résultats obtenus pour les sept cas d'étude de la cité sont regroupés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau III.16. Calcul et évaluation des performances des IPs – Cas d'étude n°02

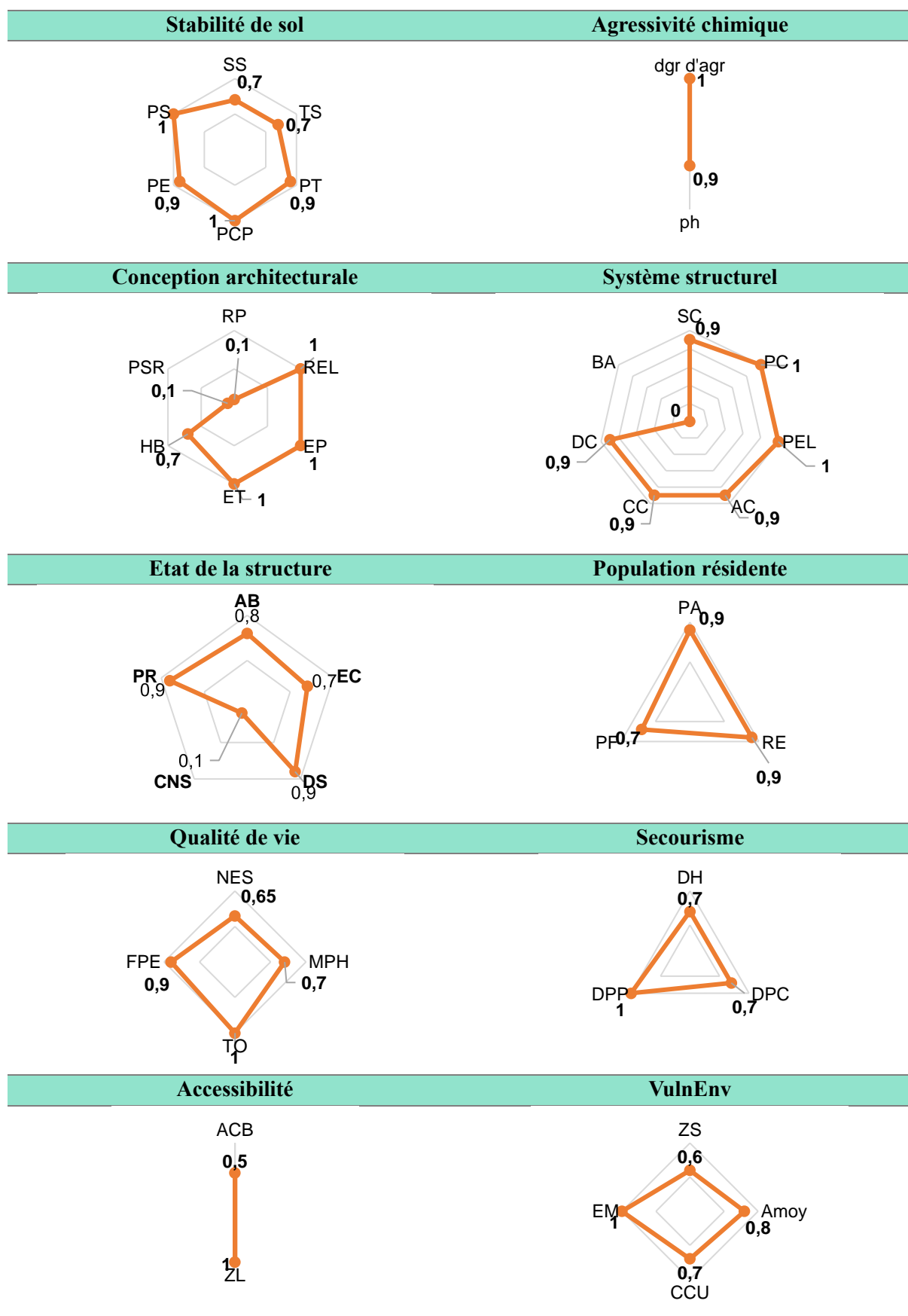


Tableau III.17. Calcul et évaluation des performances des IPs – Cas d'étude n°03

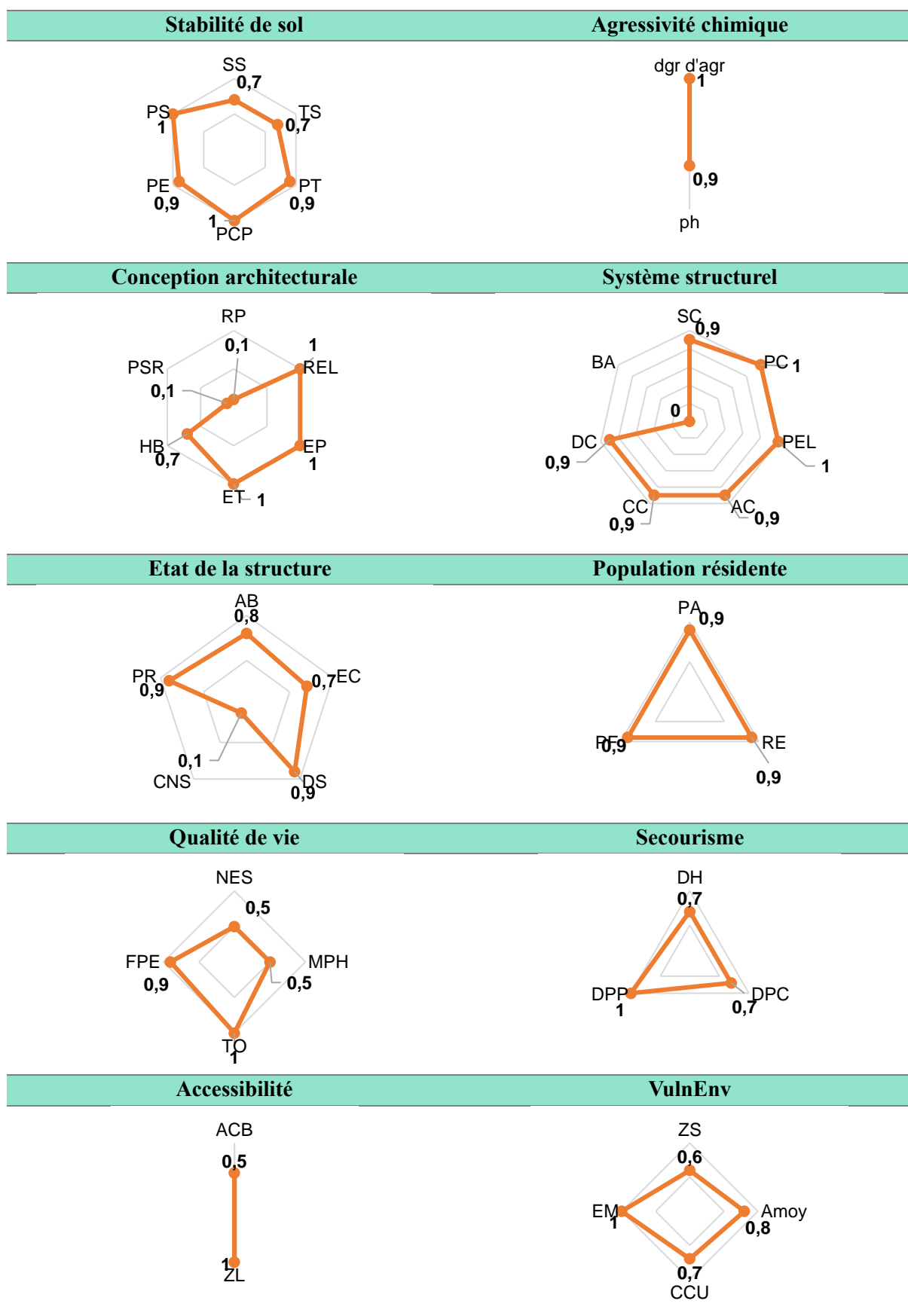


Tableau III.18. Calcul et évaluation des performances des IPs – Cas d'étude n°04

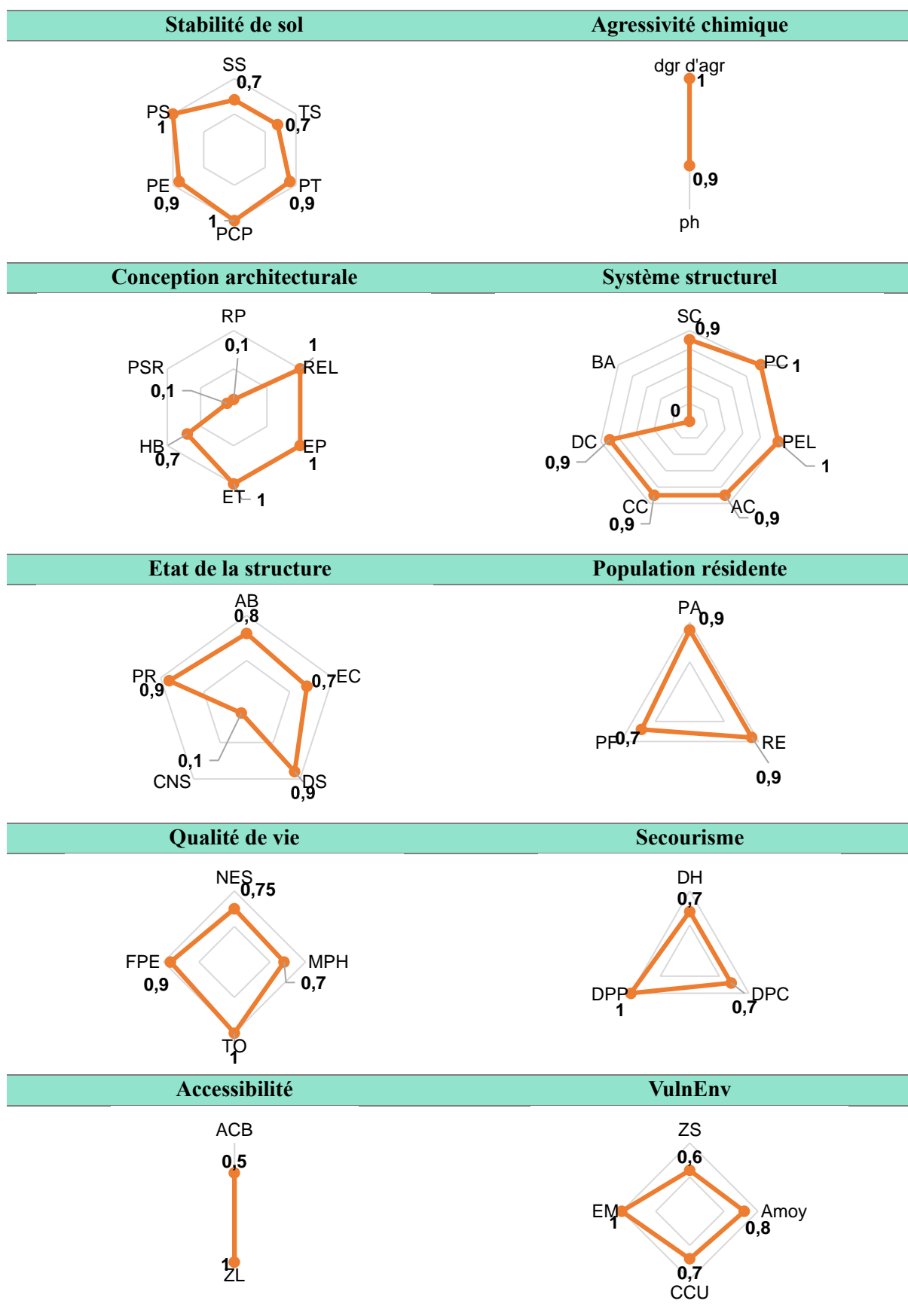


Tableau III.19. Calcul et évaluation des performances des IPs – Cas d'étude n°05

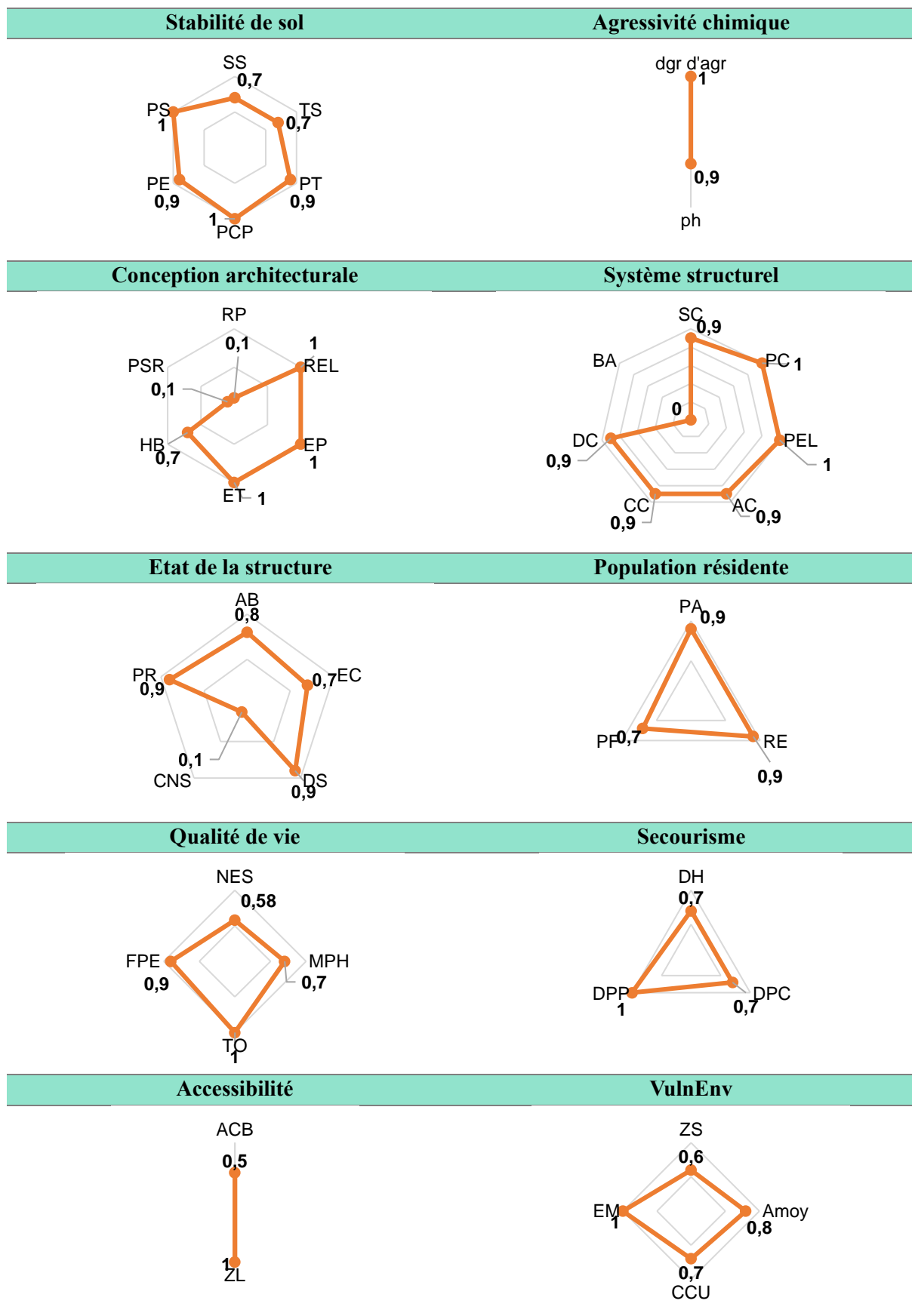


Tableau III.20. Calcul et évaluation des performances des IPs – Cas d'étude n°06

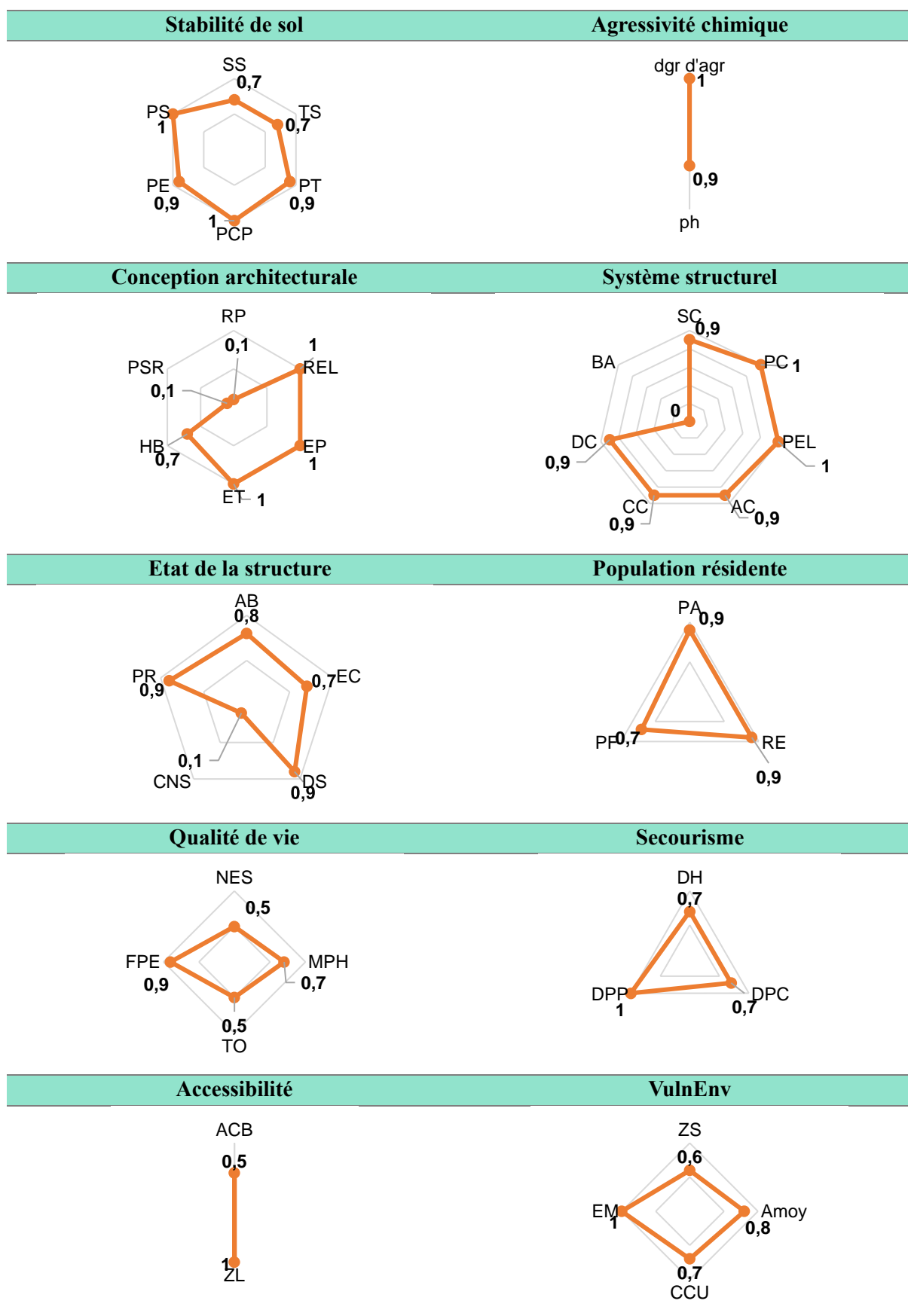


Tableau III.21. Calcul et évaluation des performances des IPs – Cas d'étude n°07

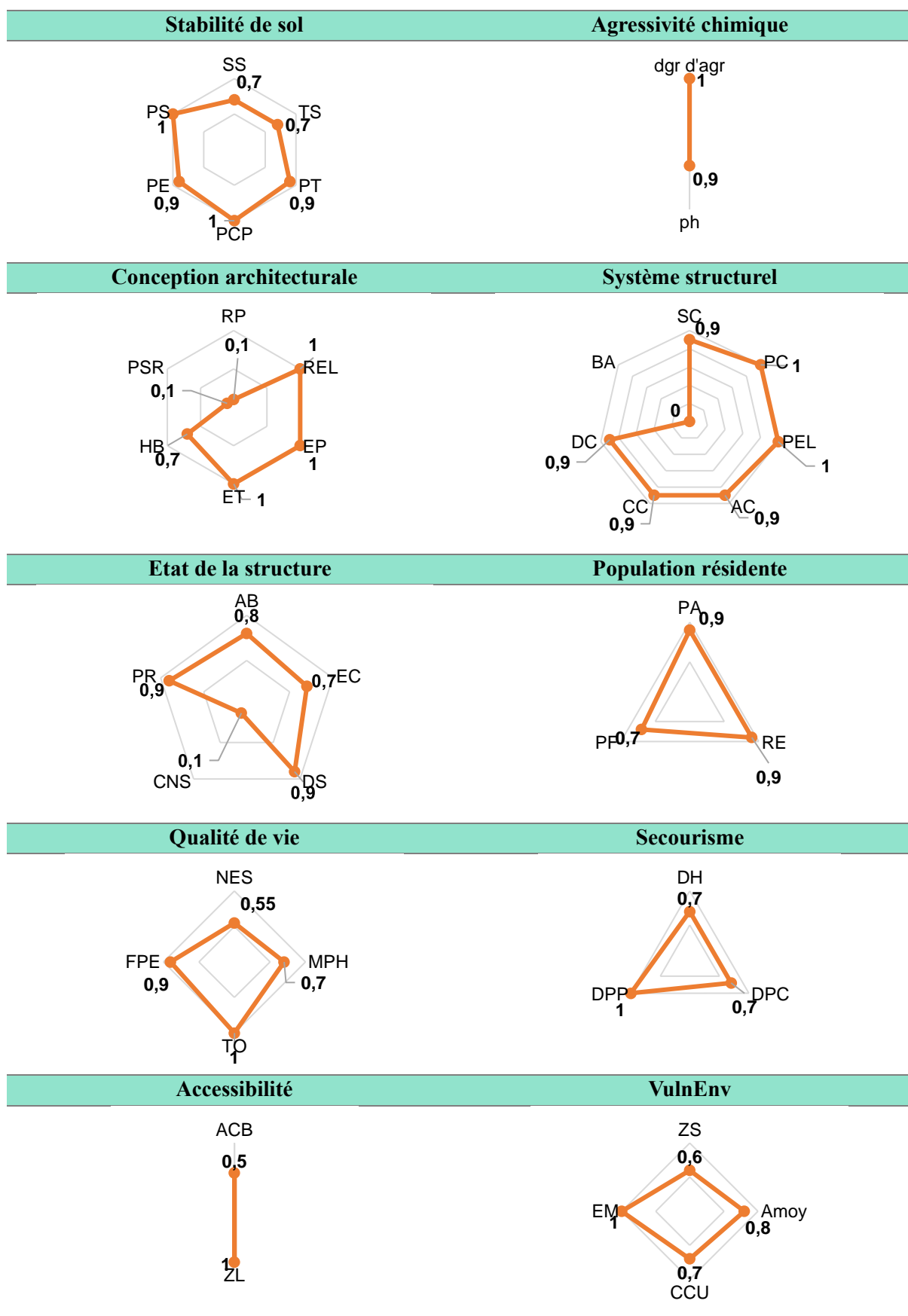
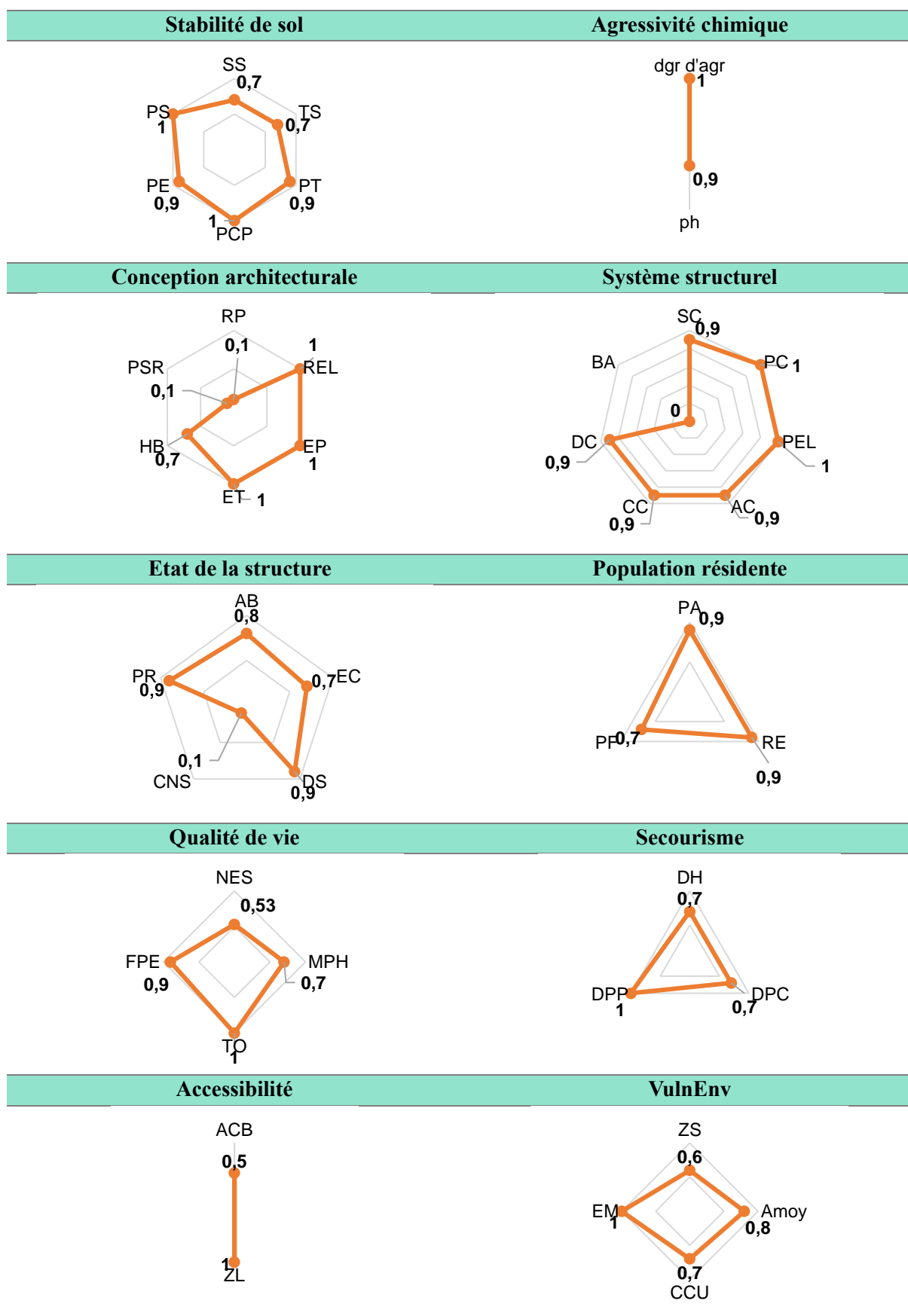


Tableau III.22. Calcul et évaluation des performances des IPs – Cas d'étude n°08



III.4 Pondération des IPs – Utilisation de la méthode AHP

Pour pondérer les IPs et les autres paramètres, il est nécessaire de calculer les coefficients de poids qui déterminent l'ordre de contribution de chacun de ces paramètres à la solution. Nous calculons les coefficients de pondération (poids) dans notre étude en utilisant la méthode AHP.

III.4.1 Exemple d'application : Pondération des IPs du critère Qualité de vie

A. Etape 1 : Hiérarchisation des IPs par importance

Premièrement : on classe les IPs par ordre d'importance décroissant comme suit :

IP de degrés 1 « TO » \Rightarrow IP de degrés 2 « FPE » \Rightarrow IP de degrés 3 « MPH » \Rightarrow IP de degrés 4 « NES ».

Deuxièmement : on attribue à chaque IPs un ordre de préférence à partir du figure II.2 (degré d'importance) pour construire une matrice appelée « matrice de décision ».

Tableau III.23. Attribution des ordres des préférences entre les IPs

	TO	FPE	MPH	NES
TO	1	3	5	7
FPE	1/3	1	3	5
MPH	1/5	1/3	1	3
NES	1/7	1/5	1/3	1

Ainsi, la matrice obtenue est : $A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 7 \\ 1/3 & 1 & 3 & 5 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/7 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$

B. Etape 2 : Détermination des poids associés à chaque IPs

$$W = \begin{bmatrix} \frac{1}{1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7}} + \frac{3}{3 + 1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{5}} + \frac{5}{5 + 3 + 1 + \frac{1}{3}} + \frac{7}{7 + 5 + 3 + 1} \\ \frac{1/3}{1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7}} + \frac{1}{3 + 1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{5}} + \frac{3}{5 + 3 + 1 + \frac{1}{3}} + \frac{5}{7 + 5 + 3 + 1} \\ \frac{1/5}{1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7}} + \frac{1/3}{3 + 1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{5}} + \frac{1}{5 + 3 + 1 + \frac{1}{3}} + \frac{3}{7 + 5 + 3 + 1} \\ \frac{1/7}{1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7}} + \frac{1/5}{3 + 1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{5}} + \frac{1/3}{5 + 3 + 1 + \frac{1}{3}} + \frac{1}{7 + 5 + 3 + 1} \end{bmatrix}$$

Ainsi les poids (W_i) obtenu sont : $W = \begin{bmatrix} 0.557 \\ 0.353 \\ 0.121 \\ 0.056 \end{bmatrix}$

C. Etape 3 : Vérification de la consistance des résultats

$$\text{Nous avons : } \begin{bmatrix} \lambda'_1 \\ \lambda'_2 \\ \lambda'_3 \\ \lambda'_4 \end{bmatrix} = [0.557 \times \begin{bmatrix} 1 \\ 1/3 \\ 1/5 \\ 1/7 \end{bmatrix} + 0.353 \times \begin{bmatrix} 3 \\ 1 \\ 1/3 \\ 1/5 \end{bmatrix} + 0.121 \times \begin{bmatrix} 5 \\ 3 \\ 1 \\ 1/3 \end{bmatrix} + 0.056 \times \begin{bmatrix} 7 \\ 5 \\ 3 \\ 1 \end{bmatrix}] = \begin{bmatrix} 2.613 \\ 1.181 \\ 0.517 \\ 0.245 \end{bmatrix}$$

$$\text{Et : } \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.691 \\ 3.345 \\ 4.272 \\ 4.375 \end{bmatrix} \text{ Alors } \lambda_{max} = \frac{4.691+3.345+4.272+4.375}{4} = 4.170$$

$$CI = \frac{4.170-4}{3} = 0.056$$

Finalement : $CR = \frac{0.056}{0.9} = 0.062 < 0.10 \rightarrow$ l'attribution des poids est acceptable.

III.4.2 Synthèse des calculs des poids des IPs

La synthèse de calcul des IPs est résumé dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.24. Synthèse des calculs des poids des IPs

Classification des IPs	Matrice de décision	W_i	λ'	λ	λ_{max}	CI	RI	CR
1-Type du site 2-Sol en surface 3-Pente générale du terrain 4-Proximité d'un changement de pente 5-Proximité d'eau 6-Proximité de soutènement	$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 7 & 9 & 9 \\ 1/3 & 1 & 3 & 5 & 7 & 7 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 3 & 5 & 5 \\ 1/7 & 1/5 & 1/3 & 1 & 3 & 5 \\ 1/9 & 1/7 & 1/5 & 1/3 & 1 & 2 \\ 1/9 & 1/7 & 1/5 & 1/5 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.4583 \\ 0.2516 \\ 0.1379 \\ 0.0836 \\ 0.0395 \\ 0.0292 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3.1055 \\ 1.7166 \\ 0.9075 \\ 0.5096 \\ 0.2401 \\ 0.1801 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 6.7765 \\ 6.8224 \\ 6.5822 \\ 6.0967 \\ 6.0772 \\ 6.1768 \end{bmatrix}$	6.4220	0.0844	1.24	0.0681
1-Degrés d'agressivité 2-Potentiel hydrogène	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.5 \\ 0.5 \end{bmatrix}$	Vérification non nécessaire					
1-Régularité en plan 2-Régularité en élévation 3-Etage à hauteur différentes 4-Elancement en plan 5-Parties saillantes ou rentrantes 6-Hauteur de bâtiment	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 1 & 3 & 5 & 6 & 7 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 3 & 4 & 5 \\ 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1 & 2 & 3 \\ 1/6 & 1/6 & 1/4 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/7 & 1/7 & 1/5 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.3356 \\ 0.3356 \\ 0.1617 \\ 0.0789 \\ 0.0524 \\ 0.0357 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.1154 \\ 2.1154 \\ 1.0104 \\ 0.4790 \\ 0.3156 \\ 0.2165 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 6.3030 \\ 6.3030 \\ 6.2476 \\ 6.0698 \\ 6.0235 \\ 6.0601 \end{bmatrix}$	6.1678	0.0336	1.24	0.0271

Tableau III.25. Synthèse des calculs des poids des IPs (Suite)

Classification des IPs	Matrice de décision							W _i	λ'	λ	λ _{max}	CI	RI	CR
1-Système de contreventement 2-Alignement des éléments verticaux de contreventement 3- Continuité des éléments de contreventement en hauteur 4- Forte différence de contreventement 5- Bâtiments accolés avec joint insuffisant ou obstrué 6- Poteaux élancés 7- Poteaux courts	1 1/3 1/5 1/5 1/7 1/8 1/9	3 1 1/3 1/3 1/5 1/7 1/8	5 3 1 1 1/5 1/6 1/7	5 3 5 3 1 1/3 1/5	7 5 6 5 3 1/3 1/5	8 7 5 7 1 1 1/3	9 8 7 7 5 3 1	0.3963 0.2224 0.1576 0.1074 0.0605 0.0347 0.0211	3.2798 1.8641 1.2920 0.8165 0.4388 0.2474 0.1545	8.2766 8.3807 8.2003 7.6052 7.2527 7.1215 7.3072	7.7349	0.1225	1.32	0.0928
1-Désordres structuraux constatés 2- Risque de chute deséléments non structuraux 3- Etat général deconservation 4- Age du bâtiment (année de construction) 6-Projet de réhabilitation et/ou d'entretien pour les anciens bâtiments	1/3 1/4 1/5 1/7	3 1 1/3 1/5	4 2 1 1/3	5 5 3 1/5	7 5 5 1			0.4646 0.2596 0.1585 0.0779 0.0394	2.5428 1.3968 0.8351 0.3938 0.2005	5.4735 5.3797 5.2693 5.0536 5.0906	5.2533	0.0633	1.12	0.0565
1- Ratio de la population âgée > 65 ans 2- Ratio d'enfants < 14 ans 3- Ratio de la population féminine	1/3 1/5	3 1 1/3	5 3 1					0.6333 0.2605 0.1062	1.9456 0.7901 0.3197	3.0720 3.0330 3.0112	3.0387	0.0194	0.58	0.0334
1. Taux d'occupation du logement 2. Femmes avec plus de 5 enfants 3. Mobilité physique des occupants 4. Niveau d'éducation et de sensibilisation	1/3 1/5 1/7	3 1 1/5	5 3 1/3	7 5 1				0.557 0.353 0.121 0.056	2.613 1.181 0.517 0.245	4.691 3.345 4.272 4.375	4.170	0.056	0.9	0.062
1-Distance aux hôpitaux 2-Distance aux postes de protection civile 3-Distance aux postes de police	1/2 1/5	2 1 1/3	5 3 1					0.5813 0.3092 0.1096	1.7475 0.9285 0.3289	3.0064 3.0035 3.0012	3.0037	0.0018	0.58	0.0032
1-accessibilité au Bâtiment 2- Présence de zones libre et dégagé à l'extérieur du bâtiment		1 1/3	3 1					0.75 0.25	Vérification non nécessaire					

Tableau III.26. Synthèse des calculs des poids des IPs (suite)

Classification des IPs	Matrice de décision				W _i	λ'	λ	λ _{max}	CI	RI	CR
1-Zonage sismique 2-Valeur moyenne d'accélération pour les séismes 3-Code de construction utilisée 4-Eloignement de bâtiment par rapport à la mer	1 1/3 1/4 1/7	3 1 1/3 1/5	4 3 1 1/3	7 5 3 1	0.5396 0.2715 0.1315 0.0573	2.2816 1.1325 0.5289 0.2326	4.2279 4.1707 4.0233 4.0556	4.1194	0.0398	0.90	0.0442

III.4.3 Synthèse des calculs des poids des critères

Tableau III.27. Synthèse des calculs des poids des critères

Classification des IPs	Matrice de décision	W _i	λ'	λ	λ _{max}	CI	RI	CR																												
1-Stabilité de sol 2-Agressivité chimique	<table><tr><td>1</td><td>3</td></tr><tr><td>1/3</td><td>1</td></tr></table>	1	3	1/3	1	<table><tr><td>0.75</td></tr><tr><td>0.25</td></tr></table>	0.75	0.25	Vérification non nécessaire																											
1	3																																			
1/3	1																																			
0.75																																				
0.25																																				
1-Secourisme 2-Qualité de vie 3-Accessibilité 4-Population résidente	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>5</td></tr><tr><td>1/2</td><td>1</td><td>3</td><td>5</td></tr><tr><td>1/3</td><td>1/3</td><td>1</td><td>3</td></tr><tr><td>1/5</td><td>1/5</td><td>1/3</td><td>1</td></tr></table>	1	2	3	5	1/2	1	3	5	1/3	1/3	1	3	1/5	1/5	1/3	1	<table><tr><td>0.456</td></tr><tr><td>0.324</td></tr><tr><td>0.152</td></tr><tr><td>0.068</td></tr></table>	0.456	0.324	0.152	0.068	<table><tr><td>1.9</td></tr><tr><td>1.348</td></tr><tr><td>0.616</td></tr><tr><td>0.274</td></tr></table>	1.9	1.348	0.616	0.274	<table><tr><td>4.1667</td></tr><tr><td>4.1604</td></tr><tr><td>4.0526</td></tr><tr><td>4.0294</td></tr></table>	4.1667	4.1604	4.0526	4.0294	4.1647	0.061	0.90	0.0677
1	2	3	5																																	
1/2	1	3	5																																	
1/3	1/3	1	3																																	
1/5	1/5	1/3	1																																	
0.456																																				
0.324																																				
0.152																																				
0.068																																				
1.9																																				
1.348																																				
0.616																																				
0.274																																				
4.1667																																				
4.1604																																				
4.0526																																				
4.0294																																				
1-Système structurel 2-Conception architecturale 3-Etat de la structure	<table><tr><td>1</td><td>3</td><td>5</td></tr><tr><td>1/3</td><td>1</td><td>3</td></tr><tr><td>1/5</td><td>1/3</td><td>1</td></tr></table>	1	3	5	1/3	1	3	1/5	1/3	1	<table><tr><td>0.6333</td></tr><tr><td>0.2605</td></tr><tr><td>0.1062</td></tr></table>	0.6333	0.2605	0.1062	<table><tr><td>1.9456</td></tr><tr><td>0.7901</td></tr><tr><td>0.3197</td></tr></table>	1.9456	0.7901	0.3197	<table><tr><td>3.0720</td></tr><tr><td>3.0330</td></tr><tr><td>3.0112</td></tr></table>	3.0720	3.0330	3.0112	3.0387	0.0194	0.58	0.0334										
1	3	5																																		
1/3	1	3																																		
1/5	1/3	1																																		
0.6333																																				
0.2605																																				
0.1062																																				
1.9456																																				
0.7901																																				
0.3197																																				
3.0720																																				
3.0330																																				
3.0112																																				

III.4.4 Synthèse des calculs des poids des objectifs

Tableau III.28. Synthèse des calculs des poids des objectifs

Classification des IPs	Matrice de décision				W _i	λ'	λ	λ _{max}	CI	RI	CR
1- Vulnérabilité de la structure	1	2	3	5	0.456	1.9	4.1667	4.1647	0.061	0.90	0.0677
2- Vulnérabilité de sol	1/2	1	3	5	0.324	1.348	4.1604				
	1/3	1/3	1	3	0.152	0.616	4.0526				
3- Vulnérabilité sociale	1/5	1/5	1/3	1	0.068	0.274	4.0294				
4- Vulnérabilité environnementale											

III.5 Calcul des performances – Méthode MSP

Nous avons opté pour la visualisation des résultats à l'aide de l'interface du logiciel Visual Basic afin de faciliter la lecture et la hiérarchisation du problème. Les résultats obtenus sont illustrés dans les figures suivantes :

III.5.1 Cas d'étude n°01

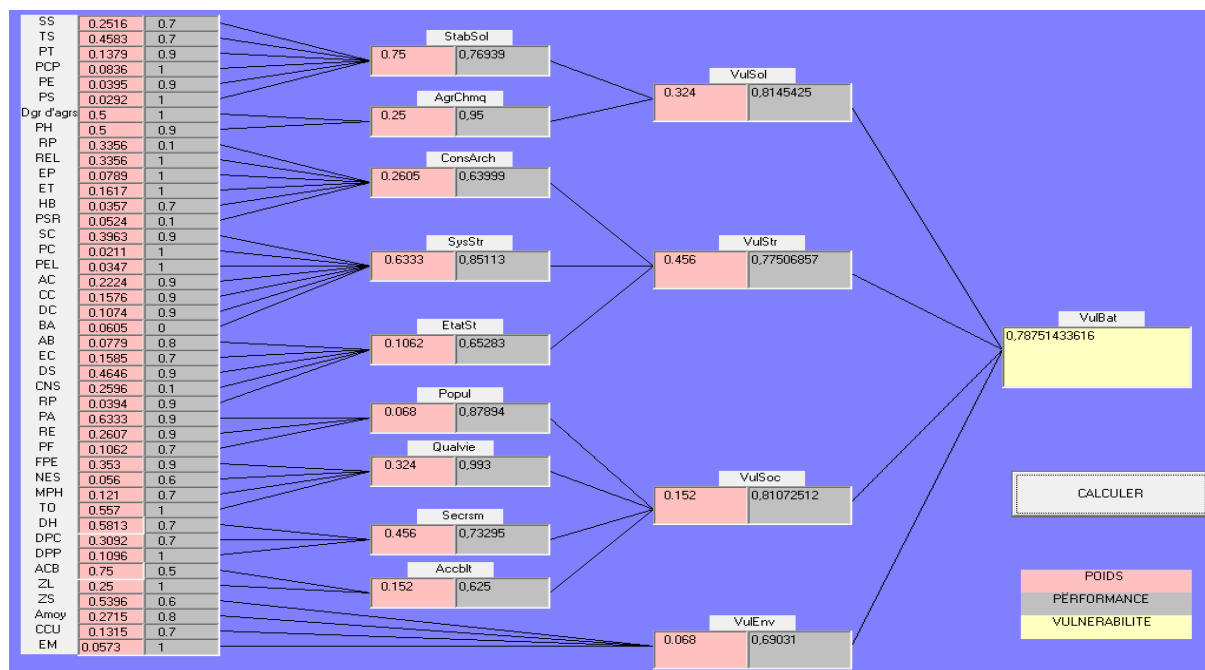


Figure III.6. Evaluation des performances – Cas d'étude n°01

III.5.2 Cas d'étude n°02

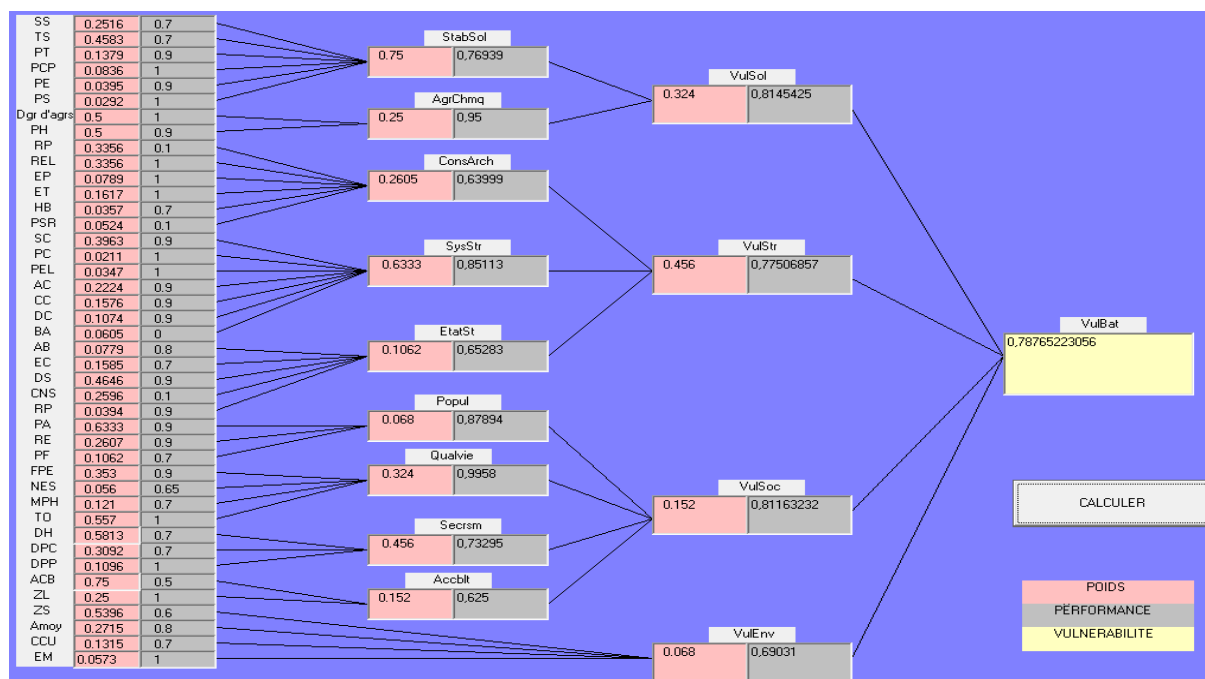


Figure III.7. Evaluation des performances – Cas d'étude n°02

III.5.3 Cas d'étude n°3

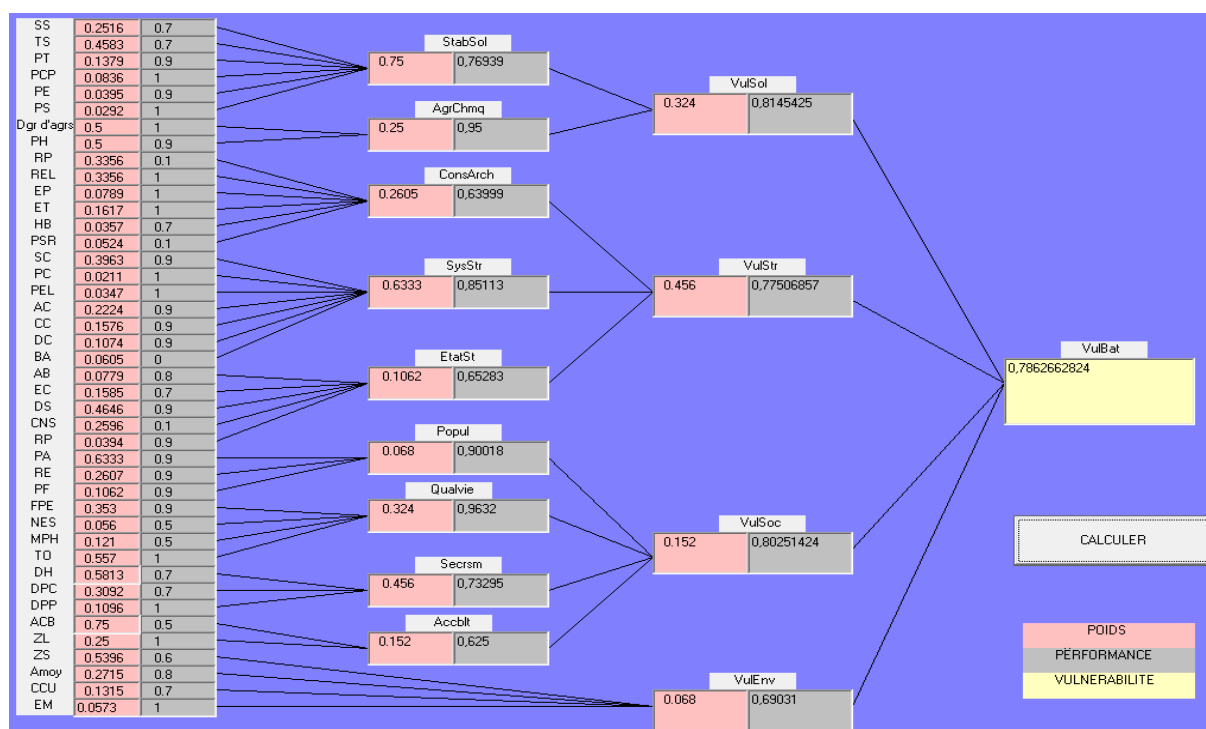


Figure III.8. Evaluation des performances – Cas d'étude n°03

III.5.4 Cas d'étude n°04

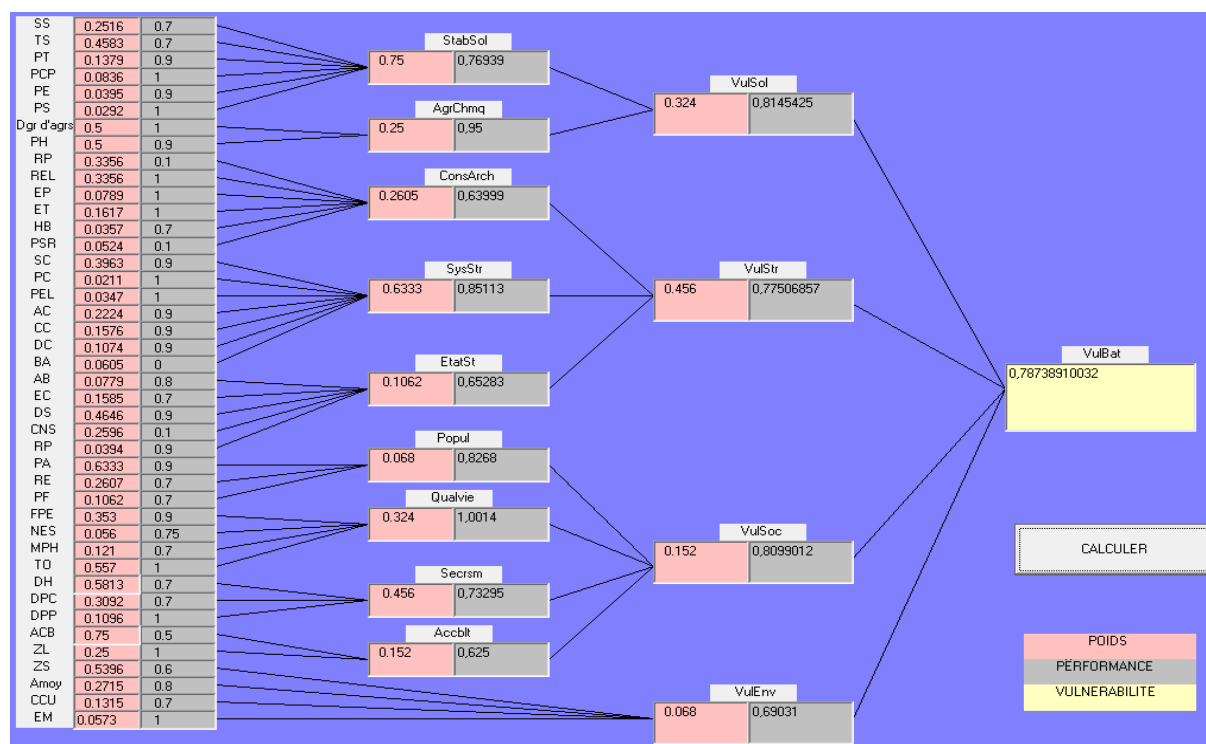


Figure III.9. Evaluation des performances – Cas d'étude n°04

III.5.5 Cas d'étude n°05

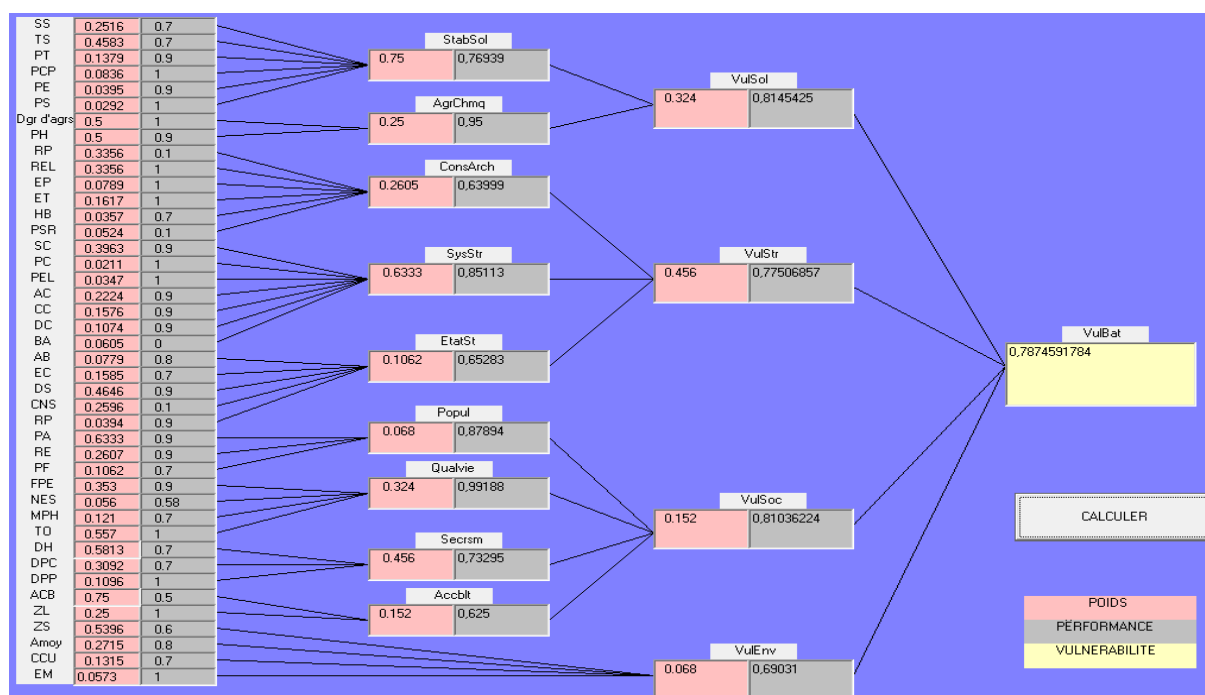


Figure III.10. Evaluation des performances – Cas d'étude n°05

III.5.6 Cas d'étude n°06

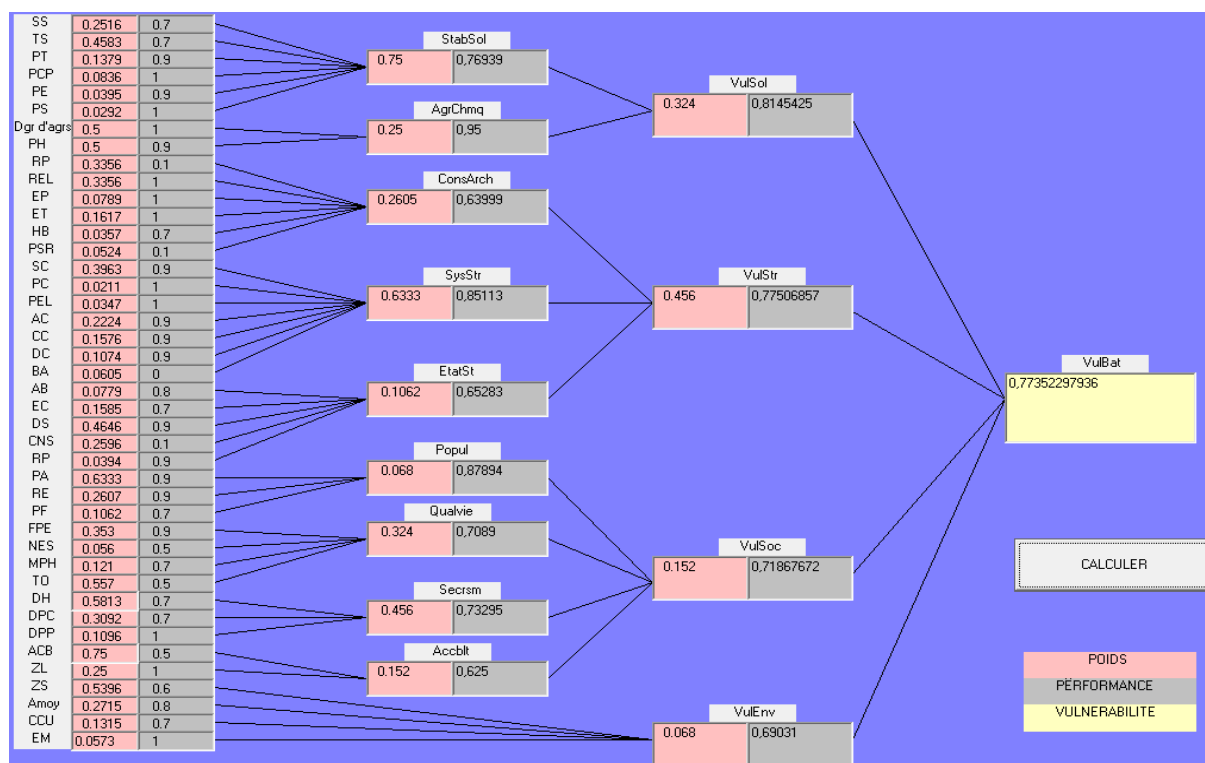


Figure III.11. Evaluation des performances – Cas d'étude n°06

III.5.7 Cas d'étude n°07

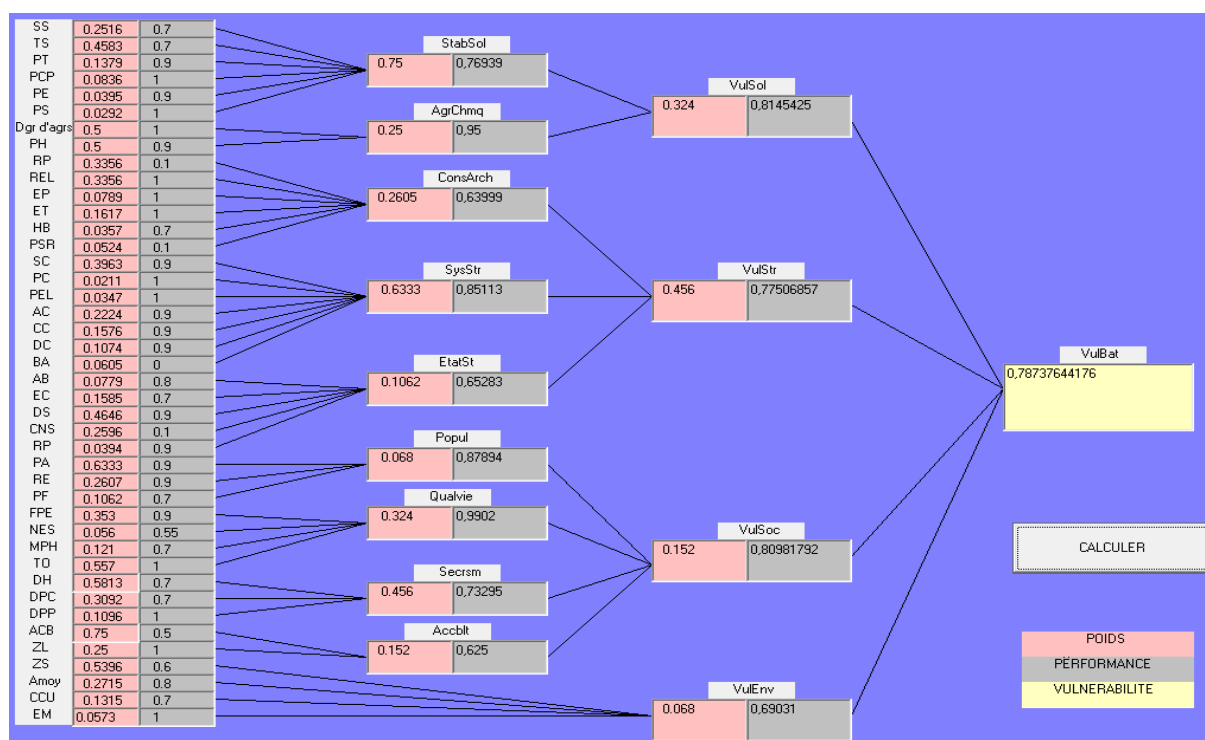


Figure III.12. Evaluation des performances – Cas d'étude n°07

III.5.8 Cas d'étude n°08

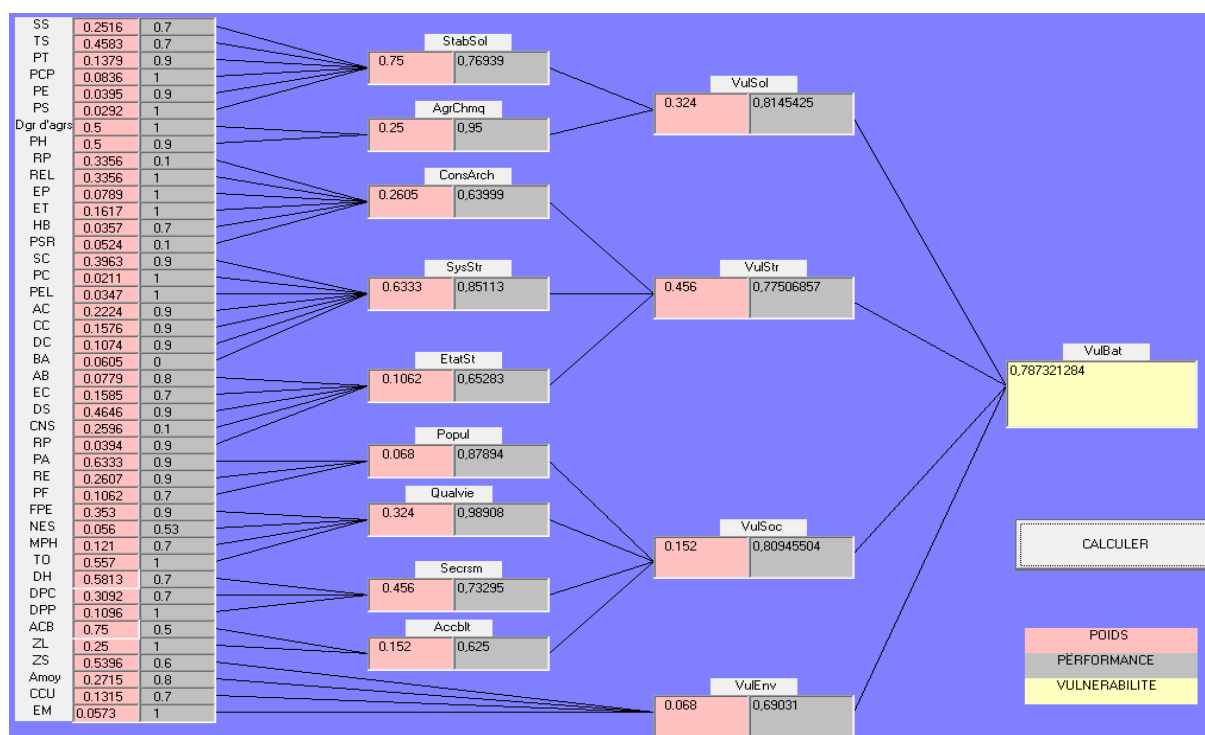


Figure III.13. Evaluation des performances – Cas d'étude n°08

III.6 Discussions des résultats obtenus

III.6.1 Pondération des IPs

A. Pondération des IPs du critère « StabSol »

Concernant les IP de ce critère, nous avons choisi l'adresse IP "type de site" en raison de son importance primordiale. Effectivement, la catégorie de sol inclut les facteurs qui déterminent la résistance du sol ainsi que sa classification. Par la suite, nous avons opté pour le « sol en surface » en raison de sa similitude avec le premier. En d'autres termes, les deux IPs partagent la même notion : celle du sous-sol. L'importance de l'IP "pente générale du terrain" est plus grande que celle des autres. Trois derniers, car il tient compte du relief du terrain, ce qui a également un impact sur le choix de la structure. Les trois derniers, et en tenant compte de la proximité de la structure à un danger spécifique, ont été mesurés avec la même importance.

B. Pondération des IPs du critère « AgrChim »

La même importance a été attribuée aux deux IPs qui définissent ce critère, car elles définissent le même ordre de grandeur d'agressivité chimique.

C. Pondération des IPs du critère « ConcArch »

Lors de l'évaluation des IPs de ce critère, nous avons accordé une importance particulière aux régularités en plan et en élévation. Le comportement de l'ouvrage lors d'un séisme est fortement influencé par ces deux IPs (la géométrie détermine le centre de torsion et le centre de gravité). L'IP, également appelé "étage à hauteur différente" (saut de rigidité), est une irrégularité en élévation en tenant compte de la différence de rigidité. Les trois autres IPs jouent un rôle pratiquement similaire, car ils définissent les facteurs qui contribuent à la mauvaise conception parasismique.

D. Pondération des IPs du critère « SysStr »

Ce critère s'est avéré complexe à classer en raison du grand nombre d'IPs pris en considération dans son évaluation et de la nécessité de rapprocher l'importance de chaque indicateur. Dans notre liste, l'IP « SysCont » occupe la première place, car il revêt une importance primordiale dans la construction en zone sismique. L'alignement des éléments de contreventement doit également être pris en considération dans la conception, car si ces éléments ne sont pas en parfaite harmonie, cela pourrait provoquer des moments de torsion lors de la secousse. La même définition définit la maîtrise du centre de torsion par les deux IPs "continuité des éléments de contreventement" et "forte différence de contreventement". En effet, le contreventement doit être maintenu en hauteur, car cela peut entraîner une grande disparité (rupture de contreventement, etc.). Selon nous, le joint sismique revêt une importance supérieure aux deux derniers IPs. La conception parasismique des deux autres adresses IP est incorrecte, c'est pourquoi elles sont pondérées de la même façon.

E. Pondération des IPs du critère « EtatStr »

Nous avons choisi d'utiliser l'indicateur « Désordres structuraux constatés » pour les IPs de ce critère, car il est le critère le plus crucial pour évaluer les dommages apparents des bâtiments. La notion de danger potentiel aux éléments de construction non structuraux lors d'un séisme est défini de manière similaire par les IPs « Risque de chute des éléments non structuraux » et « Etat de conservation ».

F. Pondération des IPs du critère « Population »

Au moment de prendre en compte les IPs de ce critère, nous avons privilégié « Ration de la population âgée de plus de 65 ans » par rapport aux IPs car il est le déterminant en raison de leur vulnérabilité physique. « La Ration d'enfants » vient ensuite, principalement en raison de leur fragilité. Enfin, « Ration de la population féminine » est le critère le moins influant.

G. Pondération des IPs du critère « Qualvie »

Lors de cette sélection, nous avons choisi l'IP « Taux d'occupation de logement » car il est considéré comme l'un des IPs les plus cruciaux, car il représente un défi majeur en cas de danger et de panique (création d'un mouvement de foule encombrant les entrées). Par rapport aux autres critères, l'IP « Femme avec plus de cinq enfants » revêt une importance accrue, car il est lié au premier critère. Plus le nombre d'enfants augmente, plus l'impact sur le taux d'occupation est significatif. Par la suite, on sélectionne l'IP « Mobilité physique des occupants » car il est difficile de faire sortir les personnes handicapées. Enfin, le niveau d'éducation et de sensibilisation joue un rôle crucial dans le comportement des personnes lors d'accidents.

H. Pondération des IPs du critère « Secrsm »

Dans ce critère, nous avons opté pour l'indicateur « Distance aux hôpitaux » au lieu du « Pompiers » en raison de son importance pour la sauvegarde des vies humaines. En effet, lors d'une catastrophe, les personnes touchées peuvent être conduites à l'hôpital avant que la protection civile ne soit arrivée. Nous avons ensuite choisi « Distance aux postes de la protection civile » au lieu de « Distance aux postes de la police », car celle-ci est plus adaptée aux événements tragiques.

I. Pondération des IPs du critère « Accblt »

Ce critère met en évidence l'importance de « Accessibilité aux bâtiments » par rapport à « Présence de zones libres », car un accès facile aux bâtiments permet aux résidents de sauver leur vie en cas de séisme.

III.6.2 Pondération des critères

A. Critères de l'objectif « VulnSol »

Il est clair que l'agressivité chimique est moins importante que la stabilité du sol, car les troubles causés par l'agressivité chimique aux ouvrages sont moins importants et plus longs à se produire, alors que la stabilité du sol pourrait engendrer de graves dégâts (tassement, liquéfaction et glissement, etc.) et dans un délai plus court. De plus, les problèmes causés par l'agressivité chimique peuvent être facilement réglés et réparés, contrairement à ceux dus à la stabilité du sol qui peuvent parfois être irréversibles.

Critère de l'objectif « VulnStr »

Pour cet objectif, nous avons décidé de donner la priorité au critère « SysStr » car il prend en considération la qualité de conception en zone sismique. Par la suite, le critère « ConcArch » joue un rôle important dans le comportement de l'ouvrage lors des dommages, car la forme de la structure joue un rôle essentiel dans son comportement lors des séismes. Finalement, le critère "EtatStr" qui montre comment la structure a évolué au fil du temps.

B. Critère de l'objectif « VulnSoc »

Dans notre classification des critères de cet objectif, nous avons utilisé le critère « secourisme » en raison de sa capacité à sauver des vies lors de sinistres. Ensuite, les deux critères « Qualvie » et « Accblt » ont été élevés dans le même ordre de préférence, car ils montrent une plus grande importance du cadre occupé par rapport aux derniers critères qui reflètent le cadre occupant.

III.6.3 Pondération des objectifs

La « VulnStr » est clairement l'objectif principal de notre méthodologie, car elle a démontré son importance pour la stabilité de l'ouvrage au fil du temps. Par la suite, il y a la « VulnSol », qui revêt également une importance similaire à la première, car le sol est responsable de divers aléas externes qui affectent la stabilité de la structure au fil du temps. L'objectif « VulnSoc » revêt une importance similaire. Effectivement, même si un bâtiment est bien conçu sur un sol adéquat, si la population est vulnérable, cela aura un impact sur la vulnérabilité finale.

III.6.4 Performances obtenues par niveaux intermédiaires

Nous avons choisi huit exemples de constructions d'habitation à la Willaya de Bouira qui présentent des caractéristiques diverses, dans le but de tenir compte des diverses exigences de notre méthodologie. Les résultats obtenus ont été présentés de différentes façons (tableaux, courbes radar, histogrammes et organigrammes) pour assurer leur clarté et leur compréhensibilité. En commençant par le calcul des IPs, nous avons utilisé les méthodes de calcul définies dans le deuxième chapitre, ainsi que les paramètres techniques de la structure (conception architecturale, études d'ingénierie, etc.) ainsi qu'une étude statistique du volet

social. Les résultats obtenus ont été regroupés dans des tableaux de suivi et de diagnostic de la vulnérabilité (tableaux III.12 à III.22).

Par la suite, chaque IP a été attribué une note de performance en utilisant d'une part les échelles établies dans le chapitre 2 et d'autre part les valeurs de calcul obtenues précédemment. Il convient de noter les observations suivantes :

- En raison de la similarité des terrains, les valeurs de performance des IPs de l'objectif « VulnSol » sont assez similaires.
- Les résultats des IPs de l'objectif « VulnStr » varient en fonction des projets en cours. En réalité, tous les cas d'étude ont des tendances similaires en ce qui concerne les valeurs de performance. Il existe principalement des différences notoires en matière de performance entre les cas d'études, telles que les irrégularités dans les plans, la hauteur des bâtiments, l'existence de joints et les travaux d'entretien et de réhabilitation.
- En ce qui concerne les adresses IP de l'objectif « VulnSoc », on a constaté des différences assez significatives dans le calcul des performances. Cela s'explique par la différence dans la population résidente. Le taux d'occupation représente également un paramètre très variable en ce qui concerne l'affichage des performances. Les performances ont également été mesurées en fonction de l'éloignement par rapport aux centres de secourisme, en fonction des distances mesurées.
- Enfin, en ce qui concerne les adresses IP de l'objectif « VulnEnv », les résultats sont pratiquement les mêmes, à l'exception de la différence dans l'adresse IP « CCU » qui varie en fonction des cas d'études.

Nous avons étudié les calculs des poids des indicateurs en utilisant la méthode AHP. Nous avons pu classer les paramètres de vulnérabilité en fonction de leur importance grâce aux résultats obtenus. Les performances de tous les paramètres de vulnérabilité des différents niveaux ont ensuite été calculées en utilisant la méthode MSP. Les résultats ont été présentés dans les figures (III.7-III.14). Pour rendre ces résultats plus compréhensibles et discutables, nous présentons les valeurs de performance obtenues dans les graphiques ci-dessous.:

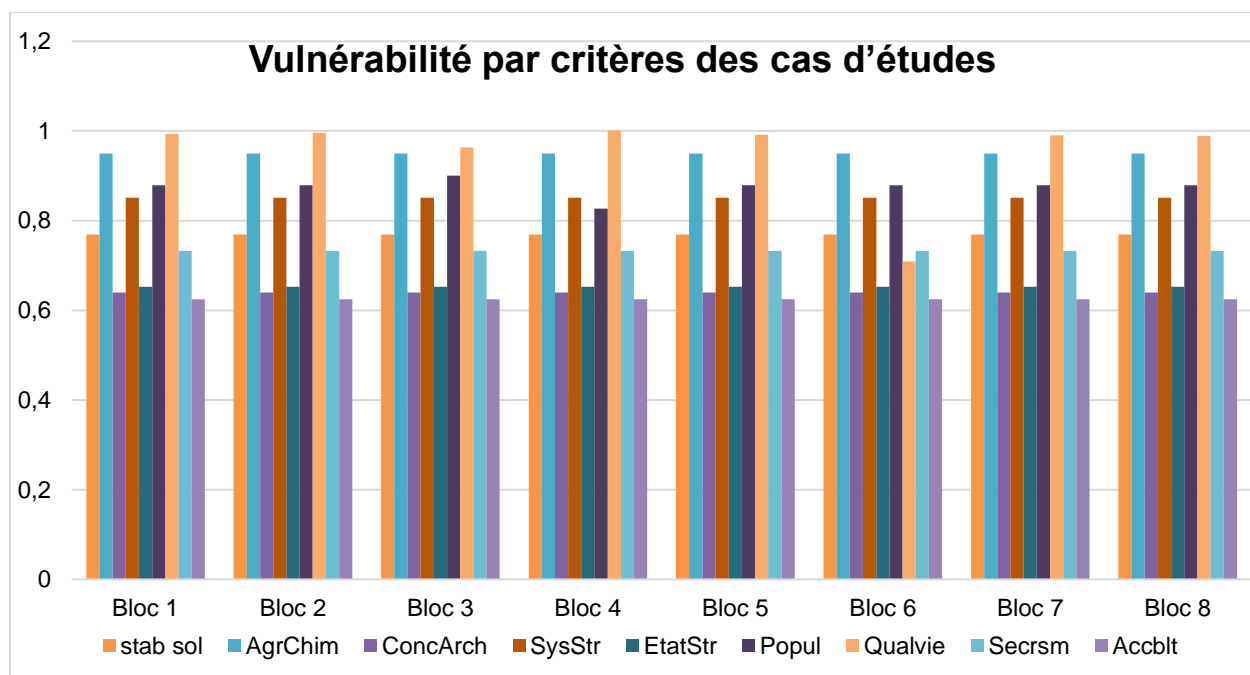


Figure III.14. Performances obtenues par critères

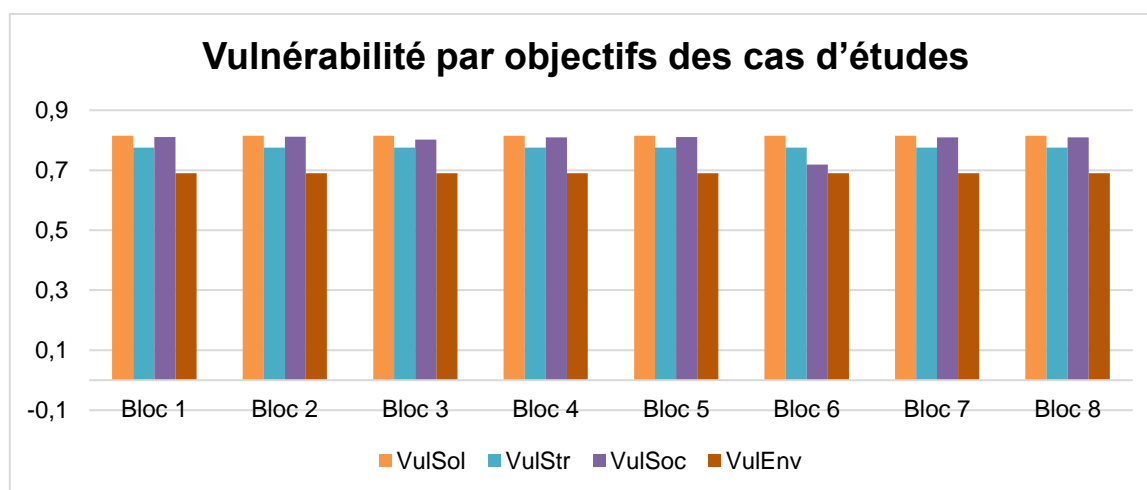


Figure III.15. Performances obtenues par objectifs

Selon les graphes précédents, nous avons constaté qu'il existe une petite différence entre les valeurs des performances obtenues en utilisant la méthode de MSP pour l'agrégation. Ces distinctions sont principalement liées aux méthodes de construction, à l'époque de construction et surtout à l'aspect social.

III.6.5 Indice de vulnérabilité sismiques des cas d'études

Enfin, il est possible d'obtenir les indices de vulnérabilité sismique des bâtiments étudiés en simplifiant l'agrégation des valeurs de performance des objectifs.

Indices de vulnérabilité sismique obtenus des cas de bâtiments étudiés

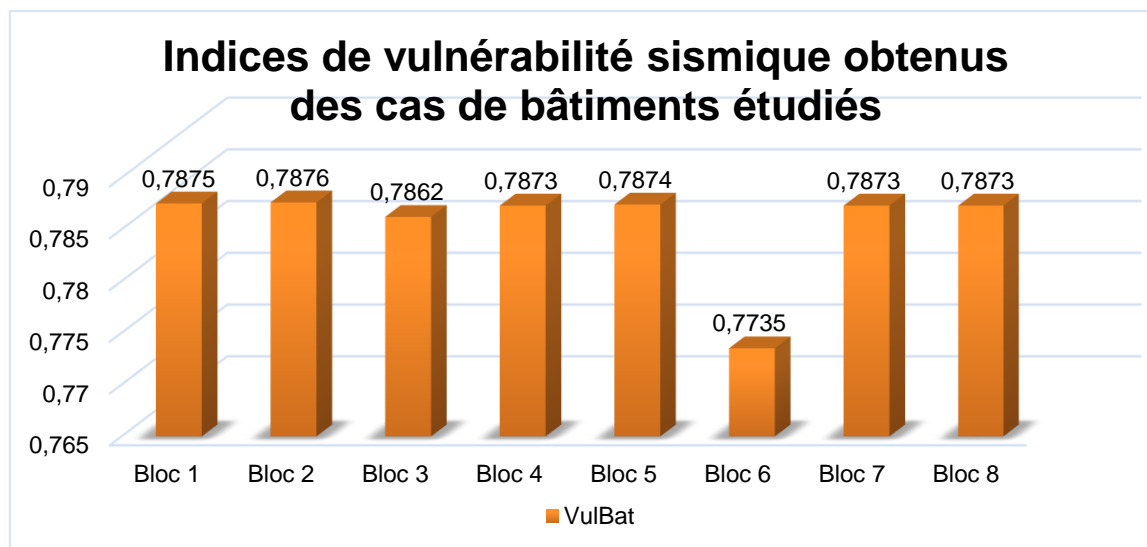


Figure III.16. Vulnérabilité sismique des bâtiments des cas étudiés

Les résultats obtenus nous ont permis de constater que les indicateurs de vulnérabilité des bâtiments étudiés sont proches et sont de bonne qualité. Cela s'explique par le fait que les constructions se trouvent toutes dans la même zone géographique et sismique. Cependant, des différences ont été mises en évidence et abordées.

III.7 Application de la méthodologie Risk-EU :

En appliquant la méthode Risk-UE que nous avons définie au deuxième chapitre par l'utilisation des tableaux II.19 à II.22 on a calculé l'indice de vulnérabilité totale de notre cas d'études. Les résultats obtenus sont exposés de la façon suivante :

Cas d'étude	V_i^*	ΔV_m	\bar{V}_I
Bloc 1	0.442	0.26	0.702
Bloc 2	0.442	0.26	0.702
Bloc 3	0.442	0.26	0.702
Bloc 4	0.442	0.26	0.702
Bloc 5	0.442	0.26	0.702
Bloc 6	0.442	0.26	0.702
Bloc 7	0.442	0.26	0.702
Bloc 8	0.442	0.26	0.702

Tableau III.29. Résultats de la vulnérabilité des cas d'études par la méthode Risk-UE

Selon les résultats obtenus, il est évident que les indices de vulnérabilité des bâtiments étudiés sont similaires et sont bons. Cela s'explique par le fait que tous les bâtiments se trouvent dans la même zone géographique et sismique et qu'ils présentent les mêmes caractéristiques.

III.8 Validation de la méthode Vulbat-AL – Confrontation à la méthode Risk-UE

Dans ce chapitre, nous avons appliqué deux méthodes pour évaluer la vulnérabilité sismique de huit bâtiments qui ont fourni des résultats significatifs et instructifs.

La première méthode Vulbat-AL, évalue la vulnérabilité totale des bâtiments en prenant en compte plusieurs aspects tels que la vulnérabilité du sol, la vulnérabilité structurelle, la vulnérabilité sociale et la vulnérabilité environnementale. D'autre part, la méthode Risk-UE qui se concentre exclusivement sur l'évaluation de la vulnérabilité structurelle.

Les résultats obtenus dans l'estimation de la vulnérabilité structurelle entre les deux méthodes pour les huit bâtiments étudiés sont proches, la méthode Risk-UE a donné une vulnérabilité structurelle moyenne (V_i) de 0.702, tandis que la méthode Vulbat-AL a donné une valeur moyenne de la vulnérabilité totale (Vulbat) de 0,78, avec une vulnérabilité structurelle moyenne (VulnStr) de 0,775.

D'après la comparaison concernant la valeur de la vulnérabilité structurelle de la méthode Vulbat-AL par rapport à la méthode Risk-UE, on conclut que notre méthode est validée.

III.9 Conclusion

Ce chapitre met en pratique notre méthodologie développée et la méthode Risk-UE que nous avons définie dans le deuxième chapitre. Premièrement, dans notre méthode, pour évaluer et calculer la performance des indicateurs, nous avons employé les méthodes et les décrites, puis nous avons exposé les résultats sous forme de tableaux.

Par la suite, les indicateurs ont été classés en fonction de leur importance en utilisant la méthode AHP, puis les coefficients de pondération ont été calculés. La méthode MSP a été utilisée pour évaluer les performances de chaque bâtiment. En utilisant le logiciel VISUELBASIC, pour faciliter les calculs et visualiser les résultats afin de simplifier la lecture et la structure hiérarchique. Après, nous avons eu une discussion et les arguments sur les résultats obtenus.

Deuxièmement, dans la méthode Risk-UE, on a calculé l'indice de vulnérabilité totale en utilisant les tableaux de V_i^* et ΔV_m et le tableau II.19, puis nous avons présenté les résultats sous forme d'un tableau. Ensuite, nous avons discuté et argumenté les résultats obtenus.

Finalement, on a validé la méthode Vulbat-AL par la comparaison de la valeur moyenne de vulnérabilité structurelle de notre méthode par rapport à la méthode Risk-UE. Nous avons conclu que notre méthode est plus vaste que l'autre.



Chapitre 04

Généralisation de l'application de la méthode Vulbat-Al.
Contribution à la cartographie de la région de Bouira

IV.1 Introduction

Après la validation de notre méthodologie développée, nous la confrontons à deux cas de bâtiment d'habitation. Le premier cas est construit à Rafour. Le deuxième est situé dans la ville de Bouira.

Nous allons présenter les cas d'études, par la suite nous évaluerons la vulnérabilité sismique de nos cas d'étude en utilisant le logiciel visuel basic. Enfin, grâce à l'utilisation d'un logiciel spécialisé dans le système d'information géographique (ArcGIS), nous allons présenter la vulnérabilité sismique des cas étudiés dans le chapitre précédent et ce chapitre sur la carte de la Wilaya de Bouira.

IV.2 Généralisation de l'application de la méthode Vulbat-AI sur la région de Bouira – Cas d'études

IV.2.1 Présentation du cas d'étude n°02

Le premier cas d'étude est la cité de 50 logements située à M'chedallah, dans la wilaya de Bouira. Les données concernant cette première étude sont résumées dans les figures suivantes.



Figure IV.1. Localisation géographique du cas d'étude n°01 (Source : Google Earth)



Figure IV.2. Photos prises sur le site du cas d'étude n°02

A. Caractéristiques structurelles

Tableau IV.1. Caractéristiques structurelles du cas d'étude n°02

Bâtiment	
Présentation	(Bloc A, B : RDC+ 5 étages) et (Bloc C: RDC+ 4 étages) contreventé par un système mixte (portique + voiles).
Implantation	M'chedallah, (wilaya de Bouira), zone de moyenne sismicité IIa.
Caractéristiques structurelles	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ossature : l'ouvrage est de (bloc A, B : 6 niveaux) et (bloc C: 5 niveaux) ➤ ➔ contreventement mixte, ➤ Plancher : 16+4 (cm), ➤ Les escaliers : un seul type, ➤ Maçonnerie : murs extérieurs en double cloison + lame d'air de 5cm, et les murs intérieurs en simple cloison , ➤ Fondation : Les semelles sont de type isolées.

B. Pièces graphiques (Plans)

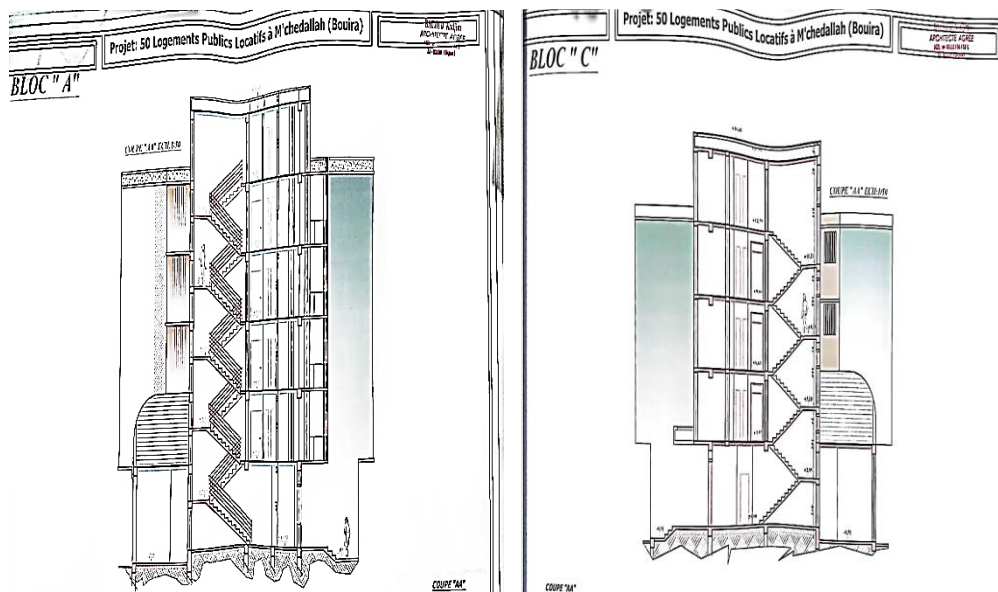


Figure IV.3. Plan de coupe des blocs A & C

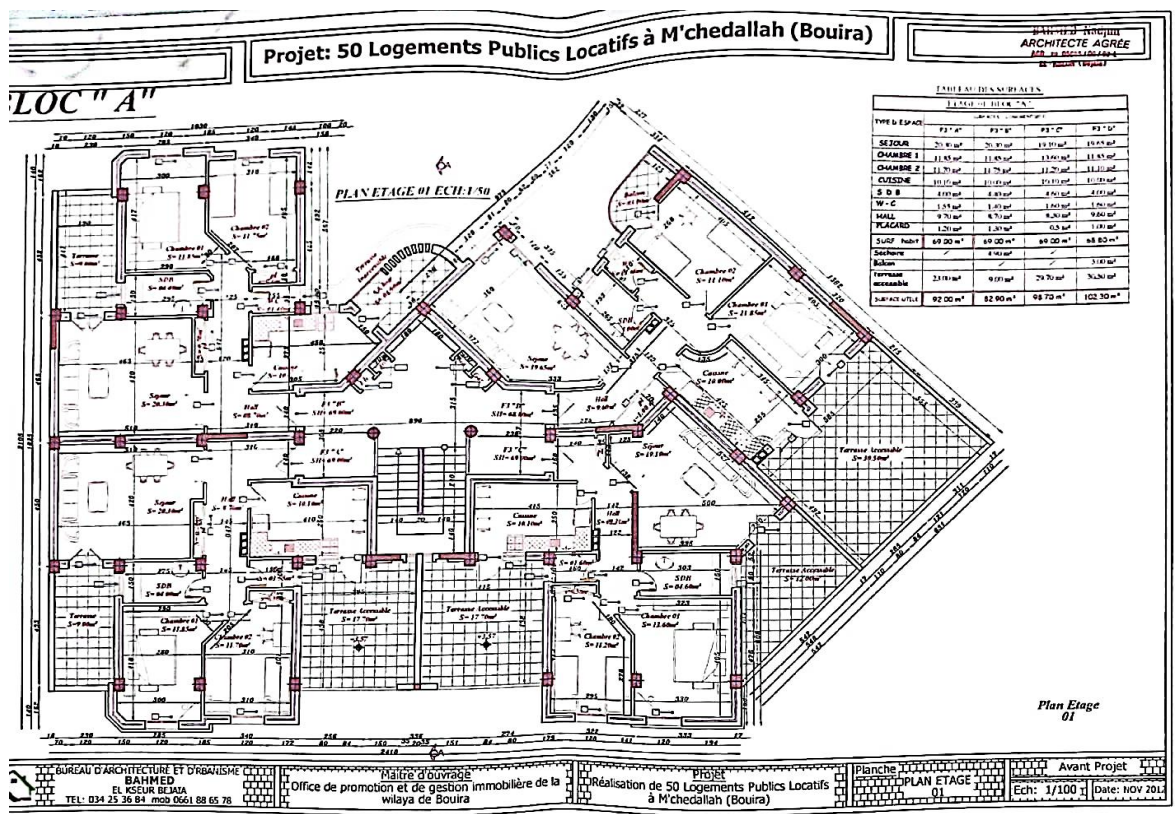


Figure IV.4. Plan du 1er jusqu'au 5ème étage du bloc A

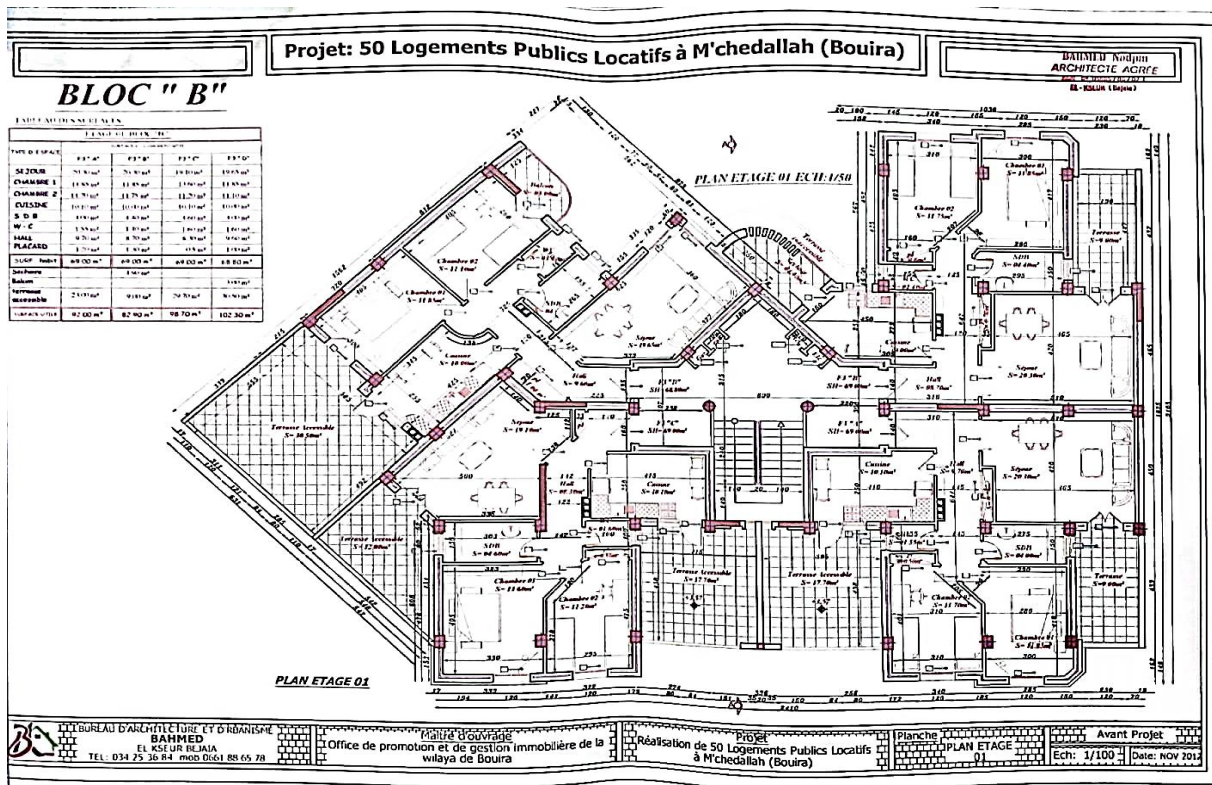


Figure IV.5. Plan du 1er jusqu'au 5ème étage du bloc B

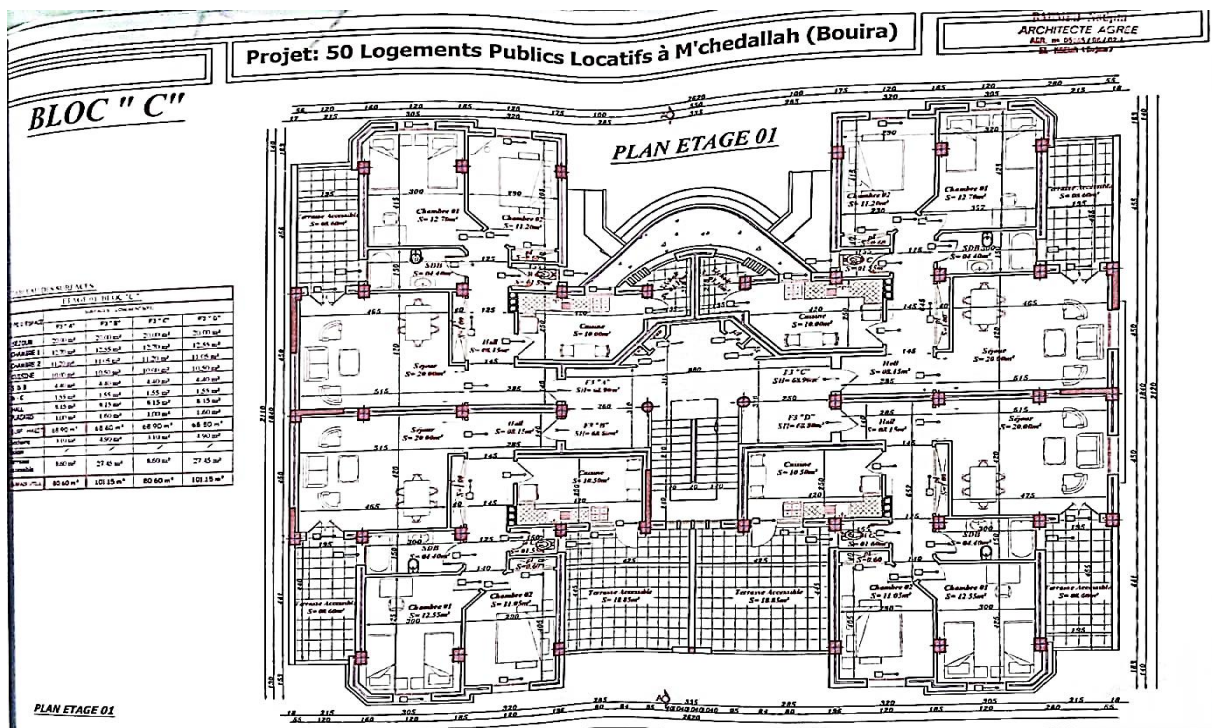


Figure IV.6. Plan du 1er jusqu'au 5ème étage du bloc C

C. Statistiques sociales

Tableau IV.2. Statistiques sociales du bloc A

Bloc A								
Etages	Log	occupant	homme	femme	F.plus5 enfants	Enfant <14ans	Age >65ans	malade
1	F3	5	1	2	0	2	0	0
	F3	2	1	1	0	0	0	0
	F3	7	2	4	1	0	1	1
	F3	2	1	1	0	0	0	0
2	F3	3	1	1	0	1	0	0
	F3	10	3	5	1	2	0	0
	F3	4	1	1	0	2	0	1
	F3	2	0	1	0	0	1	1
3	F3	4	1	1	0	2	0	0
	F3	3	1	1	0	1	0	0
	F3	5	2	3	0	0	0	1
	F3	5	2	2	0	1	0	0
4	F3	6	1	3	0	2	0	0
	F3	2	1	1	0	0	0	0
	F3	8	3	5	1	0	0	1
	F3	4	1	2	0	1	0	0
5	F3	2	1	1	0	0	0	0
	F3	3	1	1	0	1	0	0
	F3	6	2	2	0	2	0	0
	F3	2	1	1	0	0	0	0
totale		85	27	39	3	17	2	5

Tableau IV.3. Statistiques sociales du bloc B

Bloc B								
Etages	Log	occupant	homme	femme	F.plus5 enfants	Enfant <14ans	Age >65ans	malade
1	F3	2	1	1	0	0	0	0
	F3	5	1	1	0	3	0	0
	F3	7	1	4	1	2	0	0
	F3	6	2	1	0	1	2	0
2	F3	2	1	1	0	0	0	0
	F3	3	1	1	0	1	0	0
	F3	4	1	3	0	0	0	0
	F3	8	2	3	1	2	1	1
3	F3	2	1	1	0	0	0	0
	F3	8	3	3	0	2	0	0
	F3	3	1	1	0	1	0	0
	F3	5	1	2	0	2	0	1
4	F3	4	1	1	0	2	0	0
	F3	2	0	1	0	0	1	0
	F3	5	3	0	0	0	2	2
	F3	2	1	1	0	0	0	0
5	F3	5	2	1	0	2	0	0
	F3	2	1	1	0	0	0	0
	F3	9	4	5	0	0	0	0
	F3	4	2	1	0	1	0	1
totale		88	30	33	2	19	6	5

Tableau IV.4. Statistiques sociales du bloc C

Bloc C								
Etages	Log	occupant	homme	femme	F.plus5 enfants	Enfant <14ans	Age >65ans	malade
1	F3	6	2	2	0	2	0	0
	F3	5	3	0	0	0	2	2
	F3	6	1	5	0	0	0	0
	F3	2	1	1	0	0	0	0
2	F3	4	1	1	0	2	0	0
	F3	3	1	1	0	1	0	0
	F3	3	1	1	0	1	0	0
	F3	2	1	1	0	0	0	0
3	F3	4	2	1	0	1	0	0
	F3	5	4	1	0	0	0	0
	F3	6	3	2	0	1	0	0
	F3	3	1	1	0	1	0	0
4	F3	7	2	3	1	0	2	0
	F3	2	0	1	0	0	1	1
	F3	5	2	2	0	0	1	1
	F3	4	2	2	0	0	0	0
totale		67	27	25	1	9	6	4

D. Rapport de sol

Rapport de sol : 150/3000 logements à M'chdellah /Site Rafour

VII- CONCLUSION

Le site sujet de notre reconnaissance est destiné à recevoir l'implantation de 150/3000 logements à M'chdellah, exactement au site Rafour.

Il s'agit d'un terrain plat, il est d'une topographie régulière demeurant stable dont aucun risque pouvant la déranger.

Le terrain en place est constitué par une couche superficielle de limon argileux peu graveleux, reposant à partir de (-0.4) à (-1.2m) sur l'argile sableuse renfermant des cailloux et de gros blocs sur une grande épaisseur.

Les essais pénétrométriques ont indiqués une très forte résistance à la pénétration dynamique a partir de premier mètre, dont la valeur de la résistance minimale est largement supérieure à 100 bars alors qu'elle attien les 550 à 700 bars à la cote de refus.

Les analyses effectués en laboratoire ont montré que le sol support possède de moyennes caractéristiques physiques et mécaniques, il s'agit d'une formation fine et plus au moins grenue, elle est semi dense, relativement humide et moyennement plastique, elle est sur consolidée, moyennement compressible et non gonflante, ces caractéristiques nous ont conduits à classer le site dans la catégorie S3 selon le RPA.

Sur l'appui de toutes les données précédentes, nous avons formulé les conclusions suivantes :

- ❖ L'ensemble de projet doit être fondé sur une semelle superficielle et avoir un ancrage de 1.5m de profondeur à partir de la surface.
- ❖ Adopter une contrainte de service de l'ordre de 1.7bars pour les quelles les tassements seront de l'ordre de 3.18 cm environ.
- ❖ Le sol étant inagressif par l'absence de sulfates, il y a lieu d'utiliser un ciment normal pour la confection du béton des fondations.

Enfin, nous restons à la disposition de constructeur pour tous renseignements qu'il jugerait nécessaires concernant ce projet et pour l'adaptation des structures au sol.

L'ingénieur chargé d'étude
L. Bouhadra

Visé par le Directeur Technique
K. Imchad

Le Directeur
A. Aiche

Labo Aiche Géo-sol.....dossier N°10/186/2012..... - 18-

Figure IV.7. Rapport de sol du site de M'chdellah

IV.2.2 Présentation du cas d'étude n°03

Le deuxième cas d'étude est la cité 100 logement située à Bouira. Les données concernant cette deuxième étude sont résumées dans les figures suivantes.

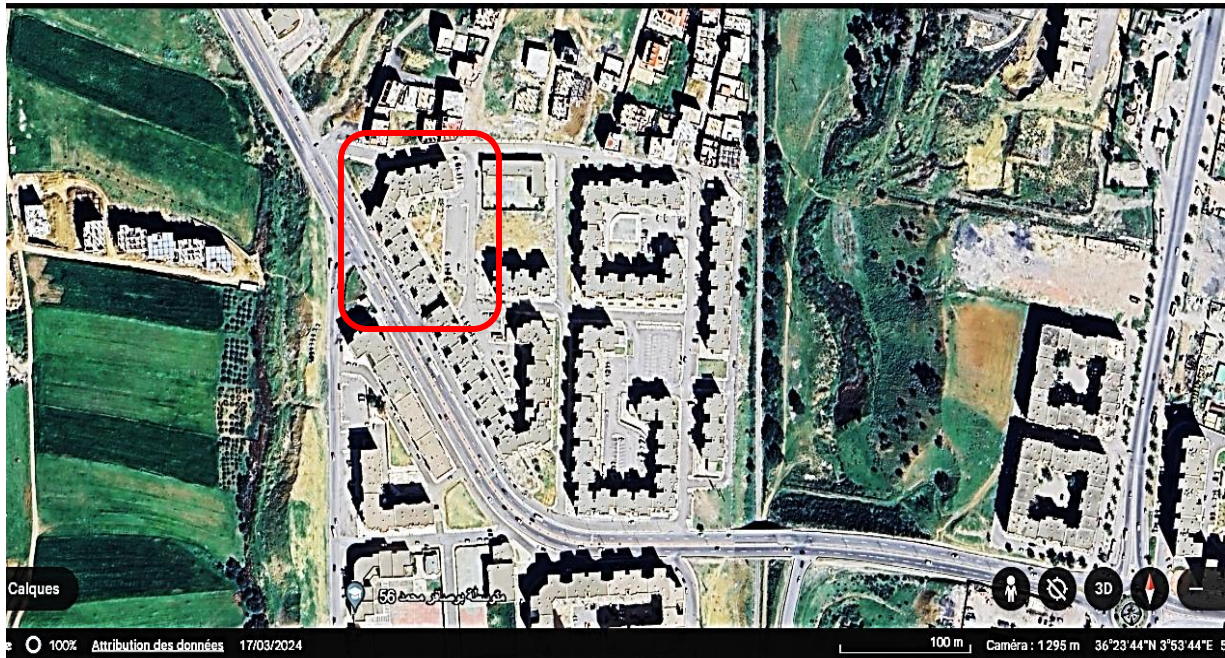


Figure IV.8. Localisation géographique du cas d'étude n°03 (Source : Google Earth)



Figure IV.9. Photos prises sur le site du cas d'étude n°03

A. Caractéristiques structurelles

Tableau IV.5. Caractéristiques structurelles du cas d'étude n°03

Bâtiment	
Présentation	RDC+ 4 étages contreventé par un système mixte (portique + voiles).
Implantation	Bouira, zone de moyenne sismicité IIa.
Caractéristiques structurelles	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ossature : l'ouvrage est de 5 niveaux → contreventement mixte ➤ Plancher : 16+4 (cm), ➤ Les escaliers : un seul type, ➤ Maçonnerie : murs extérieurs en double cloison + lame d'air de 5cm et les murs intérieurs en simple cloison, ➤ Fondation : Les semelles sont de type isolées.

B. Pièces graphiques (Plans)

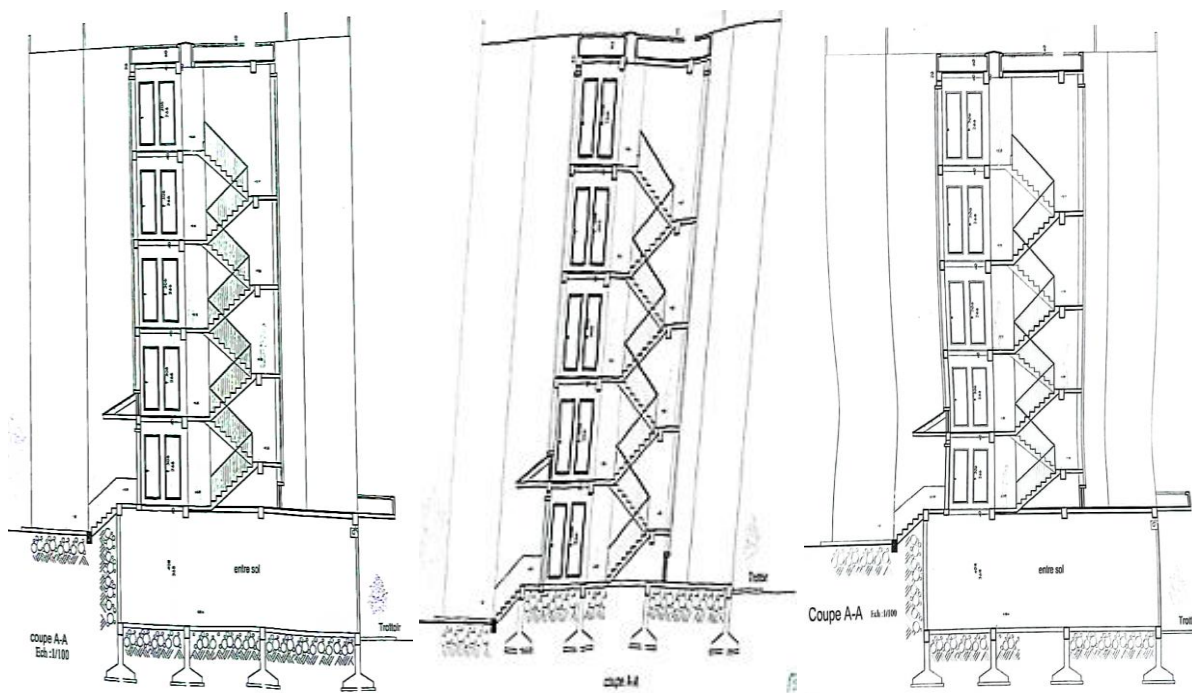


Figure IV.10. Plan de coupe des blocs A, B, C, D, E & F

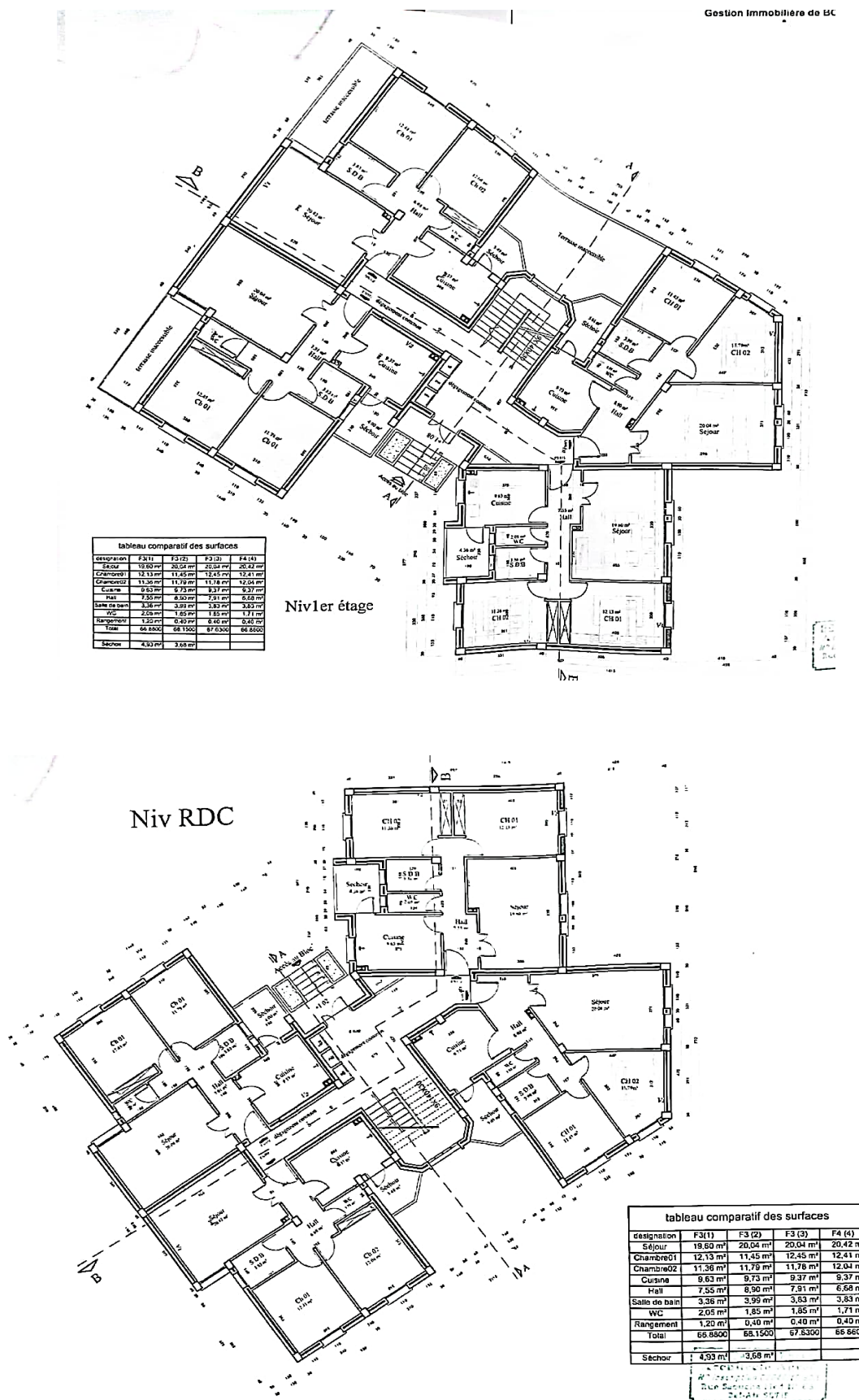


Figure IV.11. Plan du RDC jusqu'à 4ème étage de bloc D, E (angle)

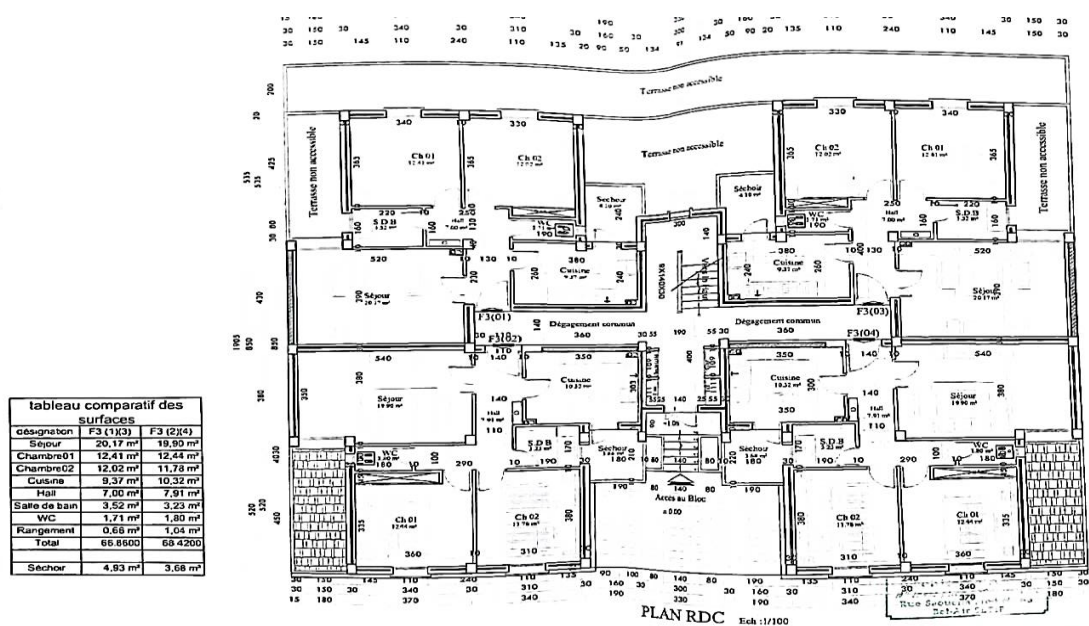


Figure IV.12. Plan du RDC jusqu'à 4ème étage de bloc A, B, C (Barre)

C. Statistiques sociales

Tableau IV.6. Statistiques sociales du bloc A

Bloc A								
Etages	Log	occupant	homme	femme	F.plus5 enfants	Enfant <14ans	Age >65ans	malade
1	F3	2	1	1	0	0	0	0
	F3	5	2	1	0	0	2	1
	F3	3	1	1	0	1	0	0
	F3	2	0	0	0	0	2	1
2	F3	6	3	1	0	0	2	2
	F3	5	2	2	0	1	0	0
	F3	7	2	5	1	0	0	0
	F3	2	0	1	0	0	1	0
3	F3	7	2	2	1	3	0	0
	F3	2	1	1	0	0	0	0
	F3	3	1	0	0	0	2	1
	F3	0	0	0	0	0	0	0
4	F3	2	1	1	0	0	0	0
	F3	5	2	1	0	2	0	0
	F3	5	3	2	0	0	0	0
	F3	2	1	1	0	0	0	0
5	F3	3	1	1	0	1	0	0
	F3	11	3	4	1	2	2	2
	F3	1	1	0	0	0	0	0
	F3	3	2	1	0	0	0	0
totale		76	29	26	3	10	11	7

Tableau IV.7. Statistiques sociales du bloc B

Bloc B								
Etages	Log	occupant	homme	femme	F.plus5 enfants	Enfant <14ans	Age >65ans	malade
1	F3	0	0	0	0	0	0	0
	F3	4	1	1	0	0	2	1
	F3	2	1	1	0	0	0	0
	F3	4	2	1	0	0	1	1
2	F3	5	1	1	0	3	0	0
	F3	1	1	0	0	0	0	1
	F3	3	1	1	0	1	0	0
	F3	3	2	1	0	0	0	0
3	F3	6	2	4	0	0	0	0
	F3	7	4	2	0	0	1	1
	F3	7	3	2	1	0	2	0
	F3	4	3	1	0	0	0	0
4	F3	3	1	1	0	1	0	0
	F3	6	3	2	0	1	0	0
	F3	3	1	1	0	0	1	1
	F3	3	0	1	0	0	2	0
5	F3	4	2	1	0	1	0	0
	F3	2	1	1	0	0	0	0
	F3	2	0	1	0	0	1	0
	F3	5	1	2	0	2	0	0
totale		74	30	25	1	9	10	5

Tableau IV.8. Statistiques sociales du bloc C

Bloc C								
Etages	Log	occupant	homme	femme	F.plus5 enfants	Enfant <14ans	Age >65ans	malade
1	F3	3	2	1	0	0	0	1
	F3	6	4	2	0	0	0	0
	F3	9	3	6	0	0	0	0
	F3	5	2	3	0	0	0	0
2	F3	2	1	1	0	0	0	0
	F3	10	5	2	1	2	1	1
	F3	4	1	1	0	2	0	0
	F3	4	3	1	0	0	0	0
3	F3	2	0	1	0	0	1	1
	F3	4	1	1	0	2	0	0
	F3	5	1	1	0	3	0	0
	F3	2	1	1	0	0	0	0
4	F3	7	2	3	1	2	0	0
	F3	0	0	0	0	0	0	0
	F3	4	2	2	0	0	0	0
	F3	1	1	0	0	0	0	0
5	F3	6	1	3	0	2	0	0
	F3	4	1	1	0	2	0	0
	F3	2	1	1	0	0	0	0
	F3	7	2	2	1	3	0	0
totale		87	34	33	3	18	2	3

Tableau IV.9. Statistiques sociales du bloc D

Bloc D								
Etages	Log	occupant	homme	femme	F.plus5 enfants	Enfant <14ans	Age >65ans	malade
1	F3	7	5	0	1	0	2	2
	F3	1	0	0	0	0	1	0
	F3	0	0	0	0	0	0	0
	F3	4	1	2	0	1	0	0
2	F3	4	1	1	0	2	0	0
	F3	3	0	1	0	0	2	0
	F3	5	1	1	0	2	1	1
	F3	3	1	1	0	1	0	0
3	F3	4	1	1	0	2	0	0
	F3	4	3	1	0	0	0	0
	F3	2	0	1	0	0	1	1
	F3	4	1	1	0	2	0	0
4	F3	7	2	3	1	2	0	0
	F3	5	1	2	0	0	2	2
	F3	3	2	1	0	0	0	0
	F3	2	1	1	0	0	0	0
5	F3	5	2	1	0	0	2	1
	F3	4	2	1	0	1	0	0
	F3	5	1	1	0	3	0	0
	F3	2	1	1	0	0	0	0
totale		74	26	21	2	16	11	7

Tableau IV.10. Statistiques sociales du bloc E

Bloc E								
Etages	Log	occupant	homme	femme	F.plus5 enfants	Enfant <14ans	Age >65ans	malade
1	F3	5	1	1	0	3	0	0
	F3	2	1	1	0	0	0	0
	F3	5	1	1	0	3	0	0
	F3	6	2	3	0	1	0	0
2	F3	2	1	1	0	0	0	0
	F3	3	1	1	0	1	0	0
	F3	4	1	1	0	2	0	0
	F3	7	2	4	1	0	1	1
3	F3	4	2	2	0	0	0	0
	F3	2	1	1	0	0	0	0
	F3	9	2	6	1	1	0	0
	F3	3	1	1	0	1	0	0
4	F3	5	1	1	0	3	0	0
	F3	7	2	3	1	2	0	0
	F3	0	0	0	0	0	0	0
	F3	6	2	4	0	0	0	0
5	F3	4	1	1	0	2	0	0
	F3	5	1	2	0	2	0	0
	F3	6	3	2	0	1	0	0
	F3	3	1	1	0	1	0	0
totale		88	27	37	3	23	1	1

D. Rapport de sol

X. CONCLUSION :

Le terrain devant servir au projet des 400 Logements Sociaux Locatifs à BOUIRA est constitué généralement de formations alluvionnaires, composées généralement de marne beige-verdâtre en profondeur, surmontées par une couche de marne sablo-graveleuse, avec passage d'alluvions (galets et graviers enrobés dans une matrice argileuse) par endroit, et le tout est recouvert par une couche de terre végétale. On note la présence d'une zone de remblai au niveau des deux sondages (S7 et S8) d'épaisseur variable allant de 1.20 m à 3.00 m (voir plan ci-joint en annexe).

Les essais de laboratoire montrent qu'il s'agit d'un sol moyennement compact et plastique. Il est moyennement compressible et non gonflant.

L'ensemble des résultats pénétrométriques, montre que le terrain est homogène, détenant des valeurs de résistance en pointe assez appréciables, néanmoins sur le lieu d'emplacement des deux essais P17 et P18 où on signale une certaine faiblesse de R_p sur la première couche d'épaisseur moyenne de 3.00 m environ. Cette faiblesse est due à la présence d'une zone de remblai met en relief par les deux sondages carottés S7 et S8 (voir plan ci-joint en annexe).

Compte tenu de la nature géologique du terrain, du type de projet et des résultats des investigations in situ, nous vous suggérons:

- Des fondations superficielles de type semelles isolées, reliées par des longrines ancrées à environ 1.80 m pour l'ensemble des blocs, à l'exception sur le côté de la zone de remblai où l'ancrage des fondations soit $D \geq 3.00$ m, en dépassant toute épaisseur de remblai éventuel (voir plan ci-joint en annexe).
- Une contrainte à adopter pour le calcul des fondations de l'ordre de 1.80 bar.

N.B. :

- Le laboratoire est disposé à assister à la réception des fouilles, pour lever toute contrainte éventuelle.

L'ingénieur chargé de l'étude



Figure IV.13. Rapport de sol du site de Bouira

IV.3 Présentation des résultats obtenus sur Visual basic

IV.3.1 Cas d'étude n°02

A. Bloc A

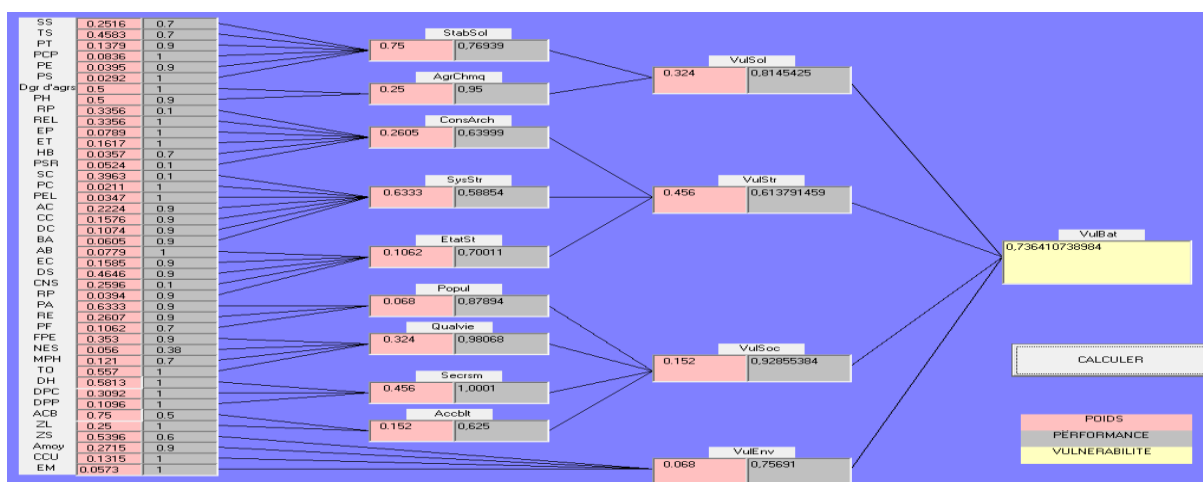


Figure IV.14. Evaluation de la vulnérabilité du bloc A

B. Bloc B

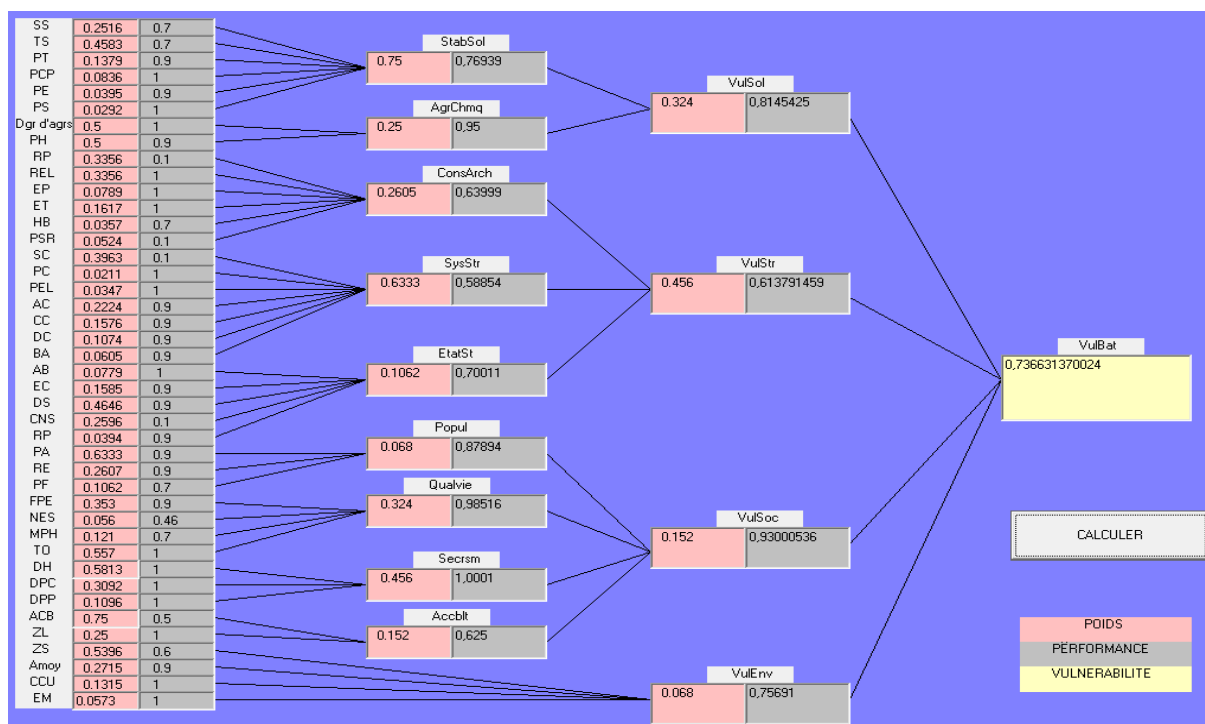


Figure IV.15. Evaluation de la vulnérabilité du bloc B

C. Bloc C

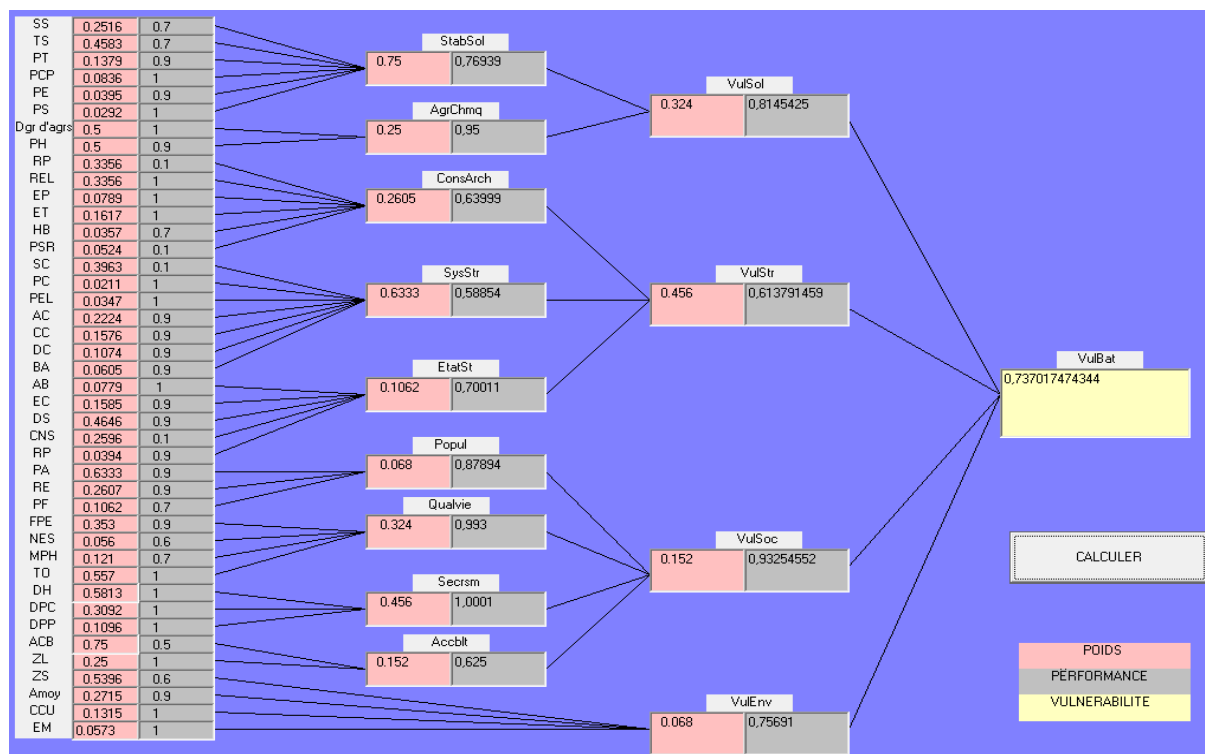


Figure IV.16. Evaluation de la vulnérabilité du bloc C

IV.3.2 Cas d'étude n°03

A. Bloc A

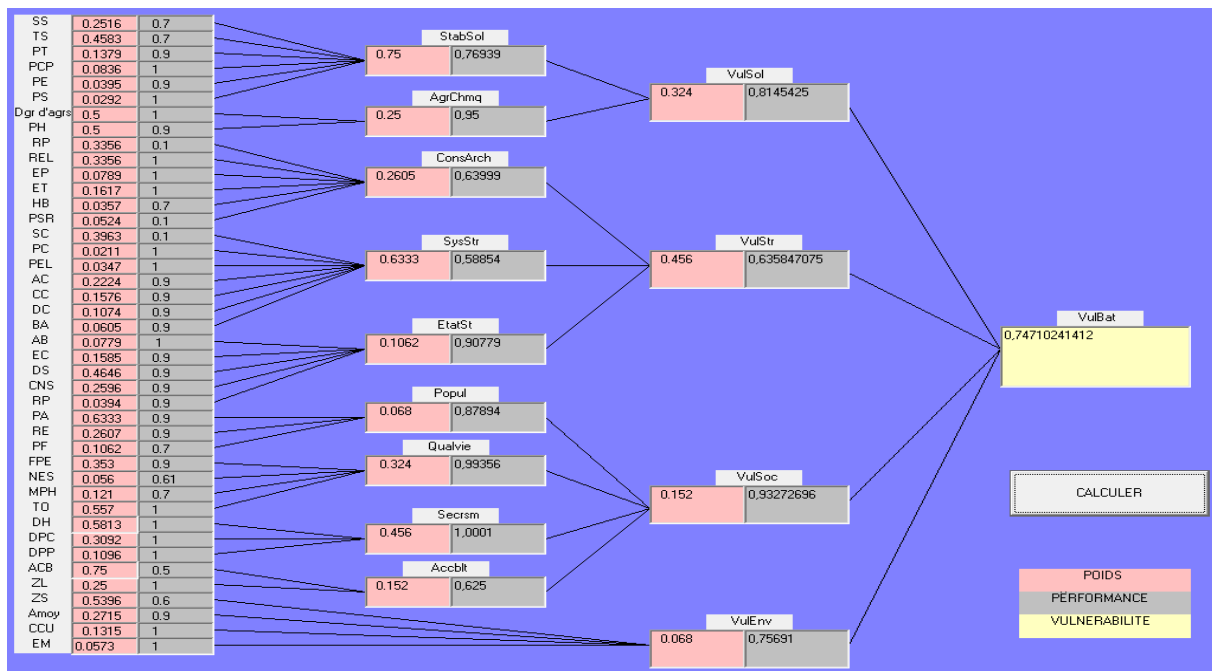


Figure IV.17. Evaluation de la vulnérabilité du bloc A

B. Bloc B

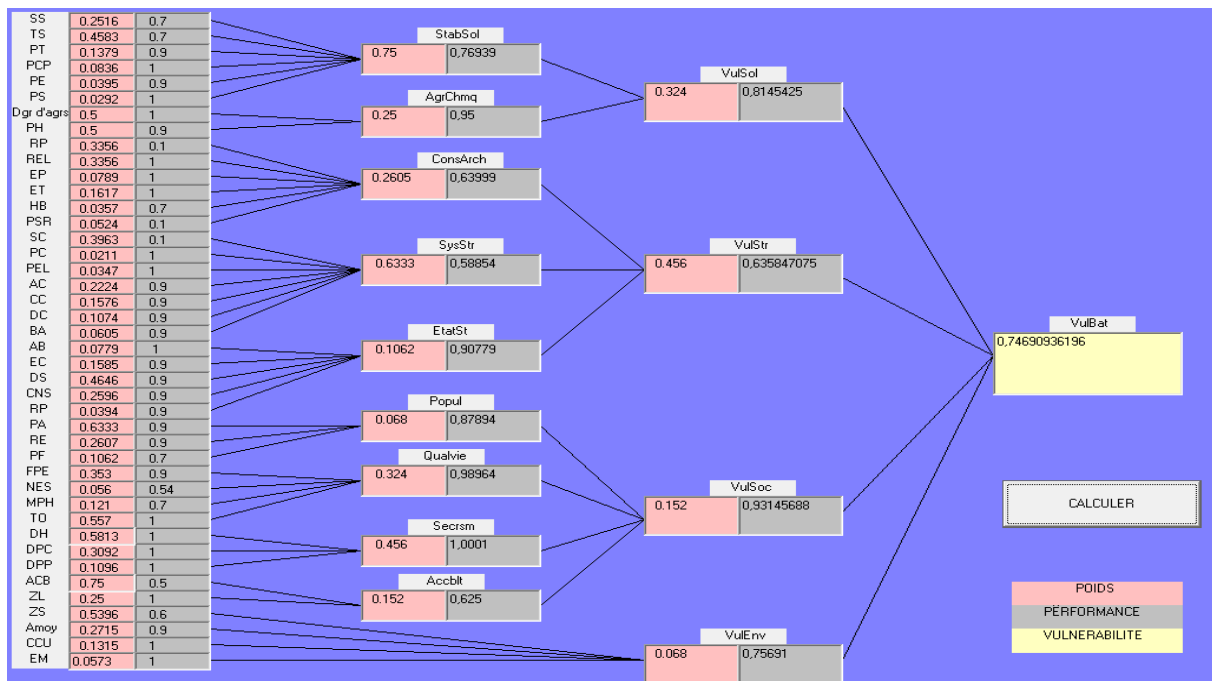


Figure IV.18. Evaluation de la vulnérabilité du bloc B

C. Bloc C

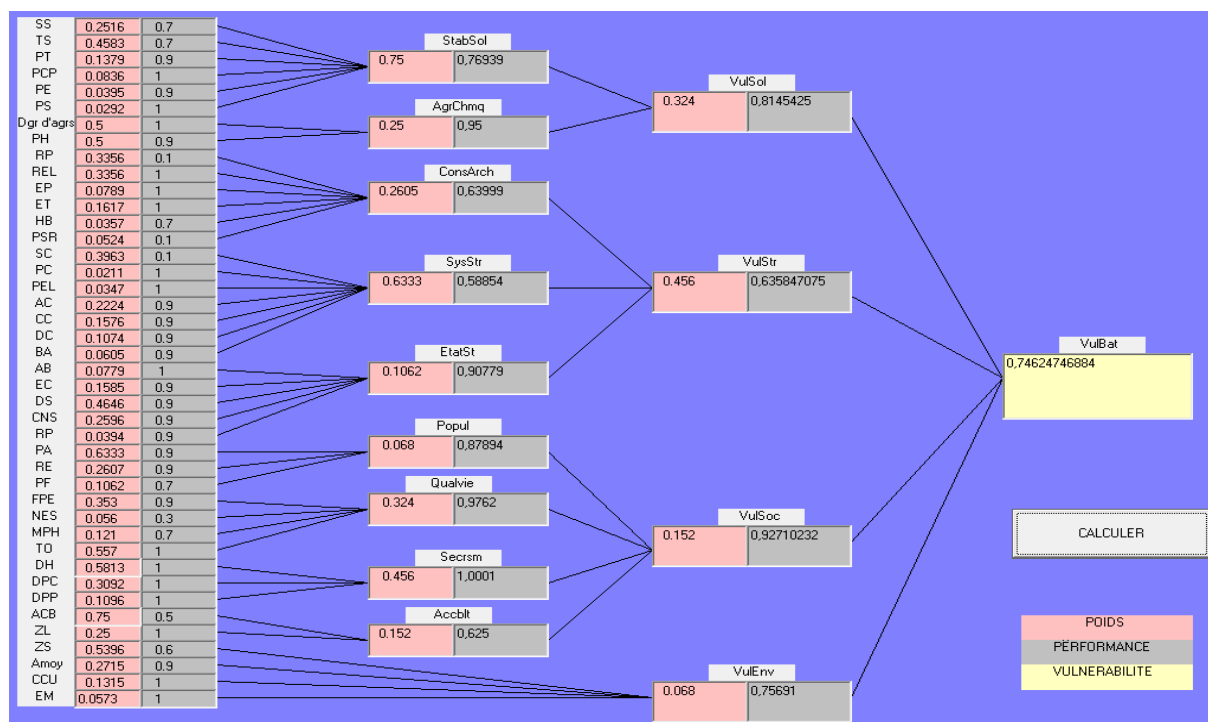


Figure IV.19. Evaluation de la vulnérabilité du bloc C

D. Bloc D

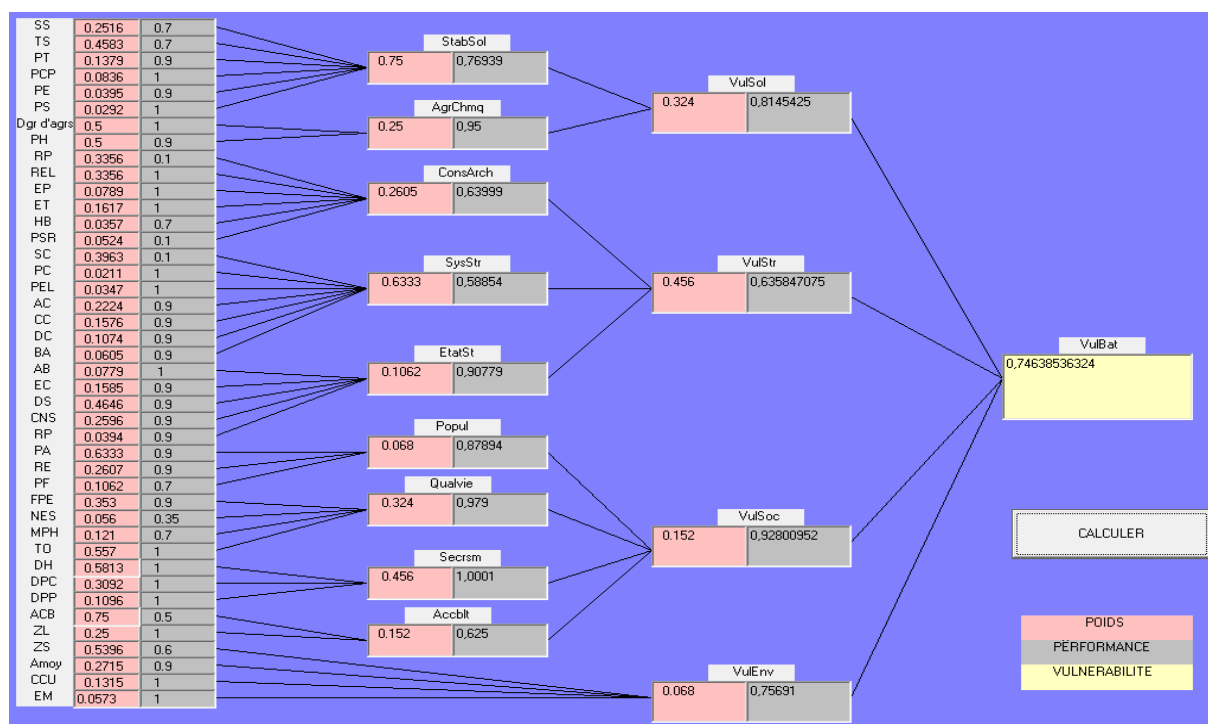


Figure IV.20. Evaluation de la vulnérabilité du bloc D

E. Bloc E

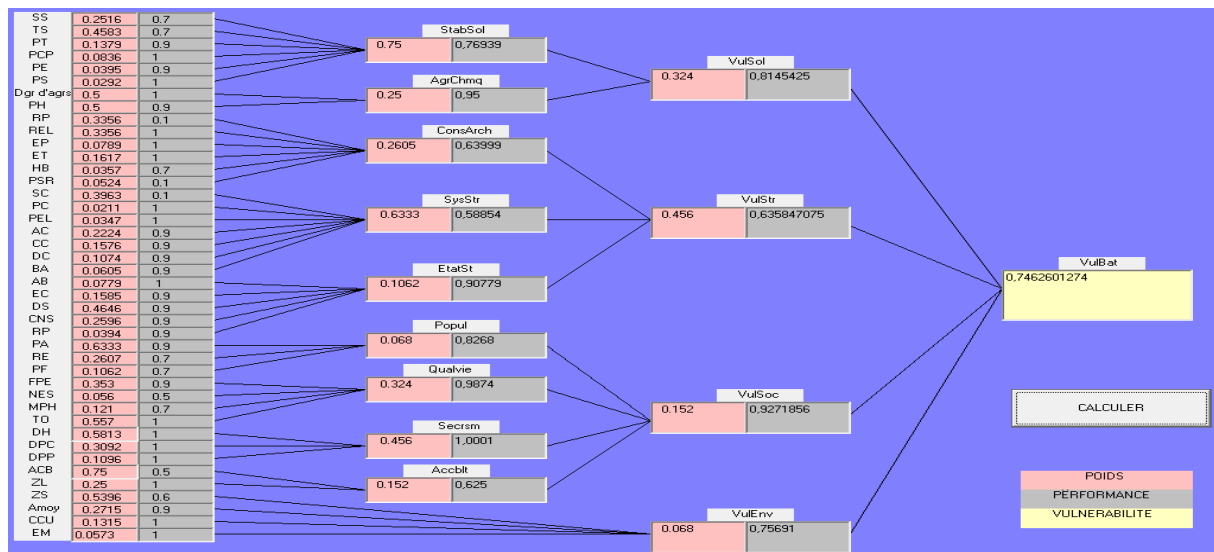


Figure IV.21. Evaluation de la vulnérabilité du bloc E

IV.4 Vulnérabilité des cas d'études présentés dans le mémoire Hassani & Tahir, 2022

En utilisant Visual Basic, nous avons calculé la vulnérabilité des cas étudiés dans le mémoire de fin d'études de Hassani et Tahir (2022). Nous avons cependant recalculé la performance des indices de performance : PT, PCP, PS, Agrchim, HB, SC, AB, CNS, PR, TO, DH, DPC, et DPP. Ces recalculs ont été effectués en raison de la modification des échelles de ces indices.

IV.4.1 Cas d'étude n°01 « AADL »

A. Bâtiment 20

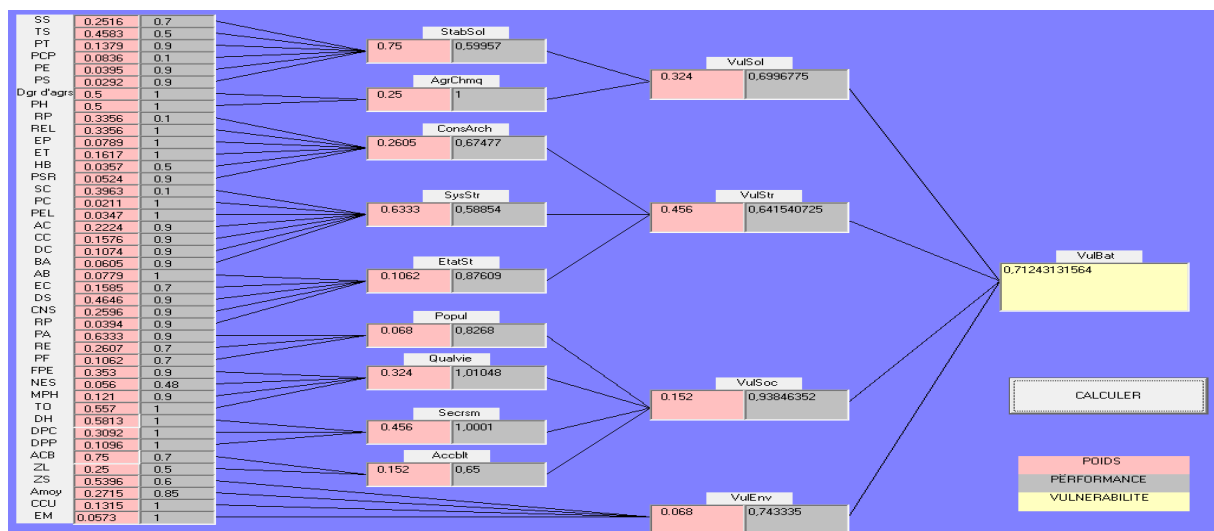


Figure IV.22. Evaluation de la vulnérabilité du bâtiment 20

B. Bâtiment 19

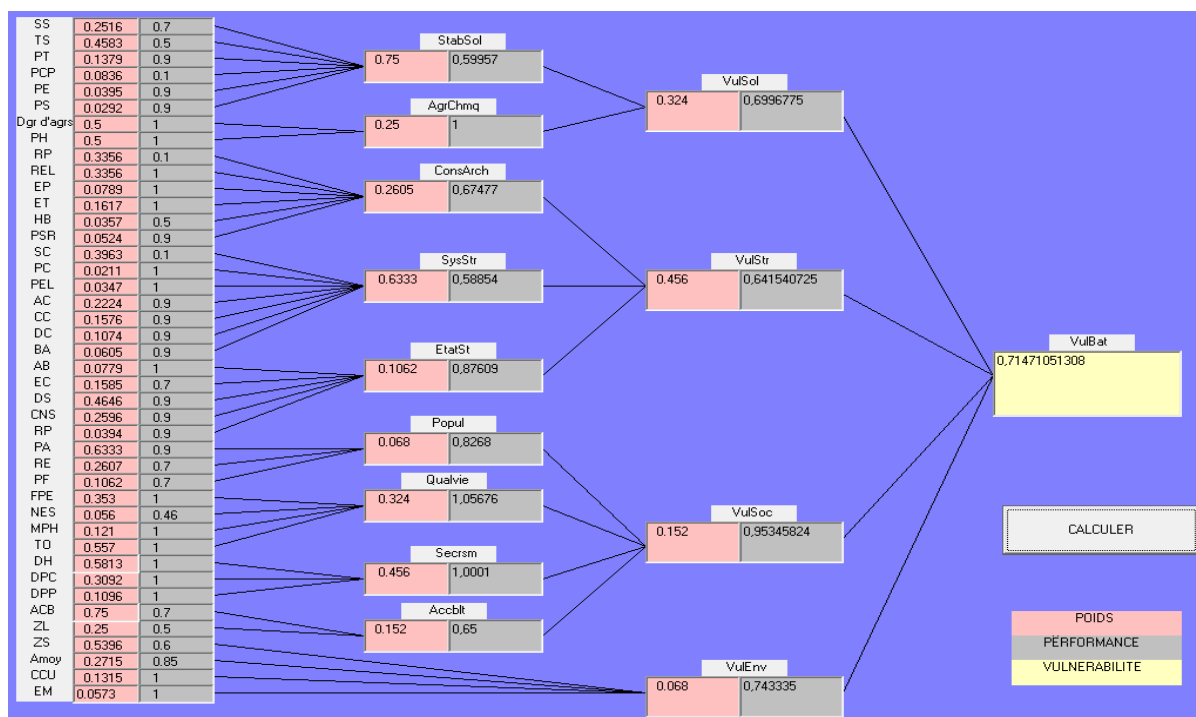


Figure IV.23. Evaluation de la vulnérabilité du bâtiment 19

C. Bâtiment 27

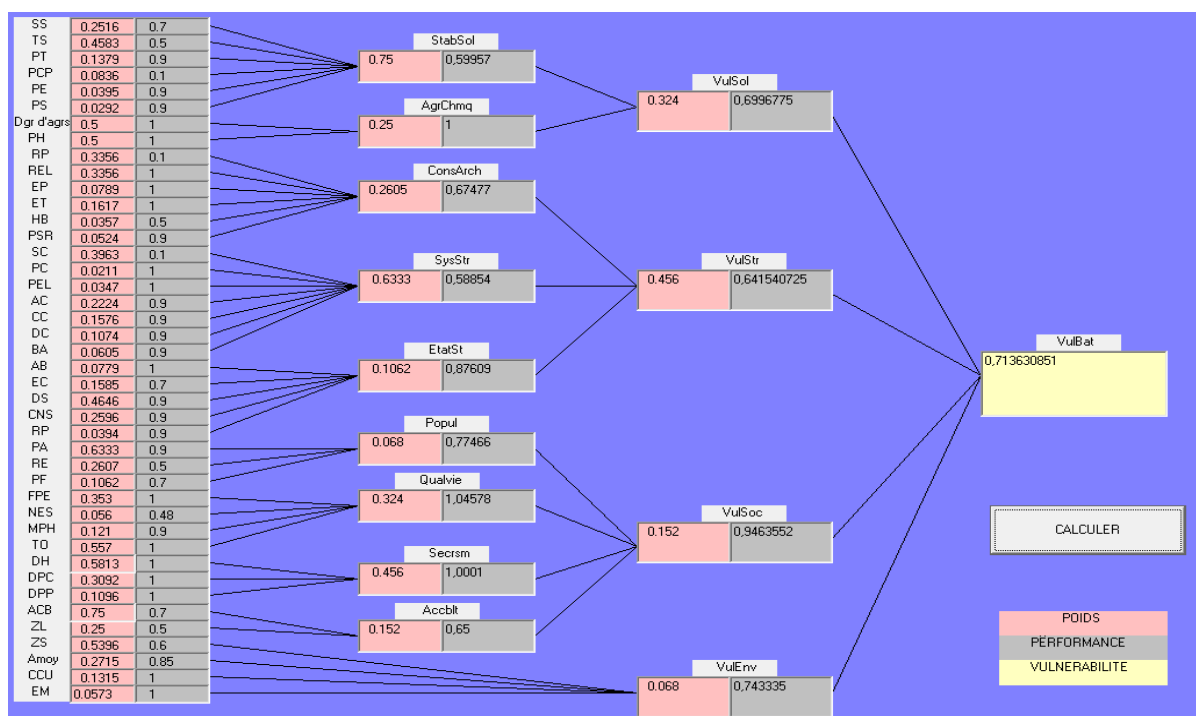


Figure IV.24. Evaluation de la vulnérabilité du bâtiment 27

D. Bâtiment 28

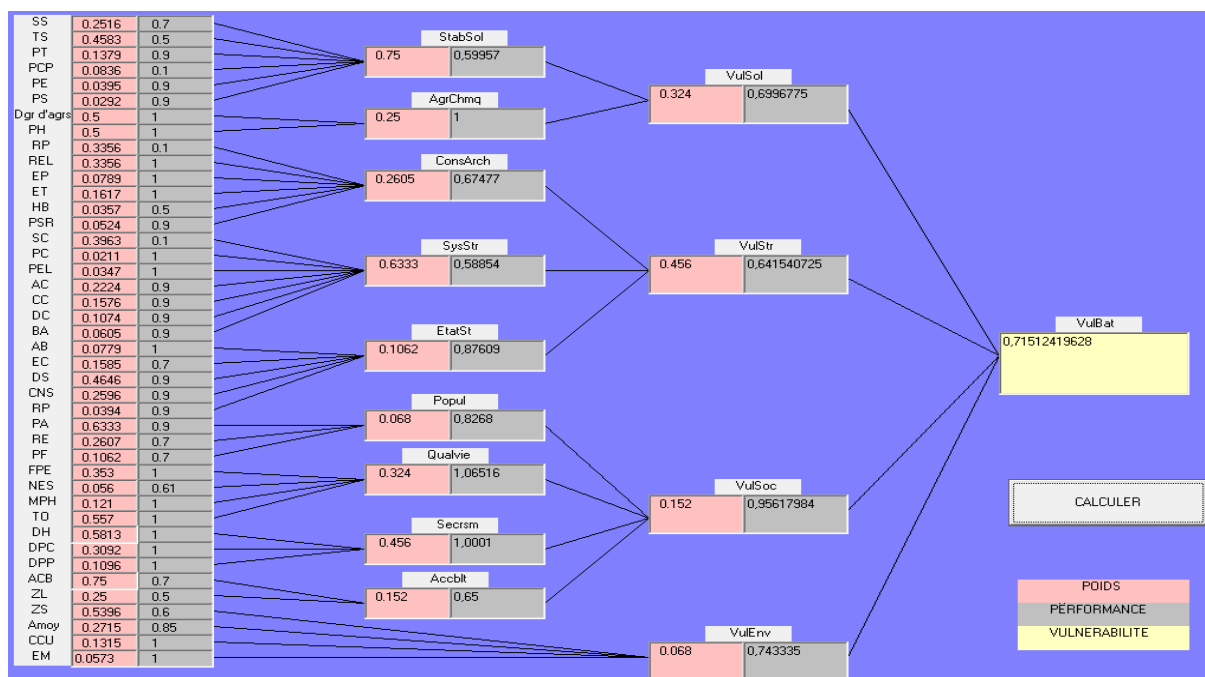


Figure IV.25. Evaluation de la vulnérabilité du bâtiment 28

IV.4.2 Cas d'étude n°02 « Ait Laaziz »

A. Bâtiment A

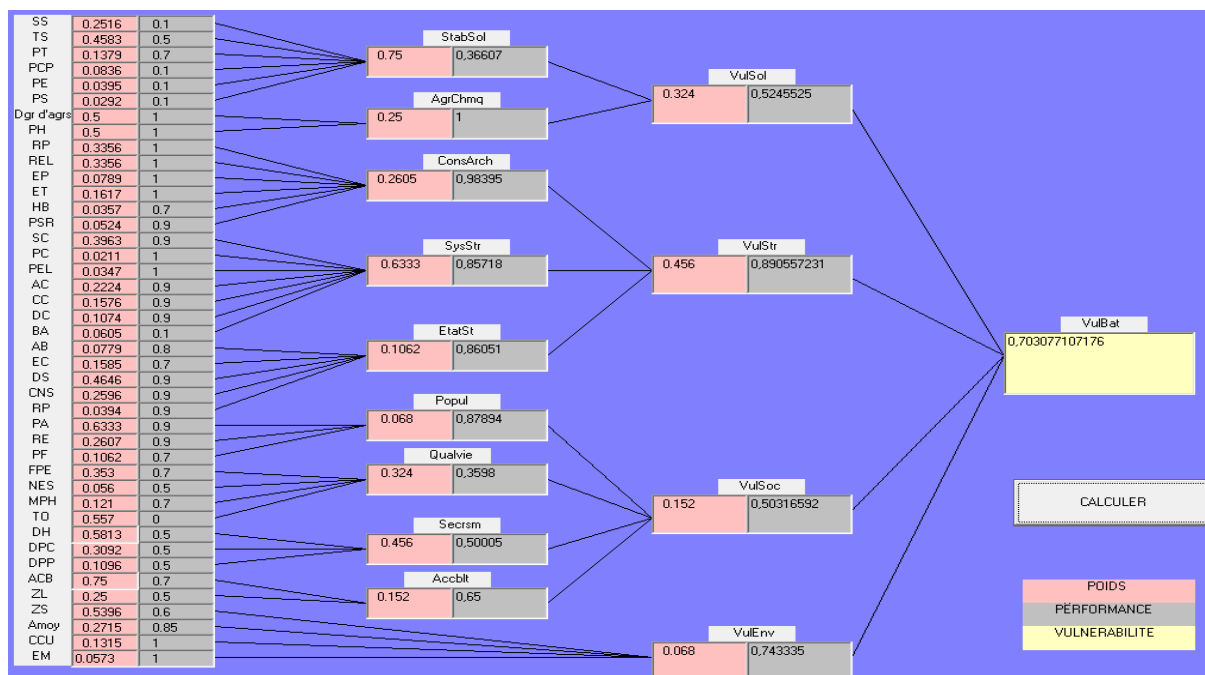


Figure IV.26. Evaluation de la vulnérabilité du bâtiment A

E. Bâtiment B

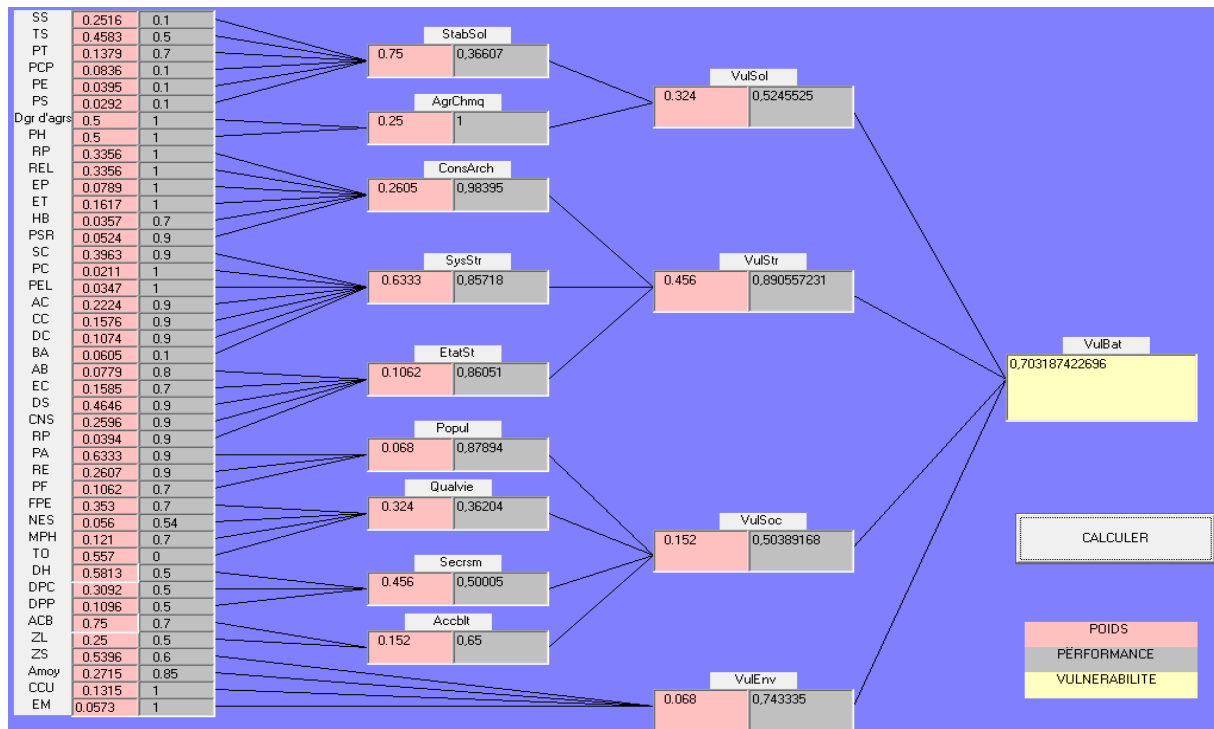


Figure IV.27. Evaluation de la vulnérabilité du bâtiment B

IV.5 Cartographie des résultats obtenus

IV.5.1 Présentation du logiciel ArcGIS

ArcGIS est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, ArcGIS est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias. ArcGIS permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque. Le système est disponible partout au moyen de navigateurs Web, d'appareils mobiles tels que des smartphones et d'ordinateurs de bureau ([ArcGIS ressources, 2012](#)).

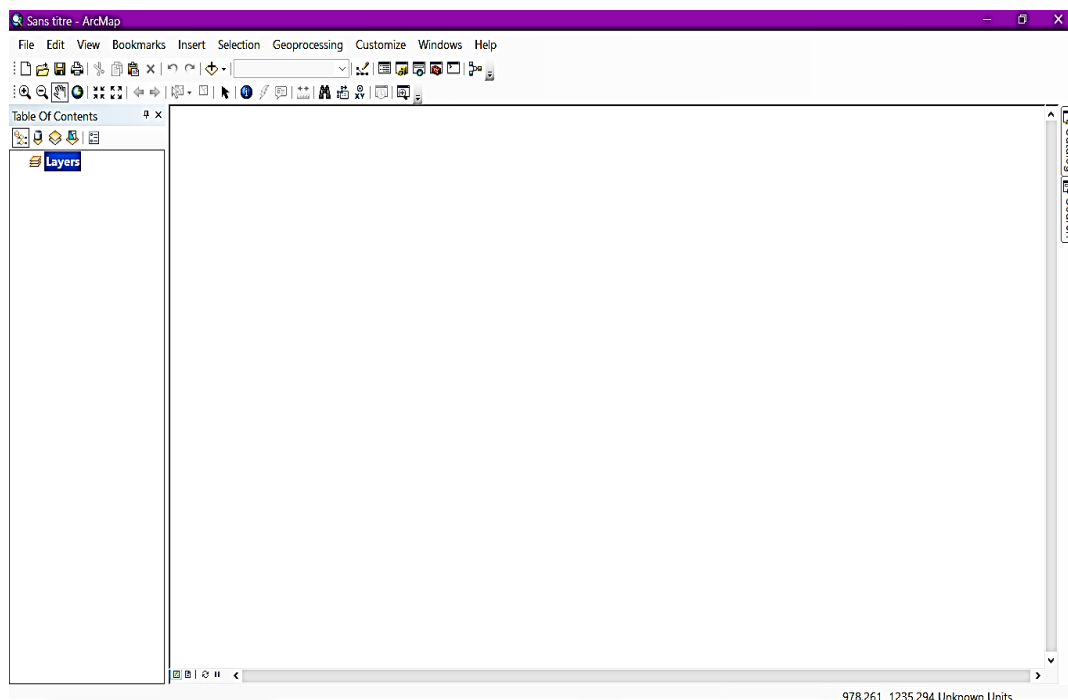


Figure IV.28. Interface du logiciel ArcGIS

IV.5.2 Cartes de la vulnérabilité sismique de chaque région

L'ArcGIS est utilisée dans notre projet pour montrer la classe de la vulnérabilité de chaque bâtiment étudié, comme suit :

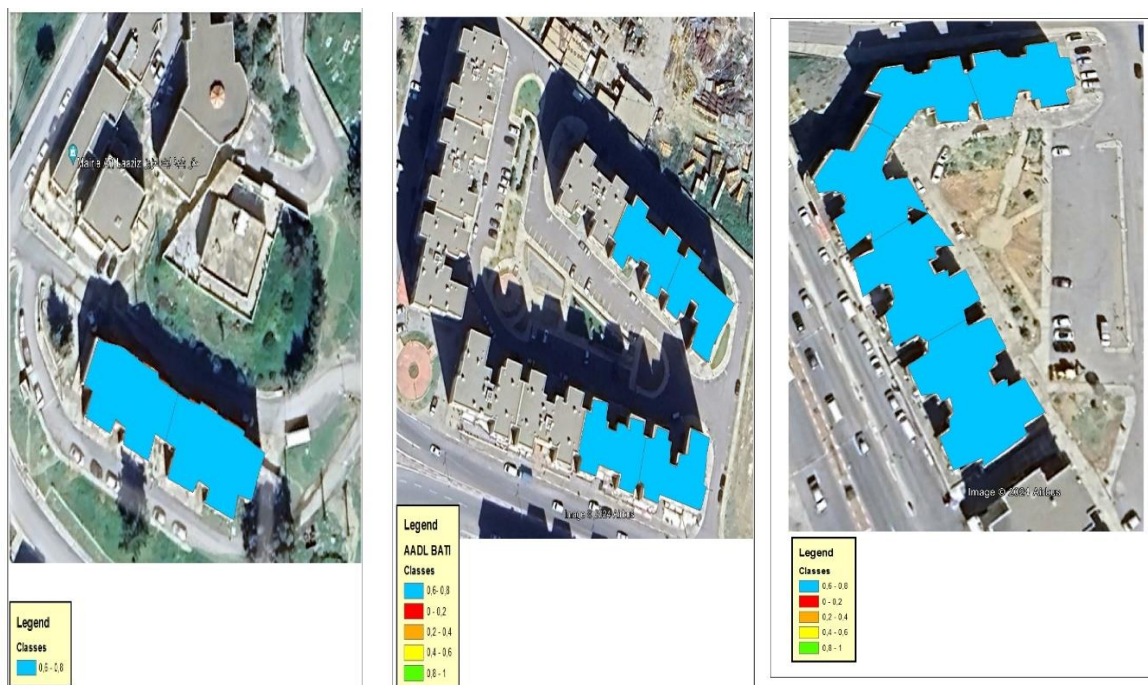


Figure IV.29. Présentation de la vulnérabilité sismique des cas étudiés sur ArcGIS



Figure IV.30. Présentation de la vulnérabilité sismique des cas étudiés sur ArcGIS (Suite)

Tous les bâtiments étudiés sont représentés en bleu, ce qui indique qu'ils sont classés dans la 4^e classe de vulnérabilité sismique, avec des valeurs allant de 0.6 à 0.8. Ils sont tous en bleu parce que les vulnérabilités du sol, structurales et environnementales de chaque bâtiment sont proches, car ces constructions se situent dans la même zone sismique et ont été édifiées selon des normes et des réglementations similaires.

IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons mis en pratique notre méthodologie validée dans le troisième chapitre à différents cas de bâtiments d'habitation. Grâce à visual basic, les calculs ont été simplifiés et l'évaluation de la vulnérabilité sismique a été effectuée de manière efficace et précise. Grâce à cette plateforme, nous avons réussi à simplifier les calculs et à obtenir des résultats fiables concernant la vulnérabilité sismique des structures étudiées.

Ensuite, pour illustrer visuellement et présenter les diverses catégories de la vulnérabilité sismique de chaque édifice, nous avons employé le logiciel ArcGIS.



Conclusion générale

Conclusion générale

La majorité des pays dans le monde ont développé et adopté des méthodes spécifiques pour évaluer la vulnérabilité sismique de leurs bâtiments, en prenant en considération leurs contextes géologiques, architecturaux et réglementaires spécifiques. Cependant, l'Algérie n'avait pas encore une méthode adaptée à ses spécificités locales. Les bâtiments algériens sont exposés à des risques accrus en cas de séisme en raison de cette lacune, car il n'y a pas d'évaluation précise et contextualisée de leur vulnérabilité. C'est dans cette situation que nous avons développé la méthode VulBat-AL, spécialement conçue pour évaluer la vulnérabilité sismique des bâtiments d'habitation dans le contexte algérien.

Pour développer une telle approche méthodologique. Nous avons débuté le premier chapitre, par une étude bibliographique afin de saisir le contexte de la vulnérabilité. Après cela, afin d'évaluer l'adéquation et les limites de notre méthodologie, il était essentiel d'avoir une connaissance précise de l'habitat en Algérie.

Notre méthodologie a été présentée dans le chapitre 2, en utilisant deux approches complémentaires : la méthode descendante « Top-down » et la méthode ascendante « Bottom-up ». Grâce à notre première approche, nous avons pu organiser le cadre de notre méthodologie en identifiant les divers paramètres d'évaluation de la vulnérabilité, en établissant des méthodes de calcul et en élaborant des résultats. En outre, une deuxième méthode a été mise en place pour atteindre les niveaux supérieurs et évaluer ainsi l'indice de vulnérabilité sismique des constructions résidentielles. Dans cette optique, nous avons utilisé la méthode de la somme pondérée pour l'agrégation et la méthode AHP pour la pondération des paramètres d'agrégation. Afin de faciliter les calculs, nous avons créé un programme en Visual Basic. Par la suite, nous avons présenté la méthode Risk-UE.

Au cours du troisième chapitre, nous avons mis en pratique la méthodologie mis au point ainsi que la méthode Risk-UE sur des situations concrètes de constructions d'habitation dans la région de Taghzout. L'objectif de cette application est de de comparer les valeurs obtenues et de valider notre méthodologie.

Finalement, nous avons utilisé la méthode Vulbat-AL pour évaluer la vulnérabilité sismique dans quatre régions différentes. Afin de présenter clairement cette vulnérabilité de manière claire et identifier leur classe de vulnérabilité, nous avons utilisé le logiciel ArcGIS.

Ce travail a abordé un sujet vaste et toujours novateur, ce qui ouvre de nombreuses perspectives de recherche.

- La pondération des IPs lors de la création des matrices de décision présente une certaine subjectivité, ce qui peut être corrigé par une analyse de variantes.
- La généralisation de la méthodologie à l'échelle du quartier et de la ville serait plus intéressante, car les résultats seront plus importants.
- Le parc ancien doit présenter des résultats nettement inférieurs à ceux-ci. Il serait possible d'examiner cette tâche ultérieurement.



Références bibliographiques

Références bibliographiques

AFPS, Vulnérabilité aux séismes du bâti existant, Association Française du Génie parasismique, Paris, France, 2000.

Antoine, G. (2019). Arrêt Khan contre France de la CEDH: l'arbre qui cache la Jungle. Journal d'actualité du Droit International et Européen, (17).

ArcGIS ressources : Qu'est-ce que ArcGIS. Consulté le Mai 28, 2024, sur <http://resources.arcgis.com>.

Armas et Ayram. (2009). Conceptual approaches concerning risk, vulnerability and adaptation. Risks and catastrophes journal 15(2): 7.

Armaş I. (2012). Multi-criteria vulnerability analysis to earthquake hazard of Bucharest, Romania. Natural hazards, vol. 63 n°2, 1129–1156. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0209-2>.

Armaş, I. and Gavriş, A. Social vulnerability assessment using spatial multi-criteria analysis (SEVI model) and the Social Vulnerability Index (SoVI model) – a case study for Bucharest, Romania, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 13, 1481–1499, <https://doi.org/10.5194/nhess-13-1481-2013>, 2013.

ATC, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, ATC 40, Applied Technology Council, Redwood City, California, Etats-Unis, 1996.

Battier J. (2002). Guide d'évaluation de la présomption de vulnérabilité du bâti existant. Cahier technique AFPS n°24. Association Française du Génie Parasismique. AFPS, Paris Cedex 07. <http://www.afps-seisme.org/>, 164.

Belmouden, Y., Lestuzzi, P. (2006). Evaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments existants en Suisse, Seismic vulnerability assesment of existing building in Switzerland. École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL).

Ben Mena S. (janvier 2000). Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision. Volume 4 (2000), Numéro 2, 83-93 URL: <https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=15338>.

Building Seismic Safety Council (US), National Earthquake Hazards Reduction Program (US), & BSSC Program on Improved Seismic Safety Provisions. (1992). NEHRP handbook for the seismic evaluation of existing buildings (Vol. 47). The Council.

Callahan, Edward J. Kathleen A. McCluskey-Fawcett, West Virginia University Conference on Life-Span Developmental Psychology (7th: 1980). Life-span developmental psychology: nonnormative life events. Academic Press, 1983, 348 p. ISBN 978-1-4832-6864-4, OCLC 893740607.

- Cariolle, J., & Guillaumont, P. (2011). A retrospective economic vulnerability index: 2010 update (No. B17). FERDI Policy Brief.
- CEN, Eurocode 8 : Design of structures for earthquake resistance part 1. General rules, seismic actions and rules for building. Comité Européen de Normalization Brussels, (2005). 1: p. 1998-1.
- Cherifi, F. (2017, November). Évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments en portiques en béton armé. Paper presented at the 2nd International Congress on Materials & Structural Stability, Rabat, Morocco, 21-24 November 2017.
- Cherqui, F. (2005). Méthodologie d'évaluation d'un projet d'aménagement durable d'un quartier – méthode ADEQUA, Thèse de doctorat. Université de la rochelle, France. 202 pages.
- CGS. (s.d.). Centre National de Recherche Appliqué en Génie Parasismique. (2003). Document Technique Réglementaire (DTR B-C 2 48), Règles Parasismiques Algériennes RPA99 / version 2003. République Algérienne Démocratique et Populaire, Ministère de l'Habitat. Alger, Al.
- Conseil d'état du canton de Fribourg (1990). Arrêté du 10 Avril 1990 relatif à la conservation du patrimoine architectural alpestre.
- CRAAG. (s. d.). Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique. Consulté le Mai 05, 2024, sur <http://www.craag.dz>.
- DEBET A., déc. 2018 V. pour une réflexion très complète, LE DU N., « *Le consentement à l'acte médical des personnes vulnérables* », Thèse Université Paris Est, dir.
- (DREC/SVGC-SIG), CETE Méditerranée. Comparaison de méthodes qualitatives d'évaluation de la vulnérabilité des constructions aux séismes. France, Novembre 2008.
- 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.
- FEMA310, Handbook for the seismic evaluation of buildings. Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, 1998.
- Guéguen P. (2007). Gestion du patrimoine bâti et risque sismique : automatisation de calcul de l'indice de vulnérabilité des bâtiments. Programme de recherche 2007 financé par le Conseil Général de l'Isère.
- Guézo, B., & Verrhiest, G. (2008). Réduction de la vulnérabilité aux inondations et valorisation urbaine. Cadre méthodologique pour la conduite d'un diagnostic de quartier: Illustration par l'exemple du quartier du Faubourg à Béziers. Méthodologie risques naturels majeurs, MEEDDAT, 32p.
- Hassani, F, Tahiri, G. (2022). Évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments d'habitation en Algérie. Partie 3 : Finalisation de la méthodologie et application à la ville de Bouira (mémoire de fin d'étude, université de Bouira).
- Larousse. (s.d). Dictionnaires français. Consulté le mai 27, 2024, sur <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/vuln%C3%A9rable/82657#ISgYiAraWAKv89d.d.99>.

- Leone F et al. (2007). Développement d'une méthodologie d'analyse spatiale des destructions consécutives au tsunami du 26 décembre 2004 (Banda aceh, Indonésie. Open edition journals , Volume 82/1-2 2007.
- Leone F, et Vinet F. (2005). La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles. Analyses géographiques, Collection de l'équipe d'accueil GESTER Université Paul-Valéry — Montpellier III.
- Marris G-C et Edwards J-P. (1995). The biology of the ectoparasitoid wasp *eulophus pennicornis* (Hymenoptera: Eulophidae) on host larvae of the tomato moth, *Lacanobia oleracea* (Lepidoptera: Noctuidae). Bulletin of entomological research , Volume 85 Issue 4.
- Martin, C. (2019). Penser la vulnérabilité. Les apports de Robert Castel 1. Les Cahiers de la justice, (4), 667-677.
- Milutinovic, Z.V. and Trendafiloski, G.S. (2003) Risk-UE An Advanced Approach to Earthquake Risk Scenarios with Applications to Different European Towns. Contract: EVK4-CT-2000-00014, WP4: Vulnerability of Current Buildings.
- Milutinovic ZV, Trendafiloski GS (2003) Vulnerability of current buildings RISK-UE project of the EC: an advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns
- Moussaoui F, Cherrared M. (2014). Contribution à l'évaluation de la durabilité des bâtiments d'habitation en Algérie – Étude des dégradations structurelles. Les Premières Rencontres Nationales de Génie Civil – Bejaia, Algérie.
- Moussaoui F, Cherrared M. (2015). Contribution to assessment of the seismic performance of residential buildings in the Algerian context. International Conference Numerical Modeling Strategies for Sustainable Concrete Structures, Rio de Janeiro, Brazil .
- Moussaoui F et al. (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, Volume 42, Pages 622-636.
- Moussaoui F, Cherrared M. (2021). Application of the AHP method for the development of a seismic performance index for residential buildings in Algeria. Algérie équipement, 77-89.
- Office National des Statistiques: ONS. (s.d.). Consulté le Avril 15, 2024, sur <https://www.ons.dz/spip.php?rubrique3>.
- Oliveira, C. S., Roca, A., & Goula, X. (2006). Assessing and managing earthquake risk. Geo-Scientific and Engineering Knowledge for Earthquake Risk Mitigation: Developments, Tools, Techniques, Edit. Springer.
- Oris, M. (2009). Transitions dans les parcours de vie et construction des inégalités. PPUR presses polytechniques.
- Ourabah A et al. (2010). Analyse pushover d'une structure auto stable (R+8) pushover analysis of multistory structures. Symposium international sur la Construction en Zone Sismique, Université Hassiba Benbouali de Chlef, Algérie.

Pellissier, V. (2004). Evaluation de stratégies pour la gestion du risque sismique du bâtiment (No. 3074). EPFL.

Pohekar S et Ramachandran M. (2004). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , Volume 8, Issue 4, Pages 365-381.

Rohrmann B. (1995). A socio-psychological model for analyzing. *Disaster and Trauma Studies* , Volume : 2000-2.

RPA. (1999). Regles Parasismique Algériennes 99- Virsion 2003. Ministre de l'habitat. Document technique réglementaire DTR BC 2 48. Centre national de recherche appliquée en génie parasismique. 120.

Saaty T. (June 1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, Volume 15, Issue 3, Pages 234-281.

SAATY, T. L. (1996) : Fondamental of the Analytic Network Process. Pittsburgh, University of Pittsburgh, USA.

Sharpe, R. L. (1986). Guidelines for Seismic Design and Construction of Single-story Masonry Dwellings in Seismic Zone 2 (Vol. 5). Applied Technology Council.

Siddiqui, F. (2015, January 25). The importance of Visual Basic programming language. Individual Member of Institute of Management Consultants of India-IMCI; Pursuing CMA-USA.

Slovie P. (1992). Perceptions of Risk: Reflections on the Psychometric Paradigm.

Techno-science: consulté le le mai 27, 2024 sur : <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Vulnerabilite-informatique.html>.

Waas et al. (2014). Sustainability Assessment and Indicators: Tools in a Decision-Making Strategy for Sustainable Development. *Economic and Business Aspects of Sustainability*, Sustainability, 6(9), 5512-55.