

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



ECOLE POLYTECHNIQUE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME



LABORATOIRE ARCHITECTURE ET ENVIRONNEMENT

THÈSE DE DOCTORAT EN SCIENCE

Option : Architecture et Environnement

Développement d'un outil d'aide à la conception parasismique en architecture basée sur la notion de raisonnement à base de cas (RBC)

Présentée et soutenue publiquement par :

BENABDELFATTAH Mohamed

Directeur de thèse : Pr. KEHILA Youcef

Devant le jury composé de :

Pr. BOUSSOUALIM Aicha, Présidente, EPAU d'Alger.

Pr. FARSI Mohamed, Examineur, CGS-Alger.

Pr. BALI Abderrahim, Examineur, ENP d'Alger.

Pr. DJEDID Abdelkader, Examineur, Université de Tlemcen.

Pr. DJEBRI Boualem, Examineur, EPAU d'Alger.

Pr. KEHILA Youcef, Directeur de thèse, EPAU d'Alger.

Présentée le 19 juin 2019 à l'EPAU d'Alger

En tout premier lieu, je remercie le bon Dieu, tout puissant, de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Gloire à Toi ! Nous n'avons du savoir que ce que Tu nous as appris. Certes c'est Toi L'Omniscient, Le Sage. [Sourate 2 versé : 32.]

Remerciements

Comme le veut la tradition, je vais tenter de satisfaire au difficile exercice de la page des remerciements, peut-être la tâche la plus ardue de ces années de thèse. Non qu'exprimer ma gratitude envers les personnes en qui j'ai trouvé un soutien soit contre ma nature, bien au contraire. La difficulté tient plutôt dans le fait de n'oublier personne. C'est pourquoi, je remercie par avance ceux dont le nom n'apparaît pas dans cette page et qui m'ont aidé d'une manière ou d'une autre. Ils se reconnaîtront.

La première personne que je tiens à remercier est Pr. Kehila Youcef, qui a su me laisser la liberté nécessaire à l'accomplissement de mes travaux, tout en y gardant un œil critique et avisé. Nos continuelles discussions, oppositions, contradictions et confrontations ont sûrement été la clé de notre travail commun. Plus qu'un encadrant, je crois avoir trouvé en lui un père-ami qui m'a aidé aussi bien dans le travail que dans la vie lorsque j'en avais besoin.

Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury qui ont accepté de participer à mon jury de thèse : Pr. BOUSSOUALIM Aicha, Pr. FARSI Mohamed, Pr. BALI Abderrahim, Pr. DJEDID Abdelkader, et Pr. DJEBRI Boualem.

Je remercie Pr. MAZOUZ Said, Pr. ZEMMOURI Nouredine, Pr. TAZI Abdelkader, Pr. SEMCHA Abdelaziz, Pr. MEKARTA Belkacem, et Pr. KHELAFI Hamid qui ont beaucoup apporté à mon travail de thèse. J'éprouve un profond respect pour leur travail et leur parcours. Le regard critique et avisé qu'ils porteront sur mes travaux ne peut que m'encourager à être encore plus perspicace et engagé dans mes recherches.

Je remercie aussi Dr BOUKRI Mehdi, Pr. KHLIFA Mansouri, Dr DABOU Rachid, MAKHLOUFI Abdelkrim sans oublier l'aide précieuse du Pr FARSI Mohamed. Mes remerciements les plus sincères à toute l'équipe pédagogique des départements d'architecture de : Blida, EPAU, Biskra et USTO, ainsi qu'aux membres de laboratoires LAE-EPAU et LDDI-Adrar.

Enfin, ces remerciements ne sauraient être complets si je n'y incluais mes parents pour l'aide morale et la motivation qu'ils m'ont apporté pour achever ce travail et mes proches pour leur soutien, leur confiance et leurs encouragements tout au long de ces années de thèse. Un énorme merci à vous tous. Et je terminerai en remerciant ma femme et mes enfants Ahmed-Rachad, Iyad-Abdelkader et Mohamed-Yamen.

Résumé

En Algérie, la région de concentration des populations et des activités est le territoire tellien qui est un espace tectoniquement complexe à vulnérabilité sismique très élevée. Les récentes catastrophes qu'a enregistrées le pays ont mis au jour une perception de cette forte vulnérabilité, accentuée par les pratiques architecturales et urbanistiques qui considèrent encore que la sécurité face au risque sismique, dans le domaine de bâtiment est uniquement une question d'ingénierie. Pourtant, un bâtiment ne peut être parasismique seulement si c'est le produit d'une collaboration étroite entre un architecte et un ingénieur dès les phases préliminaires de la conception. En effet, le concepteur est confronté au quotidien à des situations auxquelles, il doit apporter des solutions, les meilleurs possibles. Pour ce faire, il doit avoir un maximum d'informations sur le projet et puiser surtout, dans son expérience et son savoir-faire. Plusieurs approches sont proposées pour implémenter cet état de fait dans une machine en lui fournissant les informations nécessaires, afin de permettre à celle-ci, de trouver des solutions adéquates.

Parmi les approches impliquant l'intelligence artificielle, le raisonnement à base de cas flou (RBCF) semble, le plus proche comme démarche de résolution des problèmes adoptée dans l'acte de concevoir. En effet, cette démarche peut être utilisée pour aider l'architecte dans la conception parasismique et trouver des solutions optimales. Nous préconisons dans ce sens, d'exploiter la méthode de l'indice de vulnérabilité sismique pour assister l'acte de l'architecte en génie parasismique, afin de remédier aux limites observées dans le RBC classique.

L'originalité de ce travail consiste à appliquer un modèle d'assistance et d'évaluation de vulnérabilité sismique dès la phase précoce du projet architectural. Elle donne au concepteur et aux différents intervenants, une estimation fragmentée permettant à la fois de clarifier les différentes situations d'analyse et du développement du projet, mais aussi, de stimuler la compréhension des concepts architecturaux vis-à-vis de l'aléa sismique. De plus, il donne une illustration concrète aux acteurs afin de cerner au mieux, les relations formelles entre les différents attributs influant sur la réponse sismique de la structure.

Mots clés

Conception architectural; parasismique; raisonnement à base de références; logique floue; indice de vulnérabilité sismique.

Abstract

The lesson brought by the last seismic events demonstrates that a building can be parasismic only if it is the product of a close cooperation between an architect and a civil engineer as of the early phases of the design. However, in the Algerian context neither cooperation is provided nor device tools are used by architects during the earthquake designing process. And this is mainly due to the inadequacy of these tools to designers, especially architects. They often encounter situations in which they have to find the most suitable solutions in terms of design. Their basic task is to get hold of the maximum amount of information concerning the constraints that serve in backing the designing process. Hence, architects' experimental skills as well as know-how are essential. Here, we aim to provide the various actors with practical Algerian earthquake-resistant building information modeling software to understand and integrate safety concepts regarding seismic risks. We propose integrating fuzzy logic to the case based reasoning and to exploit the seismic vulnerability index so as to assist the architect in his/her architectural parasismic design. This tool is based on applying a model of seismic vulnerability assessment from the very early schematic design phase of an architectural project. It gives the designer and the various actors a fragmented estimate in order to distinguish the different analysis/development situations of the project, as well as an overall understanding of the architectural concepts regarding the seismic hazard. Moreover, it offers the actors a concrete illustration so that to better identify the formal relationship between the different attributes that influence the seismic response of the building.

Key words

Architectural design; earthquake-resistant; case based reasoning; fuzzy logic; seismic vulnerability index.

ملخص البحث

يعتبر المشروع المعماري محصلة تسلسل طويل ومعقد من النشاط التصميمي، فهو بمثابة تخطيط متعدد المجالات المتداخلة والمتكاملة فيما بينها. فضمن هذا العمل المعتبر كنشاط لفك المعضلات، عادة ما تؤخذ القرارات واحداً تلو الآخر؛ إذ أن كل مرحلة من مراحلها تكون توجيهية وتقريرية ومرتبطة ارتباطاً وثيقاً ومشروطاً بسابقتها، فدور المعماري أن يعي ذلك جيداً، وأن يسير العملية بنجاحة يضمن بها استيفاء الشروط الضرورية المتعلقة بالجانب الثقافي والوظيفي والاقتصادي، وكذا التفاعل الميكانيكي الضامن لاستقرار المشروع المعماري، بهدف حماية حياة المستعمل من جميع الأخطار المحدقة به.

بيد أن واقع النشاط المعماري، لا يزال يعتبر أن مجال الحماية ضد الأخطار خصوصاً خطر الزلازل، هو فقط مسألة حسابات تدقيقية وتكميلية من المهام الحصرية على المهندس المدني.

إن موضوع هذه الدراسة يندرج ضمن المجال العام للبحوث المنبثقة إشكالاتها من موضوع تسيير خطر الزلازل، وبالخصوص ما نحن بصدد، والمتمثل في دراسة أهم العوامل المميزة للمشاريع المعمارية، وهي دراسة الأثر المترتب عن إدماج البعد الزلزالي من عدمه، ضمن الأطوار الابتدائية للمشروع المعماري المختصة بالمهندس المعماري، والذي يسهم بثلاثة أرباع من المئة في زيادة أو نقصان الحساسية والهشاشة تجاه خطر الزلازل. وكذا إنشاء إطار نظري ومنهجي يسمح بنقل و استخدام المعارف المتعلقة بالهندسة المقاومة للزلازل كلغة تعبيرية في عملية التصميم المعماري.

الكلمات المفتاحية

التصميم المعماري، الهندسة المقاومة للزلازل، الاستدلال المرجعي، المنطق الضبابي، معامل الهشاشة الزلزالي

Table de matières

Remerciements	I
Résumé	I
Mots clés	I
Abstract	II
Key words	II
ملخص البحث	III
الكلمات المفتاحية	III
Table de matières	IV
Liste des figures	VIII
Liste des tableaux	XI
Liste des symboles et abréviations	XII
Chapitre 01 Introduction générale	15
1.1 Introduction	15
1.2 Les problématiques spécifiques de la recherche	32
1.3 Objectifs et intérêt de travail	33
1.4 Les hypothèses de départ.....	34
1.5 Méthodologie et structure de la thèse.....	34
Chapitre 02 La conception architecturale parasismique	40
2.1 Introduction	40
2.2 La nature de l'activité de conception architecturale.....	41
2.3 La théorie de la résolution de problème	46
2.3.1 Un processus mental.....	46
2.3.2 Le comportementalisme	46

2.3.3 Une activité associée à la cognition	47
2.3.4 La représentation de l'espace du problème	48
2.3.5 L'engendrement des solutions.....	50
2.4 Conduite des phases d'élaboration du projet architectural.....	52
2.5 La prise en compte du risque sismique	56
2.6 Philosophie de la conception parasismique.....	58
2.6.1 Le concept d'aléa	59
2.6.2 Le concept de vulnérabilité	59
2.6.3 Le concept de risque.....	61
2.6.4 La réduction du risque sismique.....	62
2.7 Synthèse du chapitre.....	64
Chapitre 03 Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale	67
3.1 Introduction	67
3.2 Stratégies de conception parasismique.....	68
3.2.1 La stratégie de minimiser l'action sismique.....	69
3.2.2 La stratégie de maximiser la capacité de réaction.....	70
3.3 Les outils d'aide à la conception parasismique.....	71
3.3.1 Règles expertes (savoir-faire).....	71
3.3.2 Codes simplifiés	72
3.3.3 Codes spécialisés.....	72
3.4 L'évaluation de la vulnérabilité du bâtiment.....	73
3.4.1 Méthodologie d'IZIIS	73
3.4.2 Méthodologie EPM	73
3.4.3 Méthode du CETE Méditerranée (fin des années 1990).....	74
3.4.4 Méthode de Milan Zacek (1993).....	74

3.4.5	Méthode de Milan Zacek, bâtiments de classe D de la ville de Nice (1997)	74
3.4.6	Méthode BATTIER (2002)	74
3.4.7	Méthode du projet européen RISK-UE (2003)	74
3.4.8	Méthode VULNERALP (2005)	74
3.4.9	Méthode Canadienne (1992)	74
3.4.10	Méthode du CETE de Lyon (2001).....	74
3.4.11	Méthode FEMA-154	74
3.4.12	Grille d'évaluation suisse (2003)	74
3.4.13	Méthode néo-zélandaise (2006)	74
3.4.14	Méthode japonaise (2001).....	74
3.4.15	Méthode italienne GNDT.....	74
3.5	L'indice de vulnérabilité sismique	76
3.6	Le parasismique ; au regard des architectes Algériens.....	80
3.6.1	La méthode d'analyse des besoins	81
3.6.2	L'analyse des conditions courantes.....	82
3.6.3	Les modes de collaboration Architecte/Ingénieur.....	83
3.7	Description de la procédure suggérée	90
3.7.1	La structure linéaire.....	92
3.7.2	La structure en boucle	93
3.8	Synthèse du chapitre.....	95
Chapitre 04 La combinaison de la logique floue avec le (RBC).....		99
4.1	Introduction	99
4.2	Le raisonnement à base de références	100
4.2.1	Recherche des cas les plus similaires	101
4.2.2	Réutilisation de la solution des cas retrouvés.....	102
4.2.3	Révision de la solution proposée si nécessaire.....	103

4.2.4 Retenir la nouvelle solution comme une partie d'un nouveau cas	103
4.3 Besoin de présentation graphique durant le processus de conception	104
4.4 La logique floue	107
4.4.1 Conception et implémentation d'un système d'inférence flou.....	107
4.4.2 Les ensembles flous et les fonctions d'appartenance.....	109
4.4.3 Variables Linguistiques.....	112
4.4.4 Les opérations sur les ensembles flous	123
4.4.5 Les règles floues.....	126
4.4.6 Agrégation des règles floues	129
4.5 Synthèse du chapitre.....	131
Chapitre 05 Évaluation de la performance de SeVA-Tool.....	135
5.1 Introduction	135
5.2 L'architecture du système proposé.....	136
5.3 Validation scientifique du modèle.....	146
5.3.1 Validation technique	147
5.3.2 Validation expérimentale	150
5.4 Synthèse du chapitre.....	155
Chapitre 06 Conclusion générale	158
Bibliographie.....	166
ANNEXES	Erreur ! Signet non défini.

Liste des figures

Figure 01: définitions de la nature.....	16
Figure 02: La pyramide des besoins humains de MASLOW (McLeod, 2007)	18
Figure 03: Distribution des tremblements de terre par pays. A- dans la région méditerranéenne ; B- dans le monde (par rapport les données collectées).....	23
Figure 04: Principaux séismes (1365-2006), (Yelles, 2010).....	24
Figure 05: Les trois séismes de décembre 2003 A. Californie ; B. Taiwan ; C. Bam d'Iran	27
Figure 06: Conduite des phases de conception et réalisation (Conan, 1990).....	28
Figure 07: Le degré de complexité du processus d'élaboration du projet architectural, Inspiré de : ((Conan, 1990) ; (Djafi, 2005)).....	30
Figure 08: L'arbre décisionnel (Peter Rowe 1987).....	48
Figure 09: Diagrammes en arbre, selon C. Alexander (1971).....	49
Figure 10: Le rôle du couple « formulation problème / solution » dans l'avancement du processus d'élaboration du projet architectural (DJAFI F. 2005).....	54
Figure 11: Aléa : Événement potentiellement dangereux.....	59
Figure 12: Intérêts menacés par l'aléa.....	60
Figure 13: Le couple Aléa violent / Enjeux importants.....	61
Figure 14: Les pondérations relatives aux paramètres de la méthode de GNDT (Senouci et al. 2015, P. 03).....	79
Figure 15: Les pondérations relatives aux paramètres de la méthode de VULNERAP (Senouci et al. 2015, P. 04).....	79
Figure 16: Les pondérations relatives aux paramètres de la méthode de RISK-EU (Senouci et al. 2015, P. 05).....	80
Figure 17: Les étapes de détermination des besoins (Benabdelfattah 2018).....	82
Figure 18: La pratique de la conception commune entre Architecte/ingénieur.....	85

Figure 19: Les pratiques de la conception adoptées.....	86
Figure 20: Le niveau de formation scientifique parasismique.....	88
Figure 21: Approche de conception architecturale proposée (Benabdelfattah 2018).....	94
Figure 22: L'implication de RBC durant l'élaboration du projet (Benabdelfattah, 2016).....	102
Figure 23: Les principales étapes dans le processus d'un système de RBC.....	103
Figure 24: Les références de l'idée d'occultation de l'Institut du Monde Arabe (Scaletsky, 2003).....	106
Figure 25: Processus d'implémentation d'un SIF.....	109
Figure 26: La fonction caractéristique de la logique binaire.....	109
Figure 27: La fonction caractéristique de $\mu_A(x)$	111
Figure 28: La fonction d'appartenance de $\mu_A(x)$	112
Figure 29: La fonction d'appartenance de la régularité en plan.....	113
Figure 30: Les formes le plus utilisées pour les fonctions d'appartenance (trapézoïdal, triangulaire, gaussien, singleton).....	114
Figure 31: Régularité en plan (RPA 99 2003).....	119
Figure 32: Régularité en élévation (RPA 99 2003).....	120
Figure 33: Les fonctions d'appartenances qui sont associées au site de projet.....	121
Figure 34: Les fonctions d'appartenances qui sont associées à la régularité en plan.....	121
Figure 35: Les fonctions d'appartenances qui sont associées à la régularité en élévation.....	122
Figure 36: Les fonctions d'appartenances qui sont associées à la période fondamentale de la structure.....	123
Figure 37: Représentation de l'union de l'ensemble A et B.....	124
Figure 38: Représentation de l'intersection de l'ensemble A et B.....	125
Figure 39: Le complément de A.....	125
Figure 40: La différence d'un ensemble A par rapport l'ensemble B.....	126

Figure 41: Les 144 règles de notre système flou.....	128
Figure 42: La méthode de centre de surface sous la courbe de la fonction d'appartenance.....	130
Figure 43: Les fonctions d'appartenance de sortie (Output) qui sont associées à la vulnérabilité sismique de projet.....	131
Figure 44: Le diagramme du système Fuzzy SeVA-tool proposé.....	138
Figure 45: L'architecture du système développé.....	139
Figure 46: Assistance par apport au site d'implantation (type du sol). Conçu par : (Labview 2018).....	140
Figure 47: Assistance par apport à la régularité du plan. Conçu par : (Labview 2018).....	141
Figure 48: Assistance par apport à la régularité en élévation. Conçu par : (Labview 2018).....	141
Figure 49: Assistance par apport à la période fondamentale calculée. Conçu par : (Labview 2018).....	142
Figure 50: Assistance par apport à l'indice de vulnérabilité global Conçu par : (Labview 2018).....	142
Figure 51: Le diagramme du SeVA-Tool. (a) Conçu par : (Labview 2018).....	144
Figure 52: Le diagramme du SeVA-Tool. (b) Conçu par : (Labview 2018).....	145
Figure 53: Comparaison entre les résultats obtenus par l'SeVA-Tool et ceux de Iv élaborés (Math Works 2009).....	150
Figure 54: La fourchette d'âge et les diplômes universitaires des architectes retenus.....	152

Liste des tableaux

Tableau 1. Quelques séismes majeurs et pertes associées	20
Tableau 2 Tableau comparatif des 13 méthodes étudiées par (Verrhiest, Aufret and Roussillon, 2008)	75
Tableau 3 Valeurs de T_1 et de T_2	116
Tableau 4 Valeur de pénalité.....	117
Tableau 5 Les ensembles flous adoptés pour notre système d'inférence flou	117
Tableau 6 Les valeurs de C_T	119
Tableau 7 La forme canonique des règles d'un système d'inférence flou	127
Tableau 8 Situation et données géométriques des exemples de validation.....	148
Tableau 9 Résultats de validation.....	149
Tableau 10 Distribution géographique des architectes algériens selon la sismicité des wilayas administratives (CNOA, 2017)	151

Liste des symboles et abréviations

A : Coefficient d'accélération de zone (%)

B, B_m, B_i : Largeur du bâtiment à la base , en tête , à l'étage « i » (m)

C : Construction

C_T: Coefficient de période

D : Facteur d'amplification dynamique moyen

DE : Détails d'Exécution

EFP : Élaboration Finale du Projet

ESP : Élaboration Schématique du Projet

h_i, h_j, h_n: Hauteurs des niveaux « i », «j» et « n »

IA : Intelligence artificiel

l_x, l_y, ou l₁, l₂ : Largeur des décrochements en plan

L : Longueur de bâtiment, dimension de plancher perpendiculaire à la direction de l'action sismique (m)

LF : logique floue

L_x, L_y: Largeur et longueur de bâtiment dans la direction « x » ou « y »

P : Programmation

P_q: Pénalité a retenir dans la détermination du coefficient Q

Q : Facteur de qualité

R : Coefficient de comportement

RàPC : raisonnement à partir des cas

RàPR : raisonnement à partir des références

RBC : raisonnement à base de cas

Liste des symboles et abréviations

S_i ($i=1, 2, 3, 4$) : Symboles désignant les différentes catégories de site

SIF : système d'inférence flou

T : Période fondamentale de la structure (sec)

T_1 T_2 : Période caractéristiques associées à la catégorie de site (sec)

V : force sismique totale appliquée à la base de la structure (2-1) (KN)

W : poids total de la structure

CHAPITRE I

Introduction générale

« Bâtir, c'est édifier un artifice à l'usage d'une société ou d'une partie de celle-ci et que la nature n'a pas procuré. Les fourmis et leurs fourmilières, les oiseaux et leurs nids, les termites et leurs termitières, les castors et leurs habitats, les abeilles et leurs ruches sont dans le règne animal des sociétés bâtisseuses bien indépendantes de l'aventure humaine. Les aventures humaines seraient donc, dans un continuum quasi animal de compléter la nature. » (Rémy BUTLER, 2015)

Chapitre 01 Introduction générale

1.1 Introduction

La biosphère terrestre étant de plus en plus marquée par l'empreinte de l'homme, il devient de plus en plus difficile d'y trouver des espaces purement naturels. Le caractère imprécis de la définition même de *Nature* entretient une ambiguïté dans la relation entre Homme et Nature. Le mot *Nature* est polysémique. Au sens commun du terme, la nature est définie selon deux approches (figure 01) :

- « l'ensemble des êtres et des choses qui constituent l'univers [...] », l'Homme en fait donc partie;
- “*l'ensemble du monde physique considéré en dehors de l'Homme*”. C'est donc l'ensemble des phénomènes et des systèmes non modifiés par l'homme. C'est une définition qui restreint la nature aux éléments biotiques et abiotiques qui entourent l'être humain, qui agissent sur lui et sur lesquels il agit en interaction. Ou bien « *l'ensemble de ce qui, dans le monde physique, n'apparaît pas comme transformé par l'Homme [...]* », qui s'oppose aux choses artificielles, c'est-à-dire créées par l'Homme, et à l'Homme qui en est exclu. (Bertrand *et al.*, 2001).

Selon cette seconde acception, les forces géologiques et particulièrement les “tremblements de terre“ sont une composante de la nature qui participent à l'animation des écosystèmes et de la biosphère sur terre. Ils font partie des phénomènes naturels que l'homme ne maîtrise pas, ne peut empêcher ou « reproduire ».

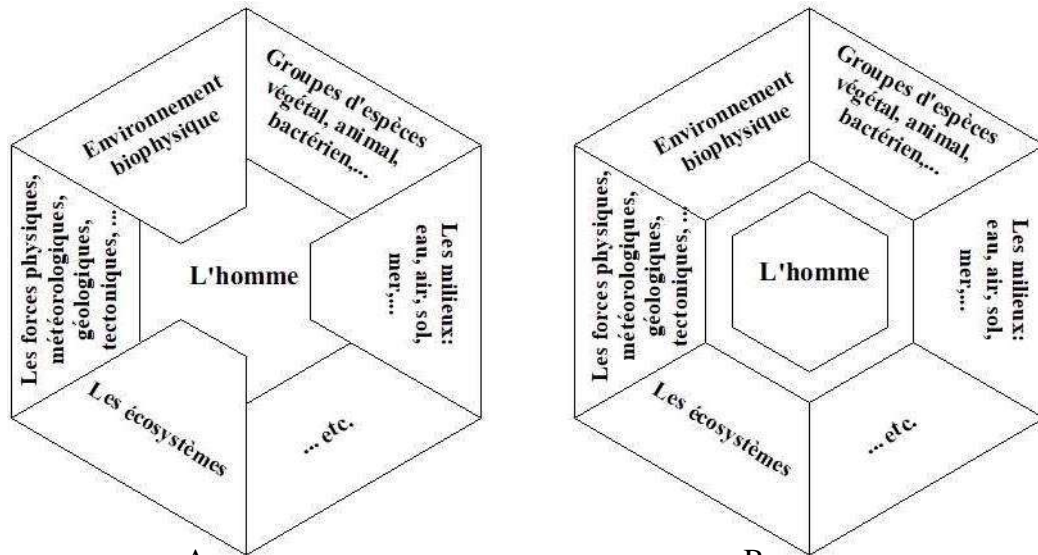


Figure 01 : Définitions de la nature

Un séisme, ou tremblement de terre est un mouvement sur une faille qui engendre des secousses plus ou moins violentes et destructrices à la surface du sol, (sans ignorer les petites secousses d'origine volcanique, effondrement des cavités ou autres). Ce sont parmi les catastrophes naturelles les plus destructrices dans l'Histoire de l'humanité. Ils sont certes inévitables et presque toujours imprévus, « *On ne « commande pas» aux séismes, mais l'homme est entièrement responsable des constructions qu'il édifie. Or plus de 90% de pertes en vies humaines sont dues à l'effondrement de constructions, alors que la construction de bâtiments résistant aux séismes est possible [...]* » (Zacek, 2010). Les séismes entraînent souvent :

- pertes de vies humaines ;
- destruction du patrimoine bâti ;
- arrêt ou ralentissement de l'activité économique.

Si les tremblements de terre sont inévitables, or l'effondrement des bâtiments ne l'est pas. L'Homme étudie donc ce phénomène, afin de cerner ses caractéristiques et de prévenir (ou tenter d'éviter) les dommages qui en résultent. Prévoir en s'appuyant sur les connaissances scientifiques est aujourd'hui possible aujourd'hui. D'après Patricia Balandier (1999), Le progrès actuel nous permet de Connaître « à l'avance » :

La localisation possible des séismes, leur récurrence et fréquence approximative.

Le comportement du site d'implantation du bâtiment sous l'effet des secousses avec une marge d'incertitude qui décroît rapidement avec l'avancée des connaissances.

Le type de construction à éviter sur ce site. Les secousses d'un même séisme peuvent être très différentes d'un site à l'autre : plus ou moins fortes, plus ou moins longues, mais aussi avoir des caractéristiques très variables. La construction doit donc être appropriée aux types de secousses possibles sur son site d'implantation.

Les règles de conception et les plans d'urbanisme efficaces à établir à partir de ces connaissances.

La prédiction n'est pas encore possible aujourd'hui, même si la recherche tente d'y parvenir dans différents pays très concernés par le risque sismique. Prédire le moment où va se produire un phénomène naturel surtout un séisme reste complexe, voire, jusqu'à nos jours, inaccessible à l'Homme jusqu'à nos jours. On ne peut pas encore « lancer l'alerte » qui permettrait d'évacuer efficacement les locaux avant les secousses. En revanche, on peut décrire d'une manière assez précise ce qui peut arriver dans une zone sismique. Les tremblements de terre sont en effet des aléas naturels, dont l'évènement ne peut être connu qu'en termes de probabilité. C'est la compréhension de ce phénomène naturel, acquise par la recherche fondamentale en premier lieu, qui permet par la suite de prévenir les catastrophes, alors faisons de la prévention et adaptons nos constructions.

Les caractéristiques d'un séisme, comme de toute force naturelle sont décrites par les réponses à ces cinq questions principales:

1. Quelle est la cause du phénomène ?
2. Quand se produit-il (dans les limites de possible) ?
3. Où ?
4. Quelle est la magnitude du phénomène ?
5. Quelles sont ses conséquences ?

Les individus ont toujours recherché la sécurité qui fait partie des besoins fondamentaux des hommes et des sociétés entières, et la satisfaction de ce besoin nous assure un épanouissement et un équilibre social.

Le psychologue Américain MASLOW Abraham (1907-1980) établit une représentation hiérarchique des besoins de l'homme (figure 02), dans lequel le besoin de sécurité succède immédiatement aux besoins physiologiques (McLeod, 2007). L'insatisfaction

de ce besoin entrave la satisfaction des couches supérieures de la pyramide et par conséquent nuit inévitablement à l'épanouissement des individus.

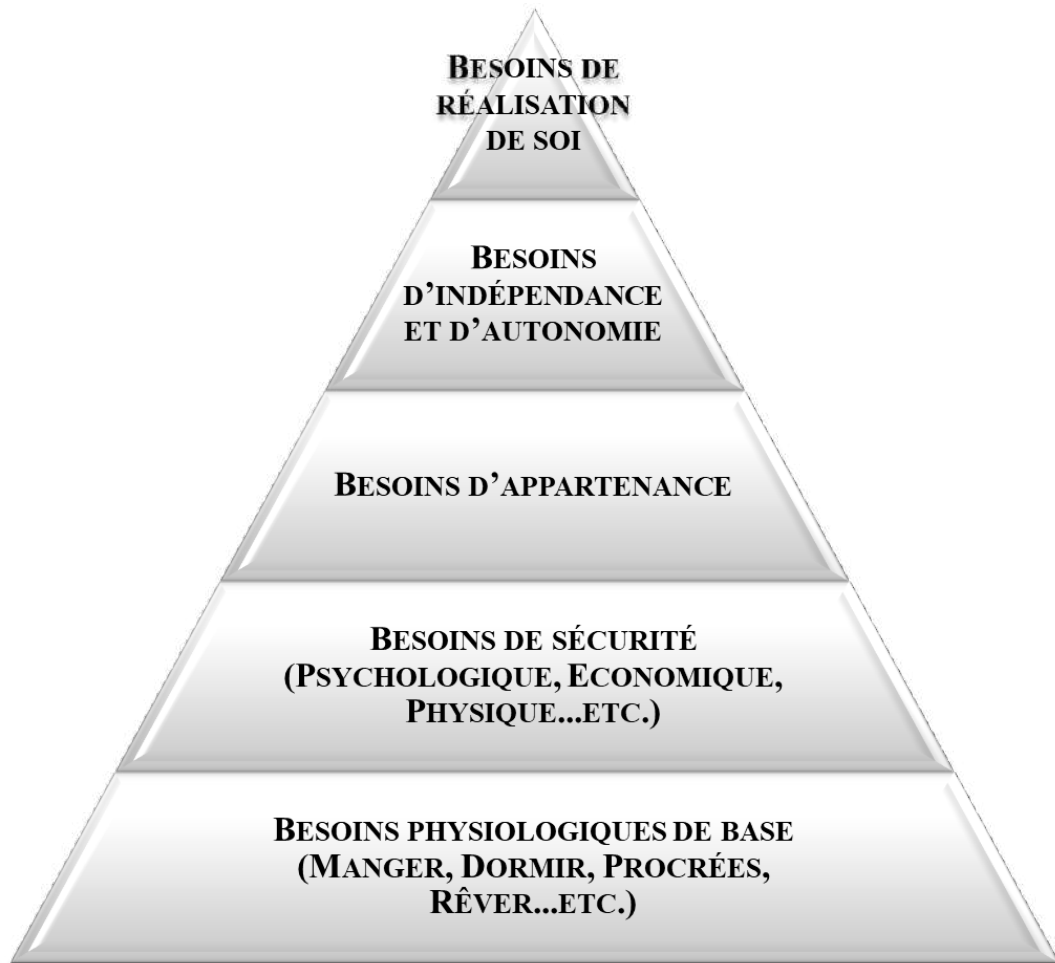


Figure 02 : La pyramide des besoins humains de MASLOW (McLeod, 2007)

Plus de 21 versets coraniques stipulent aussi que l'épanouissement de l'humanité que ce soit dans notre vie sur terre ou dans la vie éternelle est étroitement conditionné par le besoin de sécurité. Comme exemple illustratif, en termes d'importance et de priorité, notre Seigneur évoque en premier le besoin de sécurité avant les besoins physiologiques « *Et Allah propose en parabole une ville : elle était en sécurité, tranquille; sa part de nourriture lui venait de partout en abondance. Puis elle se montra ingrate aux bienfaits d'Allah. Allah lui fit alors goûter la violence de la faim et de la peur [en punition] de ce qu'ils faisaient* » (Sourat Enahl, verset : 112). En termes de bénédiction, Allah classe le besoin de sécurité en deuxième position : « *A cause du pacte des Qoraïsh, 2. De leur pacte [concernant] les voyages d'hiver et d'été. 3. Qu'ils adorent donc le Seigneur de cette Maison (la Kaaba). 4. qui les a nourris contre la faim et rassurés de la crainte!* »

(Sourat Qoraïsh, versets : 1-4) Le besoin de sécurité est sans aucun doute le besoin recherché en primo par l'homme et l'humanité entière (Elmasri, 2002).

Au cours de l'histoire, l'Homme a toujours recherché la sécurité et la protection au sein de sa ville, remparts et murailles en témoignent encore. Michelle RAGON (1985) dans la 19^{ième} page de son livre 'L'homme et la ville' raconte que : « *Les trois plus grands ennemis des citadins ont toujours été la guerre, la famine et la peste. Contre la guerre le rempart ; contre la famine, les greniers à blé, les citernes d'eau, les jardins ; contre la peste, très souvent seulement la prière [...]* ». Cependant, cette protection devait faire face à d'autres menaces différentes de celles auxquelles nos villes contemporaines sont exposées et qui peuvent être dévastatrices. Ce sont les risques naturels et technologiques en général et plus particulièrement ceux d'origine naturelle (géologique, climatique ou environnementale) (JORADP, 2004).

Parmi les catastrophes naturelles qui affectent la surface de la terre, les tremblements de terre sont, sans doute, celles qui ont le plus d'effets destructeurs dans les zones urbanisées. Le tableau ci-après présente quelques séismes majeurs et les pertes associées dans le monde entre 1908 et 2015. La majorité des données collectées ont été situées dans la région méditerranéenne, afin de démontrer le caractère actif de la sismicité de notre pays. Elles nous montrent aussi l'omniprésence du risque sismique à l'échelle temporelle et spatiale du monde entier. Les séismes entraînent des pertes en vies humaines, la destruction du patrimoine immobilier et des moyens de production et affectant considérablement l'activité économique de la région touchée.

Ce risque appelé séisme ou de tremblement de terre a toujours été considéré comme un événement fatal auquel on ne peut s'opposer. Les tremblements de terre ne sont pas un phénomène rare. « *Tous les ans, il se produit sur notre globe en moyenne vingt séismes violents. Heureusement, ils ne touchent pas directement tous les zones peuplées [...]* » (Zacek, 1996). C'est pour cela, que parmi ces milliers de tremblements de terre qui se produisent chaque année dans le monde, quelques-uns sont parfois à l'origine d'une catastrophe. Les séismes sont les risques naturels les plus craints car ils sont les plus imprévisibles et inévitables, auxquels sont soumis les populations et les biens. Ils prélèvent chaque année leur lot de victimes et régressent économiquement les régions touchées. Voir tableau ci- contre.

Tableau 1. Quelques séismes majeurs et pertes associées

Echelle temporelle	Echelle spatiale		Pertes millions de dollars	Echelle temporelle	Echelle spatiale		Pertes millions de dollars
Date	Pays	victimes		Date	pays	victimes	
28.12.1908	Italie	85,925 Morts	10,000 Sans- Abris	04-02-76	Guatemala	22778	1100
11.06.1909	France	46Mor 250 blessés		06-05-76	Italie	978	3600
13.01.1915	Italie	29,978 Mor.	13,000 S.A	27-07-76	Chine	242000	5600
29.02.1960	Maroc	13 100, 25,000	20,000	17-07-76	Philippines	3564	120
21-05-60	Chili	3 000 Mor.	880	24-11-76	Turquie	3626	25
21.02.1963	Libye	300, 375	8500 (S.A)	04-03-77	Roumanie	1387	800
26-07-63	Yougosl	1 070 Mor.	600	12-06-78	Japon	28	865
28-03-64	USA	131 Mor.	540	16-09-78	Iran	20000	11
16-06-64	Japon	26 Mor.	205(S.A)	15-04-79	Yougoslavie	131	2700
15.01.1968	Italie	216, 563		13-12-82	Yémen	3000	90
28.03.1970	Turquie	1086, 1200	80,000	02-03-1987	Nlle- Zèlande	0	350
31-05-70	Pérou	67000	500	05-03-1987	Equateur	1000	700
06.02.1971	Italie	24 Mor., 150 bles.	5000 (S.A)	01-10-87	États-Unis	8	358
09-02-71	USA	65	535	07-12-88	Arménie	25000	14000
10-04-72	Iran	5400	5	17-10-89	États-Unis	68	6000
23-12-72	Nicaragu	5000	800	28-12-89	Australie	12	3200
06.09.1975	Turquie	2386 Mor., 4500	100,000	21-06-90	Iran	40000	7000

Introduction générale

06.05.1976	Italie	978, 2400	157,000	16-07-90	Philippines	1660	2000
13.03.1992	Turquie	653, 3850	36,000 S.A	20-10-91	Inde	2000	100
12.10.1992	Egypte	557, 9900	50,000 S.A	12-10-92	Égypte	561	300
01.10.1995	Turquie	96 Mor.	240	12-12-92	Indonésie	2500	100
23.07.1949	Grèce	7 Mor., 435 bles.	/	29-09-93	Inde	7600	280
12.08.1953	Grèce	476, 2412	10,000	17-01-94	États-Unis	60	30000
09.03.1965	Grèce	38 Mor., 253 bles.	/	17-01-95	Japon	≈6000	100000
20.06.1978	Grèce	50 Mor., 100 bles.	/	29-02-60	Maroc		120
24.02.1981	Grèce	22 Mor., 400 bles.	100,000	06-09-75	Turquie	2400	17
26.01.2014	Grèce	0	6	04.08.1908	Algérie	12	/
24.05.2014	Grèce	3	266	24.06.1910	Algérie	81	/
07.09.1999	Grèce	143	1600	25.08.1922	Algérie	4	/
13.05.1995	Grèce	0	25	16.03.1924	Algérie	4	/
15.06.1995	Grèce	26	60	24.08.1928	Algérie	4	/
13.09.1986	Grèce	20 Mor., 300 bles.	/	07.09.1934	Algérie	0	11
01.05.2003	Turquie	520	176	10.02.1937	Algérie	2	16
30.10.1983	Turquie	1330., 1142	25,000 S.A	16.04.1943	Algérie	9	11
27.06.1998	Turquie	145	1041	12.02.1946	Algérie	277	118
12.11.1999	Turquie	845	4948	06.08.1947	Algérie	3	8
02.02.1999	Espagne	9	327	17.02.1949	Algérie	2	16
17.08.1999	Turquie	17127	43,953	09.09.1954	Algérie	1243	5000
19.05.2011	Turquie	3	94	07.11.1959	Algérie	0	2
23.10.2011	Turquie	644	2608	21.02.1960	Algérie	47	129

24.02.2004	Maroc	629	926	01.01.1965	Algérie	5	25
11.05.2011	Espagne	9	300	24.11.1973	Algérie	4	43
13.12.1990	Italie	19, 200	2500 S.A	10.10.1980	Algérie	2633	8369
26.09.1997	Italie	14	100	27.10.1985	Algérie	10	30
31.10.2002	Italie	30	100	29.10.1989	Algérie	35	700
06.09.2002	Italie	2	20	18.08.1994	Algérie	172	295
06.04.2009	Italie	306	1500	22.12.1999	Algérie	26	174
29.05.2012	Italie	17	350	10.11.2000	Algérie	2	50
23-11-80	Italie	3114	10000	21.05.2003	Algérie	2278	11450
24-02-81	Grèce	25	900	23.11.1980	Italie	4689, 7700	235,000

Infos tirées de plusieurs ouvrages [les données sont tirées de(Payany, 1983; EERI (Earthquake Engineering Research Institute), 2003b, 2004, 2006, 2012, 1992, 1998, 1999, 2003a; Benouar, 1994; Ayadi *et al.*, 2002; Afps, 2003; JAEE (Japan Association of Earthquake Engineering), 2003; Yelles-Chaouche, 2004; Altinok *et al.*, 2005; RMS (Risk Management Solutions), 2008; Storchak, 2013; Ayadi and Bezzeghoud, 2015; NOAA, 2016; Guettiche, Guéguen and Mimoune, 2017; Baratta, 1910; Davidovici, 1999; Azzouz and Rebzani, 2005; Barbano, Azzaro and Grasso, 2005; Kedroussi, 2007; RMS (Risk Management Solutions), 2008)]

La forte pression de l'urbanisme et le retentissement de plus en plus grand donné par les médias aux effets dévastateurs des tremblements de terre ont fait naître un peu partout dans le monde une prise de conscience nouvelle vis-à-vis des risques sismiques. En effet, les conséquences des catastrophes sismiques ont augmenté ces dernières décennies. Cette évolution s'explique principalement par la vulnérabilité de la structure urbaine, qui est étroitement liée à la vulnérabilité du cadre bâti, des réseaux d'infrastructure et de la morphologie locale du site.

L'Algérie a de tout temps été soumise à une activité sismique dense, avec comme résultats des pertes humaines et matérielles importantes, dommageables non seulement aux individus et collectivités locales, mais également au pays entier dont elles peuvent parfois ralentir le développement pour un certain nombre d'années. Le nord du pays, en

particulier, a connu dans le passé et connaît toujours une activité sismique dense à l'instar du séisme du 21 mai 2003 d'Alger-Boumerdès qui a touché la zone la plus sensible du territoire national et y a laissé des traces marquantes sur le bâti ancien et même les nouvelles constructions. L'ampleur du désastre est grande : Environ 2300 victimes et 5 milliards de dinars de dommages causés au parc immobilier (Kedroussi, 2007).

Il est estimé que 98% des pertes en vies humaines sont le résultat direct de l'effondrement des constructions (Foufa, 2001). Ces tremblements de terre se sont toujours produits et il s'en produira d'autres à l'avenir. Faute de pouvoir les éviter, on doit chercher à limiter leurs dommages graves causés aux constructions (entre dégradations irréversibles et effondrement total), dans les villes en général et même dans les régions entièrement exposées à ce risque, autrement dit : réduire le risque sismique.

La région méditerranéenne inclut plusieurs pays connaissant une activité sismique variée. Des pays d'une activité sismique modérée, prenant l'exemple de la France et de la Libye. Et ceux ayant une forte sismicité, tel que l'Italie, l'Algérie et, la Grèce). La majorité des données présentées dans le tableau 02 ont été principalement situées dans les pays de la méditerranée, dont 37.00% par rapport la région méditerranéenne, et 33% des séismes mentionnés étaient en Algérie (Voir la figure 03).

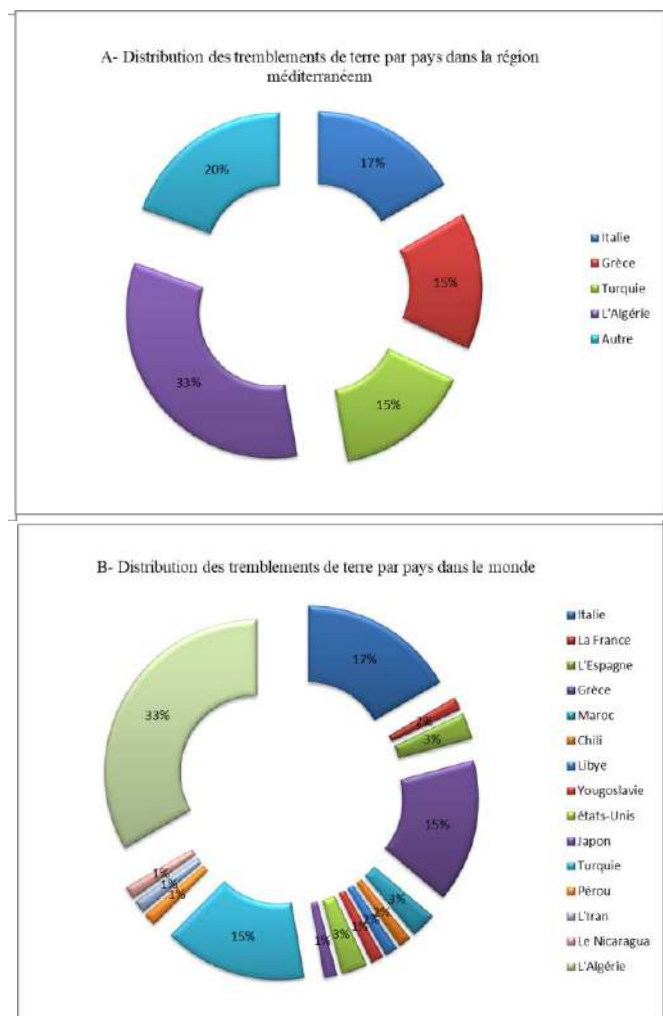


Figure 03: Distribution des tremblements de terre par pays. **A-** dans la région méditerranéenne ; **B-** dans le monde (par rapport aux données collectées)

Cette proportion n'est pas représentative du taux de sismicité de cette période, mais, elle est due à l'information collectée et qui était accessible et mise à la disposition.

En Algérie, la région de concentration des populations et des activités est le territoire tellien (ONS, 2018) qui est un espace tectoniquement complexe à vulnérabilité sismique élevée. Elle est aussi amenée à connaître d'autres séismes d'importance variable, comme elle peut subir l'effet feed-back de séismes survenus ailleurs en méditerranée. Un séisme peut générer deux grandes catégories d'effets ; soit des effets directs dus aux seuls mouvements vibratoires du sol, ou bien des grands mouvements de sol et d'eau ceux induits par l'énergie vibratoire du séisme qui pouvant être destructeurs.

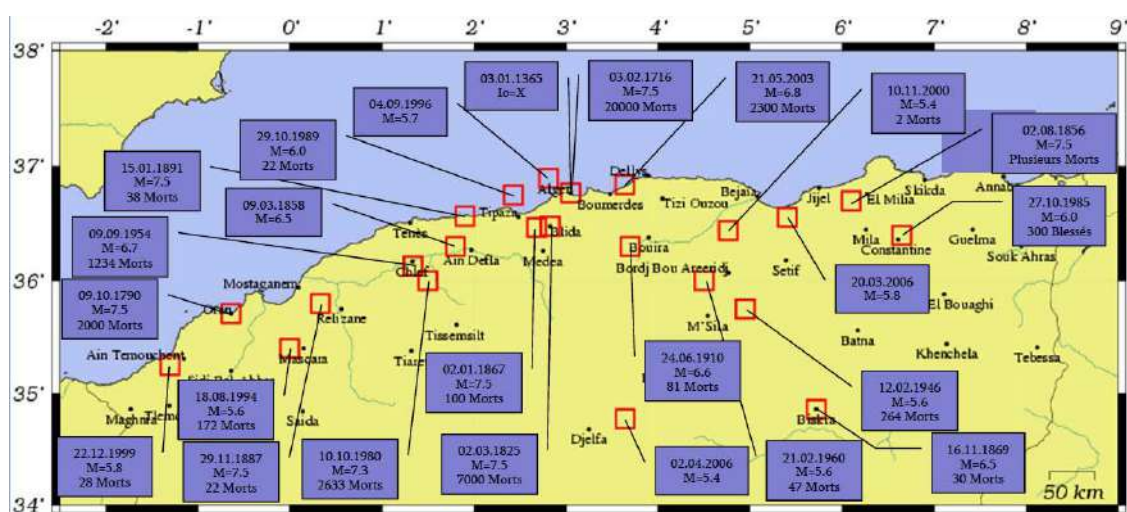


Figure 04 : Principaux séismes (1365-2006), (Yelles, 2010).

L'histoire de l'Algérie est jalonnée d'évènements sismiques importants où de très nombreuses villes du nord en particulier, ont été complètement rasées et des dizaines de milliers de morts rapportés dans les chroniques qui nous sont parvenues (voir le tableau 01). Le premier séisme majeur de l'Algérie indépendante fut celui d'El Asnam (actuel Chlef) survenu le 10 octobre 1980. Le zonage sismique du territoire Algérien élaboré montre toujours que la bande tellienne notamment dans sa frange littorale est soumise au degré d'aléa sismique le plus élevé. La figure 04 illustre cette concentration au nord du pays pendant la période 1365-2006 (Yelles, 2010).

L'étude du risque sismique et sa prise en compte souligne la relation étroite entre l'homme et son milieu de vie. Cette étude fait écho à un processus de planification préventive qui s'insère dans la perspective du développement durable. Elle s'inscrit impérativement dans une démarche logique de développement durable comme le précise la loi 04 - 20 du 25/12/2004, où les principes du développement durable urbain

et architectural sont adoptés en relation étroite avec le risque majeur et la gestion des catastrophes. Selon l'article 8 de la loi 04 - 20, les règles de prévention des risques majeurs et de gestion des catastrophes permettent l'inscription des établissements humains dans l'objectif d'un développement durable ont pour fondement les principes suivants :

Le principe de précaution et de prudence : sur la base duquel l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir, à un coût économiquement acceptable, tout risque aux biens, aux personnes et à l'environnement d'une manière générale.

Le principe de concomitance : qui, lors de l'identification et de l'évaluation des conséquences de chaque aléa ou de chaque vulnérabilité, prend en charge leurs interactions et l'aggravation des risques du fait de leur survenance de façon concomitante ;

Le principe d'action préventive et de correction par priorité à la source : selon lequel les actes de prévention des risques majeurs doivent, autant que possible, en utilisant les meilleures techniques, et à un coût économiquement acceptable, veiller à prendre en charge d'abord les causes de la vulnérabilité, avant d'édicter les mesures permettant de maîtriser les effets de cette vulnérabilité ;

Le principe de participation : en vertu duquel chaque citoyen doit avoir accès à la connaissance des aléas qu'il encourt, aux informations relatives aux facteurs de vulnérabilité s'y rapportant, ainsi qu'à l'ensemble du dispositif de prévention de ces risques majeurs et de gestion des catastrophes ;

Le principe d'intégration des techniques nouvelles : en vertu duquel le système de prévention des risques majeurs doit veiller à suivre et, chaque fois que nécessaire, à intégrer les évolutions techniques en matière de prévention des risques majeurs.»

Les mesures de protection contre ce phénomène jugé inéluctable, se sont d'abord concentrées sur la gestion des catastrophes. Le risque sismique dépend d'une part de la probabilité d'occurrence des séismes, donc de l'aléa sismique et, d'autre part de la vulnérabilité des constructions et des enjeux menacés qui définit son aptitudes à subir un dommage à la suite d'un événement sismique. En l'absence des enjeux vulnérables (construction et personnes), le risque est nul.

Par définition, la loi 04-20 dans son article 03 définit la prévention des risques par la mise en œuvre de procédures et de règles visant à limiter la vulnérabilité des hommes et des biens aux aléas naturels y compris les aléas technologiques. Ces règles visent à prévenir et prendre en charge les effets des risques majeurs sur les établissements humains, leurs activités et leur environnement dans un objectif de préservation et de sécurisation du développement et du patrimoine des générations futures qui est bien inscrit dans la logique du développement durable.

Les impacts produits par les séismes et les dépenses entraînées par les dommages corporels ou la mort de personnes appellent à la mise en place d'une politique de prévention aux échelles nationale, régionale et locale, permettant de réduire le risque sismique. D'autre part, réduire le risque c'est réduire la vulnérabilité des enjeux menacés et augmenter le degré de prise en charge, car à la différence des risques liés aux inondations par exemple, on ne peut pour les séismes, agir directement sur l'aléa sismique, hormis la construction dans des zones avec une activité sismique négligeable. Diminuer le risque sismique dans des zones exposées à des tremblements de terre ne peut donc se faire qu'en diminuant la vulnérabilité, parce que l'aléa découle des contraintes de notre environnement naturel et ne peut être modifié (Chebance, 2001). Une construction parasismique n'est donc jamais et en aucun cas antisismique¹. D'après Verrhiest et Winter (2007), Réduire le risque sismique implique trois actions à savoir:

1. Une identification des éléments exposés les plus vulnérables aux séismes ;
2. Une appropriation active du risque sismique ;
3. Le développement d'actions préventives et de surveillance.

L'architecte peut jouer donc son rôle par la conception d'ouvrages aptes à résister aux tremblements de terre qui permettent de réduire la vulnérabilité des autres enjeux menacés (personnes, activités,...etc.), et par conséquent réduire le risque sismique qui est aggravé par l'augmentation de la vulnérabilité du cadre bâti et de ces occupants.

Un exemple significatif nous montre comment un aléa identique peut engendrer un risque différent. En décembre 2003, trois séismes de même magnitude de 6.5 (Mw) à Taiwan, Californie et à Bam (Iran) : (1) Taiwan : 0 dommage, 0 victime ; (2) Californie : 0 dommage, 1 victime ; mais le troisième séisme survenus en Iran a causé la

¹ Ce n'est pas une construction qui résiste jusqu'au bout à un séisme ou empêche un séisme de se produire.

destruction de 80% de la ville de Bam, avec 38 000 victimes, voir photos au-dessous. Cet exemple nous confirme que la vulnérabilité des enjeux présente jusqu'à maintenant le seul domaine où l'on peut agir pour diminuer le risque sismique.

Les pouvoirs publics se sont préoccupés de la prise en compte du risque sismique par la production et le développement des règles de construction parasismique à la suite de chaque tremblement de terre destructeur. En Algérie, la production des règlements de constructions parasismiques a fait l'objet d'une importante préoccupation des pouvoirs publics pour la prise en compte du risque sismique depuis 1954 à la suite du tremblement de terre d'El Asnam (Orléansville) (Fernini-Hafif, 2008). Cette préoccupation est illustrée par les nombreux dispositifs législatifs promulgués, les cadres institutionnels fondés, les amendements apportés aux codes parasismiques en particulier.

Il convient de souligner qu'il est souvent fait mention du concept de la vulnérabilité dans les textes législatifs, des actions précises et ciblées, mais qui se retrouvent uniquement citées dans les textes, elles restent cependant, totalement occultées dans la réalité. La prise en compte du risque sismique dans l'utilisation des sols et dans la construction afin de réduire la vulnérabilité des personnes et des biens est un objectif primordial du système de prévention des risques majeurs et de gestion des catastrophes, comme le stipule l'article 7 de la loi 04-20.

Les règles parasismiques Algériennes en vigueur n'imposent aucune disposition architecturale. Elles

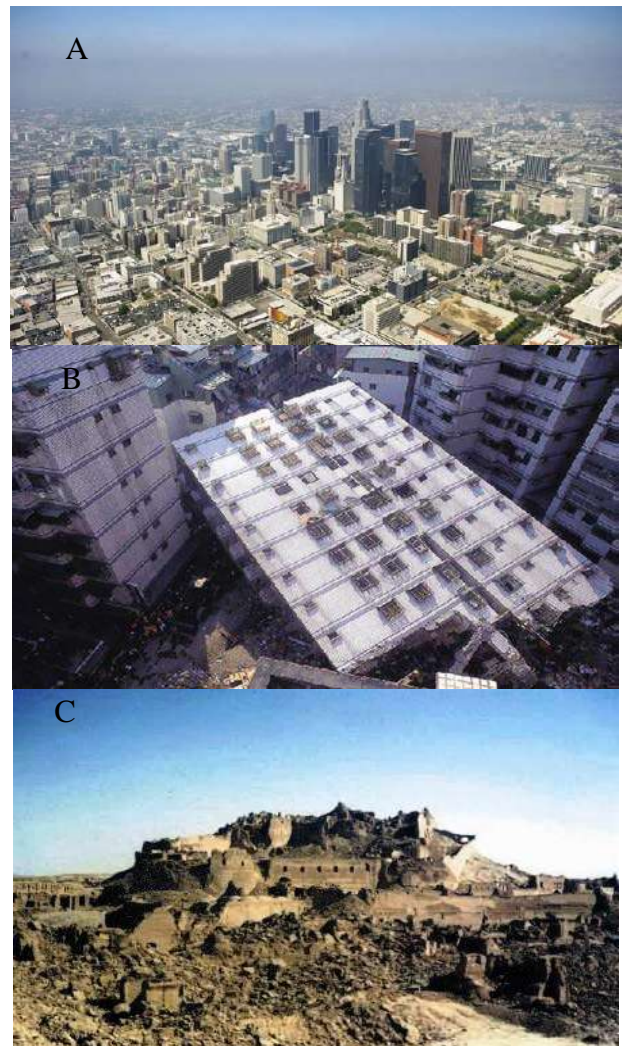


Figure 05: Les trois villes **A.** Californie ; **B.** Taiwan ; **C.** Bam (Iran) après le séisme de 2003

s'appliquent durant une phase d'élaboration avancée, dont l'architecture a déjà été déterminée. La forme du bâtiment, les éléments constructifs, le système porteur et, le type de contreventement sont déjà choisis, trop souvent sans préoccupation parasismique². En ce qui concerne le parti architectural, l'influence de la régularité est moins connue en raison de sa quantification difficile. Mais selon Tiedmann cité par Bensaïbi (2000), la vulnérabilité est d'autant plus élevée (environ quatre fois) pour les constructions modérément irrégulières et asymétriques par rapport aux constructions régulières et symétriques. Car la vulnérabilité est due à l'influence du sol qui peut avoir deux comportements, à savoir, l'instabilité due à la compaction, la liquéfaction et les glissements de terrains ainsi que de l'effet de la résonance entre le sol et la hauteur de la construction (Cochrane and Schaad, 1992). A cette égard, El Hor (1994) souligne que le règlement parasismique est considéré pour certains architectes comme un frein à l'innovation... c'est peut-être vrai dans une certaine mesure propre à l'innovation en question.

Conan (1990) a considéré le processus d'élaboration d'un projet architectural comme l'ensemble des phases de conception/réalisation architecturales. Il est regardé comme une chaîne de situations construites à partir d'un petit nombre de moments élémentaires dont chacun appelle une description spécifique (figure 06).

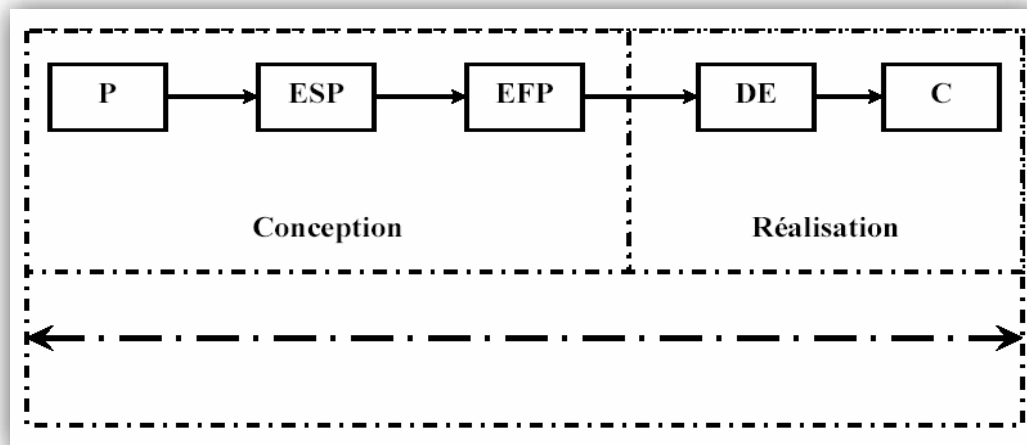


Figure 06: Conduite des phases de conception et réalisation (Conan, 1990).

² Dont le comportement du bâtiment et la résistance aux séismes est étroitement conditionné par les choix architecturaux, structuraux ou non-structuraux.

Il a souligné que cette activité passe par un certain nombre de phases successives, à savoir : Programmation (P), l'Élaboration Schématique du Projet (ESP), l'Élaboration Finale du Projet (EFP), les Détails d'Exécution (DE) et la Construction (C) à partir desquelles, le projet devient exploitable et au cours du temps, il a besoin d'interventions et d'opérations de maintenance.

Un tel processus est caractérisé aussi par une forte segmentation des tâches entre les différents acteurs ce qui produit à un fractionnement durant la conduite des phases conception-réalisation. La schématisation de ces phases ne correspond pas à une position théorique, mais seulement à une illustration de la conduite de l'élaboration du projet architectural. Elle doit se lire simultanément à trois niveaux, à savoir :

1. Comme processus d'**échange** toujours plus ou moins négociable avec le client ;
2. Comme un processus de **collaboration** plus ou moins conflictuel avec d'autres acteurs de la conception³ ;
3. Et enfin comme un processus d'**élaboration** intellectuel soumis à des situations particulières.

Autrement dit, l'élaboration du projet architectural est un mécanisme de pensée itératif qui a pour finalité de fournir une ou plusieurs propositions à un problème complexe pour lequel il n'existe pas de solution idéale (Prost, 1992). C'est un processus récursif, qui procède par diminution du degré de complexité jusqu'à atteindre un niveau où la complexité est abordable (voir figure 07). Le projet architectural est alors le résultat d'un travail d'équipe et de collaboration entre les différents individus de la conception/réalisation (Conan, 1990; Djafi, 2005). On ne peut imaginer qu'un seul acteur puisse formuler un problème de conception et trouver une solution sans échanger avec les autres intervenants. Afin de faciliter le travail de groupe, chaque acteur doit être en mesure de discuter et de communiquer des aspects relatifs au problème étudié.

Le projet architectural est donc l'aboutissement d'un long et complexe processus de planification de nature multidisciplinaire. D'après P. Fernandez (1996) « *le caractère majeur qui rend difficile de modéliser ce processus réside dans la diversité des modes*

³ Prenant l'exemple de la subjectivité de l'architecte et l'objectivité de l'ingénieur pendant la conception d'un projet parasismique.

d'élaboration du projet. Cette diversité se traduit par des façons différentes de concilier la part objective de la conception (programme, site, réglementation,...), et sa part subjective (composition, référence,...) [...]». C'est également une activité durant laquelle les concepteurs manipulent des données nombreuses et hétérogènes. Celles-ci sont nécessaires pour conduire un processus qui se caractérise à la fois par un enrichissement sémantique et par une réduction d'incertitudes relatives à la formulation / résolution du problème de conception.

L'acte de concevoir est considéré dès lors comme une activité de résolution de problème, l'architecte doit le gérer de la manière la plus efficace en s'assurant que toutes les contraintes (coûts, délais, sécurité, réglementation...) sont prises en compte et satisfaites. Il est confronté, quotidiennement, à des problèmes ou des situations auxquels il doit apporter des solutions, les meilleures possibles. Pour ce faire, il doit avoir le maximum d'informations sur le problème ou la situation rencontrée, et puiser, surtout, dans son expérience, savoir et savoir-faire.

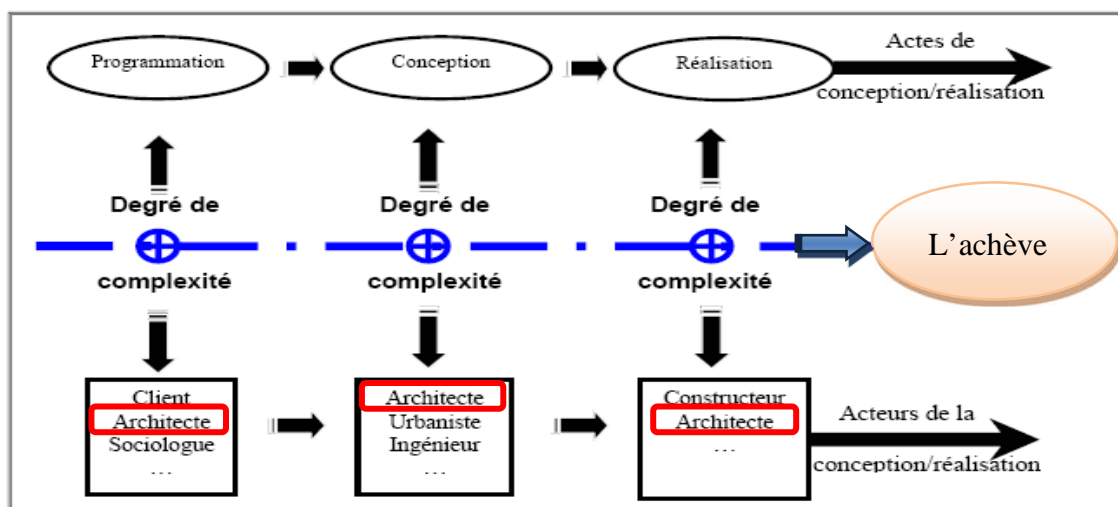


Figure 07 : Le degré de complexité du processus d'élaboration du projet architectural, Inspiré de (Conan, 1990; Djafi, 2005).

En Algérie, la division entre les aspects esthétiques et mécaniques de l'architecture est graduellement institutionnalisée. Le fossé culturel entre l'architecte et le chercheur-scientifique, dans les domaines de la résistance des bâtiments, est due principalement aux caractéristiques de la formation de l'un et de l'autre, ce qui rend difficile la communication entre les deux champs de performance. En particulier en Algérie où l'on enseigne l'architecture à l'Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme EPAU d'Alger ou dans d'autres facultés d'architecture, tandis que des établissements

complètement distincts sont consacrés à l'enseignement de la technologie et l'industrie du bâtiment. Il est nécessaire que les préoccupations parasismiques soient intégrées dès les premières phases de la conception du projet (Zacek, 2010) et de trouver une manière pour qu'elles deviennent un réflexe, de façon à en réduire et en contrôler les surcoûts probables.

Ce réflexe, de "construire parasismique", ne peut résulter que d'une collaboration permanente entre les acteurs de cet acte surtout, l'architecte et l'ingénieur, mais aussi le réalisateur et les utilisateurs, car une application stricte des règles et normes parasismiques lors de la conception d'un projet architectural ne peut se faire d'une manière efficace sans une collaboration étroite entre l'architecte et l'ingénieur civil dès le début, suivi par une bonne exécution des travaux qui permettent aux bâtiments de résister de façon satisfaisante aux séismes de faible à moyenne intensité (Kert, 1995). L'expérience prouve que cette approche permet un genre de réconciliation entre l'aspect architectural et la conception technique. Pratiquement, l'adoption d'une telle méthode est le résultat de l'interaction de plusieurs facteurs extrêmement complexes comme : la réglementation en vigueur, la situation économique, le savoir-faire technique, les aptitudes, et même le comportement des acteurs impliqués dans l'acte de concevoir. Cependant, il est nécessaire de réinventer et de recombinaison des stratégies pour élaborer une solution pertinente (Laaroussi, 2007). Dans la même directive, Édith Girard est citée par Fernandez estime que : « *L'architecte doit, à la fois **inventer** et **contrôler** en permanence la manière dont il invente, en sachant précisément où il en est dans l'évolution de son projet, par quelles étapes il est passé, en gardant présent à l'esprit les principales bifurcations de son itinéraire et le chemin qui lui reste à parcourir [...]* » (Fernandez, 1996a).

Dans ce contexte, et vu le manque et/ou l'inadéquation des outils d'aide à la conception parasismique destinés aux architectes, en particulier, durant les phases préliminaires de l'élaboration du projet, une stratégie de conception parasismique adaptée avec le raisonnement de l'architecte dès le début du projet est souhaitable. Elle a pour objet d'aider l'architecte dans leur activité de concevoir sans nécessité d'avoir recours à une connaissance pointue du génie parasismique, et d'assurer une bonne continuité et complémentarité de travail avec l'ingénieur. Pourtant la prise en compte de la vulnérabilité offre en aval une opportunité certaine de limitation des effets des catastrophes.

Plusieurs approches ont été proposées pour implémenter cet état de fait dans une machine et permettre à celui-ci de trouver des solutions à des problèmes, en lui fournissant les connaissances nécessaires. Parmi ces approches, il y a le raisonnement à base de cas⁴ (RBC) et la logique floue. Ces deux techniques semblent plus proches du raisonnement humain dans la vie courante en général et l'acte de conception architecturale en particulier. La forme classique adoptée par l'architecte est décrite par Kacher (2005) : « *De manière courante, lorsqu'un concepteur recherche des idées pour concevoir un projet, il va familièrement puiser son inspiration dans différentes sortes de banques d'images existantes représentant des références constructives et architecturales (revues d'architecture, livres, images de voyage, ...). Cela est principalement dû au fait que ces images de bâtiments réalisés constituent pour un concepteur ayant un problème similaire à résoudre une solution potentiellement satisfaisante et directement utilisable pour son projet [...]* ». En effet, il peut être utilisé pour aider l'architecte, car il a peu de connaissances et d'informations sur les problèmes de génie parasismique à résoudre et pour lequel une solution optimale est a priori inconnue.

1.2 Les problématiques spécifiques de la recherche

Dans ce sens, notre recherche s'oriente donc vers l'intégration de la notion de prévention du risque sismique durant les phases d'élaboration d'un projet architectural. Les éléments précités suscitent plusieurs questionnements. Dans le cadre de la présente recherche, nous allons étudier les pistes suivantes :

1. Comment l'architecte peut-il prendre en compte la conception parasismique durant les phases précoces de l'élaboration du projet architectural ?
2. Quelle est l'impact du RBC sur l'avancement du travail de l'architecte ? Et comment peut-on proposer un outil d'aide à la conception parasismique accessible et adapté aux architectes « fondé » sur les précédents ?
3. De quelle manière, la logique floue, peut-elle servir à concilier l'objectivité et la subjectivité de la conception parasismique en architecture ?

⁴ D'autres abréviations possible à trouver dans la littérature : RàPR (raisonnement à partir des référence), RàPC (raisonnement à partir des cas). En anglais CBR (case based reasoning).

1.3 Objectifs et intérêt de travail

Dans le présent travail, nous proposerons d'aider les architectes algériens par l'utilisation d'un système de sélection et de recherche d'informations basé sur la logique floue. Il permet de clarifier et quantifier le flou à partir des connaissances parasismiques acquises antérieurement. Dans ce contexte, nous ne voyons pas l'apport de l'outil informatique uniquement comme étant un nouveau moyen pour améliorer les constructions existantes ou déjà conçues ; nous le voyons au contraire comme un moyen d'apporter une aide à la décision et d'assister le processus de conception en lui-même. Ce système a pour but d'assister le concepteur dans les phases préliminaires et l'aider pour rechercher et sélectionner des alternatives diverses au concept qu'il imagine ou propose pour résoudre son problème de conception en demeurant toujours parasismique.

L'intérêt de conjuguer le RBC avec la logique floue réside dans son aptitude à manipuler des grandeurs de satisfactions imprécises utilisées notamment dans le langage de l'architecte. L'intégration de ces outils dans le processus du raisonnement à base de cas, pourrait remédier aux limites observées dans les différents types de RBC classiques. Nous préconisons dans ce travail d'exploiter la méthode de l'indice de vulnérabilité sismique pour assister l'architecte en génie parasismique dans sa conception en intégrant la logique floue dans le RBC.

Notre ambition est donc de vouloir construire un cadre théorique et méthodologique permettant de prendre en considération la notion de sécurité au séisme durant les phases précoces de l'élaboration du projet architectural, et de transposer les connaissances du génie parasismique, en éléments de conception du projet architectural, afin que l'art de la conception parasismique en architecture devienne un réflexe. Nous cherchons aussi à enlever l'une des barrières qui s'oppose à une généralisation de l'architecture face aux risques sismiques et qui est le manque d'outils d'aide à la conception, dans un domaine où l'architecte professionnel ne dispose pas toujours des moyens ni du temps pour accumuler les connaissances.

Pour cela, l'axe principal de réflexion sous-entend les objectifs suivants :

1. - Identifier la place du concept de la réduction de la vulnérabilité des constructions neuves et l'exploit de l'art de la conception parasismique dans la gestion du risque sismique comme un moyen sûr de protection parasismique.

- Approuver les avantages pratiques, économiques et architecturaux de l'intégration de l'aspect parasismique pendant les phases préliminaires de la conception architecturale.

2. - Définir une manière de prendre en compte les différentes approches et stratégies de prévention au séisme durant les phases conceptuelles;

- Et déterminer l'impact de l'association "concept/cas" dans la réalisation d'une excellente appropriation et une interprétation architecturale correcte des concepts et exigences parasismiques ;

3. Enfin, de développer un outil d'aide et d'assistance à la conception parasismique en architecture basé sur la méthode de l'indice de vulnérabilité et le raisonnement à base de références conjugué à la logique floue.

1.4 Les hypothèses de départ

1- L'architecte peut jouer son rôle par la conception d'ouvrages aptes à résister aux tremblements de terre et par conséquent réduire la vulnérabilité des autres enjeux menacés.

2- Le raisonnement à base de référence offre aux concepteurs une information cristallisée et encapsulée au sujet du problème rencontré. Elle contient implicitement le savoir et le savoir-faire sous forme d'objets intégrés dans une conception cohérente.

3- L'intérêt d'intégrer la logique floue au RBC réside dans son aptitude à manipuler des grandeurs de satisfactions imprécises utilisées notamment dans le langage de l'architecte.

1.5 Méthodologie et structure de la thèse

L'objectif de cette recherche consiste à proposer une manière de transposer les connaissances du génie parasismique, en éléments de conception du projet architectural, et que l'art de conception parasismique en architecture devienne un réflexe. Pour ce faire, nous cherchons à enlever l'une des barrières qui s'opposent à une généralisation de l'architecture face aux risques sismiques en Algérie, et qui est le manque et/ou l'inadéquation d'outils d'aide à la conception, dans un domaine où l'architecte professionnel ne dispose pas toujours ni des moyens ni du temps ni parfois même, des

compétences nécessaires pour accumuler les connaissances dans un domaine aussi complexe et laborieux.

On a d'abord défini le thème de recherche dans son contexte, et son intérêt. A ce stade précoce, nous avons délimité le sujet et formulé la problématique qui consiste à décrire le sujet d'une manière plus précise, en expliquant les aspects traités, l'approche principale et les hypothèses de la recherche formulées. Ensuite, on a défini le cadre conceptuel qui recouvre toute la partie théorique du travail et qui a engendré la démarche. Puis on a utilisé l'outil formulaire de questions pour la collecte des données et dont l'analyse permettrait de vérifier nos hypothèses de départ. Pour aller enfin à proposer une manière de prendre en compte les différentes approches et stratégies de prévention au séisme dans l'acte de conception par l'architecte. Et proposer un modèle d'intégration de la notion de sécurité durant les phases conceptuelles.

Du point de vue de la méthode de recherche, dans la première partie, on s'inscrit dans la méthode d'enquête. Les questions ont été obtenues à partir de la décomposition des deux concepts de la première et la deuxième hypothèse (les compétences de conception et celles de la communication de l'architecte Algérien au sujet de l'architecture parasismique). Pour plus de rigueur scientifique dans le cadre d'un travail complémentaire, on a opté à l'observation par le biais des travaux pratique (TD) destinés aux étudiants d'architecture de premier cycle durant l'enseignement de la : matières projet à l'université de Blida (2008-2009) et la matière RDM à l'université de Biskra (2011-2012). Ainsi que par des interviews structurées et non structurées avec des architectes et des ingénieurs ayant de l'expérience dans le domaine de la conception. Ces travaux traduisent en fait l'image (restreinte) de la pratique de l'architecture parasismique en Algérie. Quant à l'enquête proprement dite, elle s'est intéressée aux pratiques professionnelles et la formation académique, mises en œuvre en Algérie par les principaux acteurs de la conception parasismique. Dans la dernière partie, nous avons opté pour les logiciels de programmation numérique très puissants et reconnus à l'échelle internationale, à l'instar de Matlab, Octave et LabVIEW 2018 pour le développement du système d'inférence et l'interface graphique de l'outil d'aide proposé.

Le travail est scindé en quatre chapitres distincts et complémentaires. Après le chapitre introductif, quatre chapitres présentent notre propre présentation et notre démarche pour

intégrer efficacement les exigences parasismiques de la phase d'esquisse à l'élaboration du projet architectural.

Le chapitre II « La conception architecturale parasismique ; vers la caractérisation d'une nouvelle méthodologie de réconciliation architecturale » expose un état de l'art, non exhaustif, de la littérature et des connaissances sur le thème de la conception parasismique en architecture. Nous présentons un ensemble de définitions relatives à la conception architecturale selon les différentes notions et points de vue issue d'une synthèse bibliographique. Nous orientons notre recherche vers la considération de l'activité de conception comme un acte de résolution d'un problème. L'objectif principal du chapitre est bien de comprendre le rôle de l'architecte dans la réduction de la vulnérabilité sismique des constructions, et déduire les distinctifs de l'acte de concevoir et la méthode la plus adéquate pour que les principes parasismiques en architecture soient opérationnels et accessibles aux architectes durant les phases précoces de la conception.

Le chapitre III « Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale » présente, en primo, la philosophie de la conception parasismique en architecture, et fait un recueil et une mise en forme des différents concepts et stratégies relatifs à la conception parasismique. Par le biais de la caractérisation de l'aspect subjectif et l'aspect objectif de cette dernière, ce chapitre va nous permettre de déduire et mettre en évidence les premiers éléments clés d'une approche d'intégration de l'aspect parasismique adapté à l'acte de conception architecturale. Dans ce chapitre, nous cherchons à mettre en évidence l'apport de la vulnérabilité sismique des bâtiments dans la réduction du risque. Nous présentons ensuite une synthèse, non exhaustive, des outils d'aide à la conception, de notes de calculs et méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique développées à ce jour. Nous vérifions aussi l'applicabilité de ces méthodes durant les différentes phases d'élaboration du projet architectural.

Le chapitre IV est intitulé « La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un SIF de l'indice de vulnérabilité I_v durant la phase d'esquisse », il est dédiée à la superposition de la notion conceptuelle subjective de la conception parasismique avec la notion technique objective pour mieux comprendre les besoins spécifiques de l'architecte algérien. Elle a aussi pour objet de déterminer et classer les

différents attributs influant sur la réponse sismique de la structure et les facteurs de résistance selon leur phase de production et/ou d'intégration dans le processus de conception architecturale, en se focalisant sur la phase architecturale précoce.

Dans ce chapitre, nous présentons les techniques utilisées, à savoir : **Le Raisonnement à Base de Références (RàPR)**, **La logique floue (LF)**, et la méthode de l'indice de vulnérabilité. Nous décrivons aussi les paramètres jugés nécessaires à l'estimation de la vulnérabilité sismique d'une conception dans la phase d'esquisse. Enfin, nous expliquons la manière d'intégrer la logique floue au raisonnement à base de références et l'exploitation de la méthode de l'indice de vulnérabilité pour développer un outil d'aide et d'assistance à la conception parasismique en architecture. Le développement du système d'inférence flou proposé transite par quatre principales phases, à savoir :

- 1) La fuzzification ;
- 2) L'implication ;
- 3) L'agrégation ;
- 4) Et enfin la défuzzification.

La première étape consiste à transformer les règles parasismiques de la logique classique binaire (crisp logic) à la logique floue par l'élaborer des fonctions d'appartenances et les règles floues du système. Lors de la deuxième et la troisième phase de développement du système d'estimation de Vulnérabilité Floue (SeVA-Tool) nous avons utilisé des vulnérabilités de cas similaires dont les caractéristiques géométriques sont le responsable direct du degré de la vulnérabilité. La dernière phase consiste à inverser le travail de transformation logique par un processus de défuzzification.

Le chapitre V : Nous passons à la fin du travail à la validation de notre système, et l'approbation de ses avantages pratiques, économiques et architecturaux de l'intégration de l'aspect parasismique pendant les phases préliminaires de la conception architecturale. Cette partie est aussi organisée en trois étapes :

La première étape consiste à expliquer l'architecture de l'approche proposée afin de prendre en compte les différentes stratégies de prévention au séisme dans l'acte de conception par l'architecte dès les phases préliminaires de l'élaboration du projet.

La deuxième étape de l'évaluation de la performance de SeVA-Tool décrit le protocole de validation adopté.

Et on finira ce travail par une évaluation des résultats de notre recherche à travers une expérimentation avec un ensemble d'étudiants et d'architectes ayant une certaine expérience dans le domaine de la conception. Avec une technique validation en utilisant un ensemble des cas similaires proposé par un groupe spécialisé de (CGS, CTC, et chercheurs) dans le domaine de génie parasismique. Le but principal des expérimentations était de contribuer à la validation de notre réflexion par la supervision de deux points essentiels à savoir :

- 1) La vérifier que l'association de 'Concept/Cas' permet une interprétation correcte et une bonne appropriation des concepts parasismiques ;
- 2) Et approuver les avantages pratiques, économiques et créatifs de l'aide proposée, afin de perfectionner les compétences de communication et de conception de l'architecte algérien pour prendre en compte l'aspect parasismique dès les premières phases de la conception architecturale parasismique.

Enfin, le dernier chapitre sera une conclusion qui procèdera à la synthèse des principaux résultats obtenus, le domaine de contribution de notre recherche et la confrontation des résultats de l'étude avec les hypothèses de départ. En indiquant éventuellement les raisons qui nous ont empêchées à mener à bien quelques aspects du travail, et nous ouvrirons le débat sur les axes de recherches ultérieurs, les questions à creuser, et les idées à développer, qui sont apparus lors de l'avancement de la recherche et qui méritent d'être approfondis ou complétés dans une deuxième étape de la recherche.

CHAPITRE II

**La conception architecturale parasismique ;
vers la caractérisation d'une nouvelle
méthodologie de réconciliation architecturale**

« L'architecte doit, à la fois inventer et contrôler en permanence la manière dont il invente, en sachant précisément où il en est dans l'évolution de son projet, par quelles étapes il est passé, en gardant présent à l'esprit les principales bifurcations de son itinéraire et le chemin qui lui reste à parcourir [...] ».

Édith Girard

Chapitre 02 La conception architecturale parasismique

2.1 Introduction

Ce n'est qu'à la fin du XV^{ème} siècle que l'architecture est devenue le support d'un discours. Selon Mazouz (2004), Alberti après Vitruve définit l'architecture « comme une chose mentale » dont l'objet est l'art de la vie sociale. Les critères de cet art étant la « necessitas », « la commoditas », et la « voluptas ». La « necessitas » est entendue comme la dépendance de la construction aux lois physiques et mécaniques ainsi que la logique imposée par l'esprit humain. La « commoditas » est exprimée par la demande sociale et formalisable à l'aide de catégories arbitraires (public/privé, universel/particulier, sacré/profane). La « voluptas » est énoncée par Alberti comme la capacité de l'architecte à signifier par ses moyens propres une poétique énoncée par un « langage » qui définit la beauté comme une adaptation de l'image à la finalité non mathématique (règle, composition...etc.) de l'édifice de rendre l'idée « intelligible » (Fernandez, 1996b). La notion de conception est enfin introduite par Alberti à travers ce qu'il appelle l'édification dans le but de la « concinnitas » ou l'harmonie des divers critères à tous les niveaux de l'édification.

Aujourd'hui, la notion de conception est devenue un objet privilégié de recherche, elle s'applique dans un vaste domaine composé de diverses disciplines. Elle a toujours fait

l'objet de recherches et d'investigations dans plusieurs champs scientifiques, techniques et artistiques. Elle exige surtout un niveau élevé de ressources cognitives que le concepteur emmagasine dans sa mémoire. En effet, de nombreux chercheurs et concepteurs se sont intéressés depuis la deuxième moitié du 20^{ème} siècle au problème de la méthodologie et à la conception architecturale. Le nombre et la diversité des publications sur ce thème depuis une dizaine d'années en témoignent.

Pour faire face à la complexité de l'acte de concevoir, plusieurs méthodes de conception ont été créées et mises en œuvre de manière opportuniste par le concepteur afin d'extérioriser le processus de la conception. Dans ce qui suit, nous mettrons l'accent sur la compréhension de la nature de la conception architecturale. Cette étape d'analyse constitue une condition essentielle pour réussir l'intégration de l'aspect parasismique durant les phases préliminaires de la conception architecturale, car c'est pendant ces phases initiales de conception, des décisions importantes sont prises. Ces décisions vont influencer profondément la forme et le comportement du bâtiment en termes de sécurité et de résistance mécanique. C'est pendant ces phases de conception que l'architecte est confronté au syndrome de la feuille blanche ou l'obstacle du créationnisme (Prost, 1992). Et a besoin de générateurs primaires dans le sens où ils permettent l'émergence d'une solution ou une conjecture (Beneddouch, 1998).

L'objet de cette partie est d'établir une étude épistémologique sur le processus de conception architecturale. Un exposé des différents points de vue des définitions de la conception architecturale, ses caractérisations, les rôles et les besoins communicationnels des acteurs impliqués dans l'acte de concevoir, avec un accent particulier sur le rôle de l'architecte. Notre ambition est donc, de construire un cadre méthodologique permettant de prendre en pensée la notion parasismique durant les phases préliminaires de l'élaboration du projet architectural et de transposer les connaissances du génie parasismique en architecture en éléments de conception du projet architectural.

2.2 La nature de l'activité de conception architecturale

La notion de conception dispose d'un sens très large concernant diverses disciplines, à titre d'exemple nous citons la musique, la littérature, l'architecture, la sculpture et le design en générale. Le point commun entre ces champs, est que le concepteur cherche

une solution pertinente s'adaptant aux contraintes et aux exigences d'une situation donnée. En examinant les définitions attribuées à la **conception**, on s'aperçoit qu'il existe différents points de vue qui peuvent prêter à confusion.

En se basant sur la définition du mot « conception » chez Philippe Boudon (1992), nous constatons que la première phase de conception révèle l'existence de deux éléments : l'idée de départ ou *générateur primaire* (La « saute d'intuition » d'après C. Alexander (1971) et la « boîte noire » énoncé par J.C. Jones (1980). Le processus (l'enchaînement des travaux) par lequel cette idée évolue, se développe et se transforme en un objet ayant le potentiel d'exister dans l'espace réelle. Le résultat de ce premier processus passe ensuite à une deuxième phase (la phase de production) qui mène à l'élaboration des détails d'exécution et la construction finale.

D'après certains auteurs, la conception est décrite comme un processus de transformation qui permet de passer d'une situation initiale problématique, dans laquelle un besoin n'est pas satisfait, ou il est considéré comme pouvant mieux l'être, à une situation dans laquelle il l'est, ou mieux, ou il l'est mieux. Aloui (2007, P4), Prost (1992) et Bendeddouch (1998) dans la page 36 de son ouvrage « *Le processus d'élaboration d'un projet d'architecture* » préfèrent utiliser le mot projet car pour eux, il inclut la conception qui est une activité durant laquelle les concepteurs manipulent des données nombreuses et hétérogènes. Celles-ci sont nécessaires pour conduire un processus qui se caractérise à la fois par un enrichissement sémantique et par une réduction des incertitudes. Alaoui montre que tout projet est à la fois un processus itératif et un résultat souhaité qui font valoir d'une part, des compétences de conception qui permettent la matérialisation de la pensée, d'autre part, des compétences de communication qui permettent la communication de la pensée à autrui (2007, P15). La solution (le projet) qui émerge est le résultat d'une démarche comportant de nombreux bouclages non linéaires mais dynamique entre les registres de problèmes et les acteurs qui en assurent la résolution (Prost, 2002). Elle est une activité à la fois complexe avec des problèmes qui sont mal définis. Chaque décision prise par l'architecte a des répercussions sur plusieurs aspects à travers le processus de conception (Lawson, 1990). Comme le souligne Francis D.K ching (1996) cité par Shadkhou (2007): « *c'est prise comme hypothèse qu'une série de conditions existantes -le problème- est moins satisfaisante et qu'une nouvelle série de conditions -la solution- est désirée* ».

Compte tenu de la nature des problèmes à résoudre et du degré de leurs complexités, Raynaud (2002) souligne que l'architecte fait face à deux types de situations distinctes, la première est une SRP «situation de résolution de problèmes à actions non-définies»⁵ et la seconde « dirigée par des buts multiples » Car les problèmes posés sont divers, et presque toujours imbriqués les uns aux autres. D'autres chercheurs considèrent le processus de conception, y compris la conception architecturale, comme une séquence de situations de résolution de problèmes (Newell and Simon, 1972; Lebahar, 1983; Conan, 1990) pouvant être traités de manières différentes pour trouver une solution finale satisfaisante.

Simon (2004) distingue entre les problèmes bien définis et les problèmes mal définis, selon que l'état initial, l'état final et les opérateurs soient ou non spécifiés de façon explicite, conformément à certaines conventions formelles.

Dans l'acte de concevoir, certains aspects du problème de conception sont initialement incomplets, incertains ou non spécifiés formellement. Il prend comme point de départ (hypothèse) les conditions existantes qui sont moins satisfaisantes et les représente de façon à rendre sa solution transparente. Certaines données peuvent, par exemple, être déterminées pendant le processus de conception et dans ce cas elles modifient la formulation du problème à résoudre. De ce fait, nous admettons la considération des travaux de Aloui (2007), Schön et Wiggins (1992) et Visser (2002) qu'un problème de conception est par nature mal défini. C'est aussi un problème ouvert caractérisé par des solutions finales inconnues, multiples, dont seules les plus satisfaisantes sont retenues (Fustier, 1989).

La conception peut être aussi considérée comme un problème complexe (Celliers, 1998), elle fait intervenir plusieurs aspects souvent interdépendants et contradictoires (qualité, coût, délais, fiabilité...etc.). La conception a donc comme objet de fournir une solution équilibrant ces différents critères d'une manière proche de l'optimum. Cette solution n'étant pas optimale du premier coup (Béguin, 1997), le processus de conception peut être considérée comme une évolution d'optimisation.

⁵ Par ce que, contrairement au jeu d'échecs, par exemple, il n'existe pas d'algorithme de résolution des problèmes architecturaux : les solutions sont établies sur le mode du satisfecit (Raynaud, 2002, pp 104-107)

D'après Fernandez (1996b), le caractère majeur qui rend difficile la modélisation de ce processus réside dans la diversité des modes d'élaboration du projet. Cette diversité se traduit par des façons différentes de concilier la part objective de la conception (programme, site, réglementation,...), et la part subjective (composition, référence,...) ». C'est également une activité durant laquelle les concepteurs manipulent des données nombreuses et hétérogènes. Celles-ci sont nécessaires pour conduire un processus qui se caractérise à la fois par un enrichissement sémantique et par une réduction d'incertitudes relatives à la formulation / résolution du problème de conception.

Très souvent, la commande du maître d'ouvrage comporte des données de nature principalement quantitative et fonctionnelle, certes elles vont constituer le point de départ du travail de la conception. Mais on remarque qu'elles sont insuffisantes et parfois incertaines. Ces données nécessitent du concepteur une interprétation dont le résultat conduira à des solutions qui pourraient avoir pour partie des caractéristiques différentes des données de départ. Comme l'a montré Louis Kahn dans son ouvrage « la construction poétique de l'espace » cité par Kacher (2005), Louis Kahn montre qu'un concepteur interprète toujours les données présentées dans la demande et transforme, entre autres, les mots en espaces et les chiffres en proportions : « *Le client demande des surfaces, l'architecte doit lui donner des espaces. Le client a en tête des couloirs, l'architecte trouve des raisons de faire des galeries, le client parle d'un hall, l'architecte l'élève au rang d'espace [...]* ».

La qualité complexe et itérative de la conception architecturale est décrite par Édith Girard cité par Fernandez (1996b): « *l'architecte doit, à la fois inventer et contrôler en permanence la manière dont il invente, en sachant précisément où il en est dans l'évolution de son projet, par quelles étapes il est passé, en gardant présent à l'esprit les principales bifurcations de son itinéraire et le chemin qui lui reste à parcourir [...]* ».

Ajoutant à ça, la diversité d'approches à suivre et l'imprécision de la demande, ceux sont les principaux caractères qui mettent le concepteur dans une position particulière qui libère l'espace de créativité et qui génère des approches multiples. Elle ne relève ni de la rationalité pure, ni de l'intuition pure. Tout semble indiquer qu'il existe autant de modèles de conduite du processus de conception architecturale, par des dosages

différents de la rationalité et l'intuition, chaque architecte peut inventer son propre méthode.

Dans son analyse, Bendeddouch (1998) a fait la distinction entre l'élaboration (processus), le projet (résultat) et l'acte de concevoir. Elle s'aperçoit que le projet évolue selon un processus composé de trois moments *le dessein, le dessin* qu'elle considère aussi comme moyen de communication, et *le bâtiment concret*. Elle décrit ensuite les composantes qui interviennent sur le processus, qui semblent faire un consensus chez différents auteurs. Ces composantes sont : Les acteurs, les éléments de la commande, la conception et en dernier le dessin comme moyen de représentation de l'espace, qui est un outil de communication et de dialogue.

En effet, même si l'on admet que la conception architecturale a en commun avec la science, la recherche d'une solution à un problème posé, on ne doit pas perdre de vue que sa position singulière au carrefour des arts et des sciences, la soumet à des questions incomplètement formulées (complexité du programme, imprécision de la demande, ...etc.)

On note par-là, l'importance de l'aspect "échange et communication" dans le projet, comme le précise Epron J.P. (1992): «*Le projet d'architecture est un acte social, il est le fait d'un grand nombre d'acteurs, c'est un acte partagé. On ne saurait le réduire au seul travail de l'architecte ou de son équipe*». Le projet est un acte collectif qui exige la présence d'autres acteurs avec lesquels l'architecte collabore et dialogue. Donc, le projet ne peut être réduit aux opérations et compétences de conception, mais devrait prendre en charge les aspects liés aux communications, aux échanges et interactions de l'architecte avec les autres acteurs agissant sur le projet.

Il ressort de tout de ce qui précède, que la conception architecturale, est à la fois :

- Un processus itératif ;
- Un processus collectif ;
- Un acte social communicationnel ;
- Un acte d'optimisation ;
- Une situation d'imagination ;
- Un acte de résolution de problème.

2.3 La théorie de la résolution de problème

A partir de la considération de l'activité de conception architecturale en tant qu'un processus de résolution d'un problème, Shadkhou (2007) a défini trois approches de résolution. Dans les années 1950, l'acte de résolution du problème est considéré comme un processus mental, puis un acte comportemental selon les deux premières doctrines de la théorie de la résolution de problème. Ensuite, il émerge un troisième point de vue qui s'éloigne des deux premiers, il se base sur les aspects cognitifs de l'activité de résolution du problème.

2.3.1 Un processus mental

Le premier point de vue s'enracine dans la théorie d'associationnisme pour qui la pensée est constituée de plusieurs éléments attachés entre eux. Ces attachements sont basés sur nos expériences, nos sentiments et nos perceptions de l'environnement externe. Les critiques de cette pensée conduisent à un deuxième point de vue fondé sur l'observation du comportement.

2.3.2 Le comportementalisme

Selon ce point de vue, les comportements humains sont des réponses aux stimuli externes. Dans cette approche, les activités en tant que comportements mènent à travers un chemin simple et direct à la solution. Le principe est donc qu'un stimulus de l'environnement produit une réponse sans faire intervenir le cerveau ou l'esprit comme une réflexion directe aux stimuli. Il est donc basé sur la corrélation des comportementalismes humains et les stimuli. Le résultat est que l'acte de résolution d'un problème est défini comme un comportement humain sous forme d'activités non-mentales. Un troisième point de vue émerge en continuité, tout en s'éloignant de cette considération, il rejette l'idée que le processus de résolution des problèmes est uniquement un comportement humain sous forme d'activités (Shadkhou, 2007).

2.3.3 Une activité associée à la cognition

La troisième doctrine est basée sur le principe que la recherche de solutions ne consiste pas seulement à des activités en tant que comportements humains, mais une cognition⁶ basée sur les informations traitées est associées à ces actions. Cette nouvelle approche établie la notion de l'exploration et la prise de décision face à des choix selon un processus qui comporte des phases d'expérimentations et d'essais qui fournissent des alternatives et des solutions potentielles au problème rencontré (Newell and Simon, 1972). Ce processus retrace les étapes intermédiaires de l'évolution d'un projet dès son état initial jusqu'au point final. D'après cette approche, le processus de résolution de problèmes conçoit plusieurs étapes, à savoir :

- 1) Un point de départ appelé « un espace de problèmes » comprenant les informations de base parmi lesquelles se trouvent les prémisses de la solution du problème ;
- 2) Un processus génératif qui génère les nouvelles connaissances à partir des informations de base ;
- 3) Les tests pour comparer les caractéristiques des solutions aspirantes avec les propriétés de la résolution désirées ;
- 4) Finalement des règles fournissent une aide au choix du processus génératif, et le test à utiliser.

Le point important de ce processus fait aboutir au mieux les informations acquises à partir de la comparaison des alternatives et de la solution désirée, qui contrôlent et guident le processus de résolution. Les principales composantes de cette approche consistent donc en :

- La représentation de l'espace du problème ;
- Le processus d'engendrement des solutions ;

⁶ Historiquement, la cognition désignait la capacité intellectuelle à manipuler des concepts. Mais plus récemment, en sciences cognitives, le mot cognition est utilisé pour désigner non seulement les processus de traitement de l'information dits « de haut niveau » tels que le raisonnement, la mémoire, la prise de décision et les fonctions exécutives en général mais aussi des processus plus élémentaires comme la perception, la motricité ainsi que les émotions.

- Lesquelles sont ensuite soumises à une phase d'évaluation.

2.3.4 La représentation de l'espace du problème

La structuration de l'espace du problème qui comporte des éléments de connaissances par le biais de sa décomposition en en sous-problèmes, présente la première étape du processus de résolution. L'espace du problème est représenté donc sous forme d'un arbre de décisions qui comporte des nœuds symbolisant le moment pendant lequel la décision doit être prise, ainsi que les différents niveaux de détails d'un sous-problème. Les liens entre ces nœuds indiquent les choix faits par le concepteur le long du processus de résolution. La succession de ces nœuds et les liens entre eux retracent le cheminement complet vers la solution (Rowe, 1987), (voir figure 08).

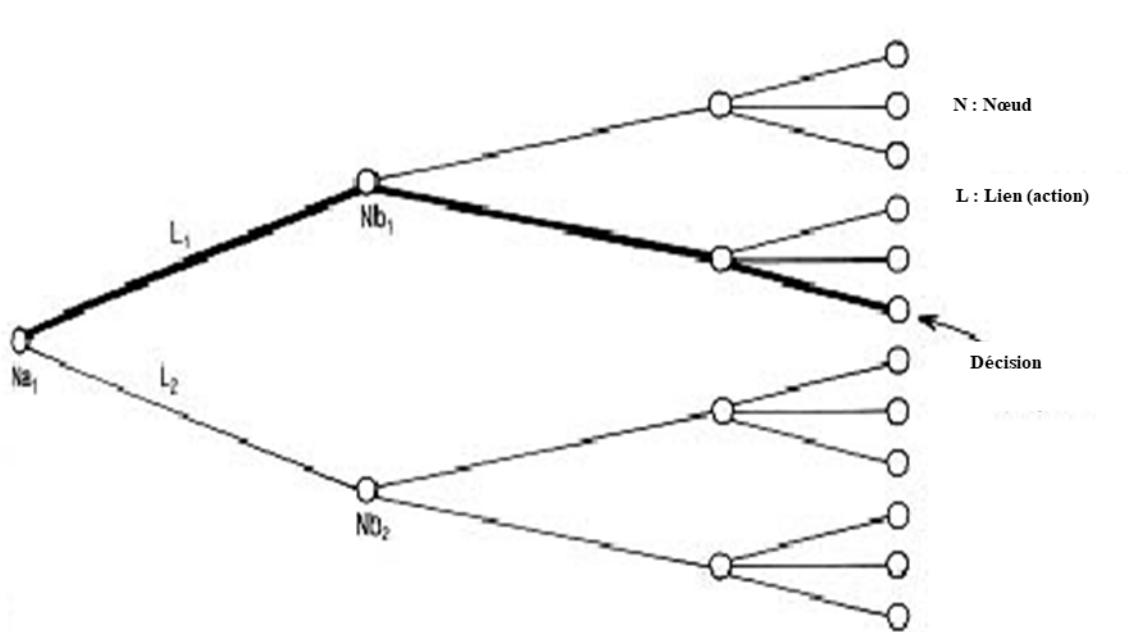


Figure 08 : L'arbre décisionnel (Rowe, 1987)

D'après Shadkhou (2007) l'arbre de décision est une représentation par extension, ce qui rend possible les combinaisons des éléments de base et l'évaluation de différents modes d'avancement vers la solution, durant une suite ordonnée d'événements. Ce principe est basé sur la structure des systèmes complexes à partir de la décomposition des systèmes en leurs composants, chacun exerçant une partie de la fonction globale, indépendamment des autres (Simon, 2004).

L'avantage de la représentation arborisante est que le concepteur est libre de changer et modifier l'ensemble du chemin, séquence par séquence. Il n'est plus obligé de poursuivre un chemin jusqu'à sa fin, à chaque point de décision il a la possibilité de changer l'orientation et continuer vers une action parallèle.

Afin de trouver une combinaison appropriée (une succession d'actions et d'étapes à suivre) qui aboutit à une solution, et sachant que les composants d'une telle combinaison se trouvent dans l'espace du problème, il faut organiser cet espace pour qu'une telle recherche soit dirigée. Dans cette approche de représentation, il y a deux modes d'organisation de l'espace du problème, ascendant ou descendant.

Dans son ouvrage intitulé « *De la synthèse de la forme* », Alexander (1971, P12) souligne que « *tout problème de conception débute par un effort pour parvenir à l'adaptation réciproque entre deux entités : la forme considérée et son contexte [...]* ». Il révèle aussi que cette forme « est la solution au problème, alors que le contexte définit, délimite le problème, et le véritable objet de la conception est en réalité l'ensemble comprenant la forme et son contexte ». Alexander définit la conception architecturale comme un « processus conduisant à inventer des éléments physiques qui, en réponse à une fonction à assumer, proposent un nouvel ordre physique, une nouvelle organisation, une nouvelle forme ». Dans ce sens, le modèle d'Alexander consiste à se servir de la phase d'analyse pour décomposer le problème posé en sous problèmes, plus faciles à maîtriser (voir figure 09).

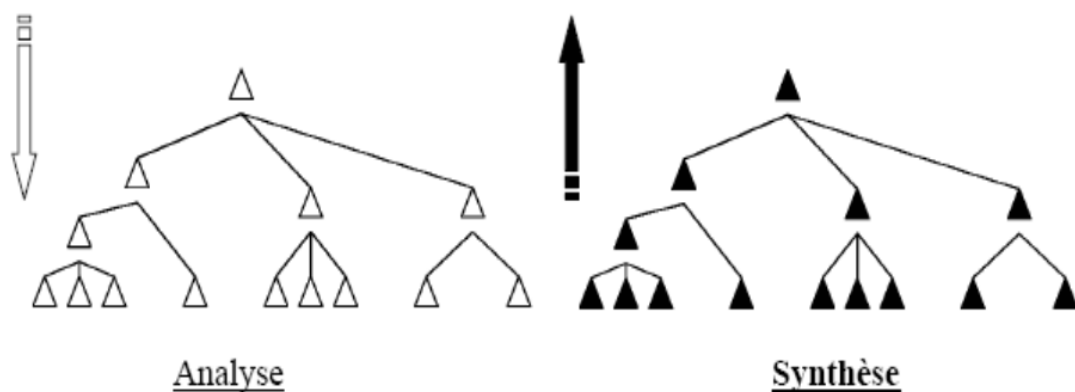


Figure 09 : Diagrammes en arbre (Alexander, 1971)

On peut conclure donc que la démarche d'Alexander maintient que la conception de l'espace architectural peut se conformer à une logique de propositions, de diagrammes

et de probabilités susceptibles d'assurer une solution architecture finale, qui est à la fois de qualité et satisfaisante de point de vue technique (coût, sécurité, règlement ...etc.).

2.3.5 L'engendrement des solutions

Le concepteur dispose de plusieurs façons et stratégies pour procéder à engendrer les alternatives ou les solutions candidates afin de produire des formes cohérentes avec ces intentions. De nombreuses recherches sont dirigées sur les différentes démarches possibles d'engendrer et de résoudre les problèmes dans le processus de conception, à savoir :

1. La démarche directe (essai – erreur) ;
2. La méthode (générer-et-tester) ;
3. L'analyse (fin-moyen).

2.3.5.1 La démarche directe

Le plus souvent, un architecte procède selon une démarche directe, l'engendrement ou la recherche de solutions est faite complètement au hasard. Elle consiste à procéder par tâtonnements et tentatives de formalisation que l'on compare aux intentions initiales. Elle implique une vision du processus de conception de type essai/erreur. Dans cette approche de résolution, l'engendrement des solutions candidates est fait indépendamment des résultats de tests d'évaluation. Les différences entre les propriétés des solutions proposées et celles désirées, sont détectées, mais elles ne servent pas au guidage du processus, car ce procédé ne possède pas les moyens pour traiter de tels résultats (Shadkhou, 2007). Cependant, l'aspect itératif non contrôlé et la longueur du processus peut s'avérer très élevée. Or dans un contexte de projet, le temps représente un facteur important qui influe principalement sur le coût de l'opération.

Cette démarche d'après Perrin (2004) reste la plus répandue du point de vue des outils de simulation mis à disposition, lesquels impliquent inévitablement le projet dans une forme très définie et de ce fait le parti architectural est arrêté. Ces outils de simulation s'appliquent postérieurement au processus de conception, mais ils ne répondent pas à un rôle d'aide et d'assistance à la conception architecturale.

2.3.5.2 La méthode générer-et-tester

C'est une extension de la méthode précédente, d'abord, elle empêche le système d'engendrer de nouvelles alternatives avec les erreurs ou les différences déjà détectées. Cette méthode adopte un système d'avancement basé sur un processus contrôlé à partir de la correspondance des propriétés des alternatives proposées et la solution désirée. Les éléments de différences détectés durant les comparaisons sont eux le guide du processus pour choisir l'étape suivante et par conséquent la résolution. Cependant, ce système manque encore de règles déterminantes comment et quand il doit s'arrêter. Il ne possède aucun moyen pour définir s'il faut s'arrêter ou s'il est possible de trouver une autre solution plus satisfaisante et qui s'adapte mieux aux propriétés de la solution désirée (Shadkhou, 2007).

2.3.5.3 L'analyse fin-moyen

En continuité avec la méthode générer-et-tester, Shadkhou (2007) a défini une troisième méthode analytique joignant les moyens et les buts. Elle comporte des règles de décision qui permettent d'expérimenter différents chemins de résolution du problème et de produire différentes solutions possibles. Les principaux composants de cette méthode sont :

- Les moyens représentent les actions de résolution spécifiques ;
- Les buts définissent les propriétés spécifiques de la fin à atteindre ;
- Les règles de décision guident le cheminement de l'avancement du processus.

Dans cette démarche on détermine les conditions que doivent remplir les formes pour réaliser les intentions des concepteurs. Dirigée par le résultat, cette méthode est d'avantage en accord avec le processus de conception en architecture au sens général, grâce à un processus dynamique de formulation/résolution simultanées d'un problème dirigé par des propriétés implicites dans la situation de départ (Benabdelfattah, 2010).

Pareillement, Simon (2004) a considéré la méthode (analyse fin-moyen) comme une méthode permettant de générer différentes voies vers la solution, à travers un ensemble d'actions possibles (Mangin, 2010). Il a défini la conception en tant qu'un processus de résolution d'un problème, par lequel une situation donnée est transformée en une

situation désirée. La résolution du problème de conception consiste à ajuster ces deux environnements, à savoir :

- L'environnement interne, constitué par un ensemble d'actions possibles ;
- L'environnement externe qui représente l'ensemble des paramètres.

Ces concepts soulignent que l'exploration et la recherche de la solution sont faites à partir de la clarification du problème et la connaissance et l'analyse des éléments constituant l'espace du problème. On se base sur la définition du « problème » d'après Rowe (1987), «*étant donné une série de « p » des éléments, trouvez une sous-série dite « s » de « p », qui possède des propriétés spécifiques [...] »*. Il est évident que les éléments constituant le problème et ceux de la solution, font partie d'un même ensemble. De ce fait, la transformation d'une situation donnée (le problème) en une situation désirée (la solution), est bien le changement de combinaison ou la recombinaison des composants de l'espace de problème à une nouvelle combinaison des mêmes éléments.

2.4 Conduite des phases d'élaboration du projet architectural

Dans cette partie nous ne désirons pas faire une analyse comparée des théories du processus de conception en architecture, mais d'avoir une compréhension simplifiée du processus de conception en architecture. Ceci dans le but de faire réussir notre proposition d'un mode d'intégration des exigences architecturales parasismiques dans les phases préliminaires de la conception architecturale, ceci est l'objet de notre présent travail de recherche.

En architecture, le terme "conception" désigne un état (le projet) et un processus (le cheminement qui permet d'accéder au projet). C'est dans la conduite du processus de conception architecturale que s'opèrent les relations entre savoir et savoir-faire. La modélisation de ce processus devrait pouvoir permettre de s'interroger correctement sur l'apprentissage des savoir-faire et sur le mode cohérent d'intégration des savoirs (Fernandez, 1996a).

Daniel Siret (1997) définit le processus de conception en architecture comme un ensemble d'actions menant un architecte à la constitution du projet, ceci a fait et continue à faire l'objet d'investigations importantes et variées. En effet, la recherche

méthodologique sur le processus de conception a mis en avant une représentation synthétique du projet architectural sous la forme : le projet est un « problème » qui est formulé en même temps qu'il est résolu. Cette formulation revient à décrire la conception comme un processus « *d'élaboration conjointe au problème (programme architectural) par spécification des contraintes et de la solution (le produit de la conception) [...]»*

Au cours des dernières décennies, de nombreuses approches sont apparues pour modéliser le processus de conception architecturale et pour établir des méthodes appropriées à l'élaboration de projets architecturaux. Les premiers signes de la modélisation du processus apparaissent au début des années 1960. En 1962, la ville de Londres accueille la conférence sur le Mouvement des méthodes de design (*Design Methods Movement*) qui s'intéresse à la fois à la conception architecturale et à plusieurs autres domaines similaires (l'urbanisme, le design industriel, ...etc.).

Broadbent (1988) a défini plusieurs procédés et méthodes de conception, à savoir, les méthodes pragmatiques, iconiques, analogiques et canoniques. Ces méthodes relèvent du domaine intuitif, elles sont issues d'un contexte où les problèmes de conception étaient simples. Par la suite, la complexité des problèmes de conception a poussé les chercheurs à développer plusieurs générations de méthodes systématiques rationnelles. Par ailleurs, dans la pratique de conception, l'architecte est appelé à combiner entre les deux méthodes intuitives et systématiques pour faire face au syndrome de la feuille blanche (Heylighen, 2000).

D'après Bendeddouch (1998), Lebahar (1983) a défini le processus d'élaboration du projet architectural comme « *un ensemble de situations de résolutions de problèmes qui met les acteurs en demeure de produire une solution [...] »*. D'autres le considère comme « *un processus qui donne naissance à des systèmes qui prédisent leur accomplissement d'objectifs donnés [...]»* (Sless, 1978). Le schéma proposé par Djafi (2005) (voir figure 10) combine deux modèles, le modèle de Zeisel (1981) et celui de Prost (1992) qui illustre le type de relations (cycliques) par un module de « formulation problème / solution » qui peut se produire entre les différentes phases du processus (conception-réalisation). Ce module est responsable sur la progression séquentielle et itérative du processus tels que décrits par Conan (1990). Ce schéma illustre aussi les «

lieux » prévus pour le développement du besoin de représentations tout au long de ce processus.

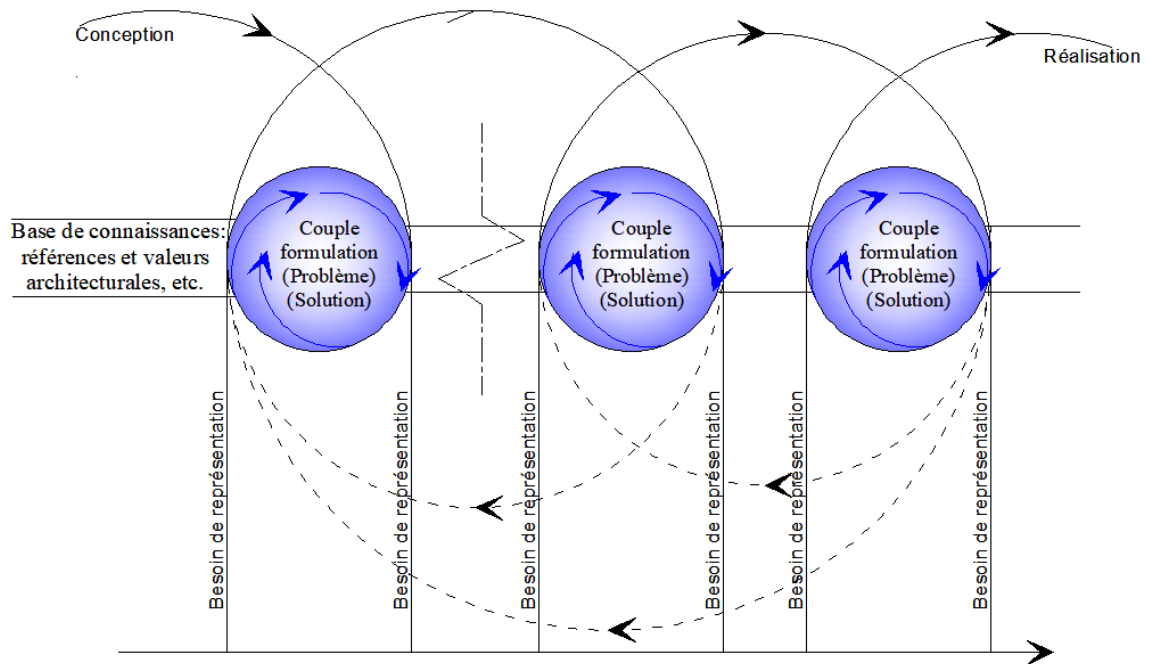


Figure 10 : Le rôle du couple « formulation problème / solution » dans l'avancement du processus d'élaboration du projet architectural (Djafi, 2005)

Dans son ouvrage « Conception architecturale », Prost (1992) accentue que le processus d'élaboration du projet architectural n'est pas linéaire mais dynamique et que la solution émergente est le résultat d'une démarche itérative comportant de nombreux bouclages entre les couples formulation de problèmes/formulation de solutions et ainsi que les acteurs qui en assurent le développement. Il nécessite la collaboration de plusieurs individus ayant des spécialités dans des domaines complémentaires, ceci permet d'obtenir un design mieux adapté à son contexte.

L'architecte est « incapable » de solutionner seul de manière satisfaisante, les questions complexes rencontrées au cours de l'élaboration du projet architectural. La présence d'un ingénieur pour le calcul de la structure, d'un sociologue/psychologue pour spécifier les besoins des usagers, etc. sont indispensables. Confirmé par Tric (1999, p06) : « le projet d'architecte n'est jamais considéré en lui-même, mais il est toujours étroitement mis en rapport avec le système d'acteurs (maîtres d'ouvrages, entrepreneurs, administrateurs, riverains...), qui pèse d'un poids déterminant sur l'activité de création particulière qu'est l'architecture [...] ». Ce caractère coopératif est

aussi mentionné par Bendeddouch (1998, p230) dans son ouvrage sur le processus d'élaboration d'un projet d'architecture, le nombre d'acteurs intervenant dans ce processus croît au fur et à mesure du déroulement de celui-ci.

Un tel processus est caractérisé aussi par une forte segmentation des tâches entre les différents acteurs ce qui produit un fractionnement durant la conduite des phases conception-réalisation. La schématisation de ces cinq phases du processus (Programmation (P), l'Élaboration Schématique du Projet (ESP), l'Élaboration Finale du Projet (EFP), les Détails d'Exécution (DE) et la Construction (C)) ne correspond pas à une position théorique, mais seulement à une illustration de la conduite de l'élaboration du projet architectural qui passe par un certain nombre de phases successives (voir la figure 06, le chapitre introductif).

Le principe suivi adopte la forme d'un canevas composé selon un ordre hiérarchique, séquentiel et récursif. Il propose surtout d'attirer l'attention des intervenants sur la nécessité d'aborder l'étude du projet avec un niveau élevé de détails et d'approfondissement au stade de l'élaboration conceptuelle et physique du projet, qui est en rapport au degré de complexité du couple formulation de problème/solution. Soit en amont ou en aval du processus, ces phases présentent les niveaux successifs du projet qui permettent son approbation et son identification. Elles traduisent un contenu et une articulation du processus de réflexion, allant de la définition des problèmes, à la formulation d'une proposition satisfaisante.

Le point de départ de la conception d'un projet est bien la phase programmation. Elle décrit les aspects qualitatifs et quantitatifs du projet, et englobe les orientations pour une meilleure appréhension de la conception. Elle consiste aussi à reformuler, si nécessaire, l'intention, le dessein, le besoin et les données exprimées par le client sous une forme écrite intelligible par l'architecte. Elle comprend par conséquent, tous les éléments de l'espace de problème, par lesquels les acteurs doivent définir l'énoncé du problème à résoudre et les contraintes distinctives à chaque composante (Duplay and Duplay, 1982).

Tenant compte des spécifications de la phase de programmation, le maître d'ouvrage produit des plans et des figures d'organisation et ainsi que les propositions d'aménagements. Les phases de l'ESP et l'EFP évoquent, de façon récursive, les types de réponses possibles aux problèmes rencontrés, sous forme d'options et d'hypothèses

de leurs propositions jusqu'à leurs formulations. Ils doivent donc refléter les options retenues et traduire les critères d'organisation fonctionnelle et spatiale du projet en question.

Avant d'entamer la phase de construction (C), l'acteur doit cadrer le projet au plan de la réalisation, par un dispositif juridique et réglementaire qui constitue une pièce essentielle et inséparable des documents graphiques. Son contenu peut se résumer comme la réponse aux questions suivantes : que peut-on faire sur le terrain? Comment peut-on le faire? Combien peut-on en faire? Ce document juridique ne couvre pas en détail tous les aspects de chaque objet. Néanmoins, il décrit le processus de sa préparation et de sa mise en forme, qui facilite l'utilisation d'une procédure commune pour les différents acteurs. Quant à l'évaluation, c'est l'opération qui accompagne le projet non seulement à la conception mais aussi lors de la réalisation, par un dispositif de validation. Ce dernier doit jalonner la mise en forme du projet du début jusqu'à la fin (Djafi, 2005).

En somme, l'ensemble du processus de conception/réalisation architecturale est représenté, selon Conan (1990), comme une chaîne de situations construites à partir d'un petit nombre de moments élémentaires dont chacun appelle à une description spécifique. Il doit se lire simultanément à trois niveaux, à savoir : comme processus d'échange toujours plus ou moins négociable avec le client, aussi comme processus de collaboration plus ou moins conflictuelle avec d'autres acteurs de la conception, et enfin comme processus d'élaboration intellectuelle soumis à des situations particulières. Autrement dit, l'élaboration du projet architectural est un mécanisme de pensée itératif qui a pour finalité de fournir une ou plusieurs propositions à un problème complexe pour lequel il n'existe pas de solution idéale (Prost, 1992). C'est un processus récursif, qui procède par diminution du degré de complexité jusqu'à atteindre un niveau où la complexité est abordable.

2.5 La prise en compte du risque sismique

La gestion du risque sismique passe d'abord par sa connaissance et sa caractérisation. Si le séisme a été pendant longtemps synonyme de calamité, il est maintenant considéré comme un phénomène tout à fait naturel. Le côté catastrophique est plutôt lié à la mainmise de la nature et à la gestion du risque par l'homme. En outre, depuis une

rencontre internationale de l'UNDRO (United Nations Disaster Relief Office) en 1979, le concept de risque est clairement défini comme la probabilité de perte (en terme de vie humaine, de propriété, de bien de production ...) dans un site déterminé, pendant un intervalle de temps défini d'exposition et sous l'action d'un séisme potentiellement sévère (Nouas, 2006).

De son côté, le législateur algérien a défini le risque majeur comme une menace probable pour l'homme et son environnement (JORADP, 2004, Art 2). La prévention consiste donc à la mise en œuvre de procédures et de règles visant à limiter la vulnérabilité des hommes et des biens aux menaces probables dans un objectif de préservation et de sécurisation du développement et du patrimoine des générations futures (JORADP, 2004, Art 3-4-5-6) Les objectifs d'un système de prévention des risques majeurs sont les suivants :

- L'amélioration de la connaissance des risques, le renforcement de leur surveillance et de leur prévision ainsi que le développement de l'information préventive sur ces risques ;
- La prise en compte des risques dans l'utilisation des sols et dans la construction ainsi que la réduction de la vulnérabilité des personnes et des biens aux aléas ;
- La mise en place de dispositifs ayant pour objectif la prise en charge cohérente, intégrée et adaptée de toute catastrophe d'origine naturelle ou technologique.

Ces objectifs, fixés par le législateur algérien sont inscrits dans la vision générale du développement durable. Les règles de prévention des risques majeurs et de gestion des catastrophes ont pour fondement les principes suivants (JORADP, 2004):

- Le principe de précaution et de prudence : Sur la base duquel l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir, à un coût économiquement acceptable, tout risque aux biens, aux personnes et à l'environnement d'une manière générale
- Le principe de concomitance : Qui, lors de l'identification et de l'évaluation des conséquences de chaque aléa ou de chaque vulnérabilité, prend en charge leurs interactions et l'aggravation des risques du fait de leur survenance de façon concomitante.

- Le principe d'action préventive et de correction par priorité à la source : Selon lequel les actes de prévention des risques majeurs doivent, autant que possible, en utilisant les meilleures techniques, et à un coût économiquement acceptable, veiller à prendre en charge d'abord les causes de la vulnérabilité, avant d'édicter les mesures permettant de maîtriser les effets de cette vulnérabilité.
- Le principe de participation : En vertu duquel chaque citoyen doit avoir accès à la connaissance des aléas qu'il encourt, aux informations relatives aux facteurs de vulnérabilité s'y rapportant, ainsi qu'à l'ensemble du dispositif de prévention de ces risques majeurs et de gestion des catastrophes.
- Le principe d'intégration des techniques nouvelles : En vertu duquel le système de prévention des risques majeurs doit veiller à suivre et, chaque fois que nécessaire, à intégrer les évolutions techniques en matière de prévention des risques majeurs.

Dans ce contexte, notre objectif est de participer à développer un moyen permettant la réduction de la vulnérabilité de l'homme et son environnement naturel et artificiel vis-à-vis du risque sismique. Notre contribution s'est focalisée sur l'apport de l'architecte algérien dans la réduction de la vulnérabilité du cadre bâti et par conséquent la réduction de la vulnérabilité de l'homme et son environnement.

A cet effet, nous avons adopté la méthode d'analyse de besoin « needs analysis » afin de caractériser la situation actuelle des architectes algériens vis-à-vis de la conception parasismique, puis la situation désirée, pour proposer un outil ou un support hard/soft permettant la situation souhaitée d'avoir lieu. Deux compétences vont guider notre démarche à savoir les compétences de conception architecturale et celles de communications et d'échanges d'informations entre les deux acteurs principaux, à savoir, l'Architecte et l'Ingénieur civil.

2.6 Philosophie de la conception parasismique

Dans sa définition du risque, le Robert, l'identifier à un danger éventuel plus ou moins prévisible, il y a là un consensus sur l'association de la notion de danger à celle du risque, « *on définit le risque comme les effets d'un aléa sur des biens ou des personnes vulnérables ; le danger est un état, le risque sa mesure* » (Fernini-Hafif, 2008), la source du danger est caractérisé alors par l'aléa qui s'abat sur tout ce qui est vulnérable.

Le risque se caractérise donc par deux composantes :

- 1) l'aléa, c'est-à-dire la probabilité d'occurrence d'un événement donné ;
- 2) la vulnérabilité des enjeux, qui exprime la gravité des effets ou des conséquences de l'événement supposé pouvoir se produire.

2.6.1 Le concept d'aléa

Une définition largement admise caractérise l'aléa comme étant « un évènement rare ou extrême, qui survient dans l'environnement naturel ou l'environnement créé par l'homme, et affecte négativement la vie humaine, les biens ou les activités, au point de créer une catastrophe [...]» (Olin, 2005, p16) voir figure 11.

Un aléa sismique peut être défini comme la probabilité ou la possibilité pour une région ou un site donné dans un moment donné d'être exposés à une secousse sismique de caractéristiques attribuées. Ces caractéristiques sont exprimées autant que possible sous forme de paramètres tels que : intensité macrosismique, accélération, vitesse, déplacement, spectre du signal temporel.

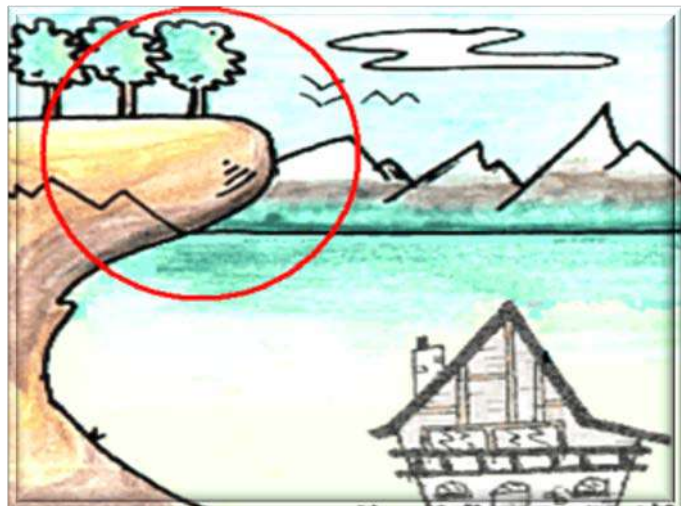


Figure 11 : Aléa : Événement potentiellement dangereux.

2.6.2 Le concept de vulnérabilité

La définition de la vulnérabilité sismique des constructions varie d'un auteur à un autre. La vulnérabilité d'un enjeu (humains, économiques, environnementaux, patrimoniaux) définit sa sensibilité à l'action de l'aléa. Elle est généralement expliquée par le degré de perte des éléments concernés par les résultats spécifiques causés par des facteurs bien déterminés (Benedetti, Benzoni and Parisi, 1988). A l'échelle urbaine et architecturale, la vulnérabilité peut être caractérisée par un indice lié à la géométrie (dimensions,

hauteur, forme en plan, caractéristiques architecturales), aux matériaux de la construction, l'état physique du bâti...etc. (Benabdelfattah, 2010). Cette notion de vulnérabilité inclut l'importance des bâtiments en termes de 'coût', mais aussi en termes de 'valeur immatérielle' et de 'vies humaines menacées' (voir figure 12).

Ambraseys (1997) définit la vulnérabilité comme étant le degré d'endommagement qu'infligerait un séisme de paramètre X (magnitude, intensité, amplitude...) à une construction donnée ainsi qu'à l'assise. Autrement dit, c'est une mesure des proportions perdues suite à un séisme donné, c'est aussi une mesure du pourcentage d'endommagement relatif à chaque



Figure 12 : Intérêts menacés par l'aléa

élément structural de manière globale exprimée dans une échelle allant de zéro, pas d'endommagement, à l'unité extrême par la perte totale de l'élément. Pour exprimer la vulnérabilité d'une construction, il faut tenir compte : des caractéristiques intrinsèques de cette dernière (capacité, déformation, caractéristiques des matériaux...), des paramètres relatifs au séisme (intensité, magnitude...) ainsi que faire appel à une échelle d'endommagement (Madelaigne, 1987; Petrovski and Milutrovic, 1990; Ristic, Petrovski and Nocevski, 1990).

Selon Sandi (1990), il est nécessaire de faire une distinction entre la vulnérabilité observée 'Vo' et la vulnérabilité prédite 'Vp'. Il considère que 'Vo' est évaluée à partir de l'observation de l'effet du séisme sur une construction. Elle sous-entend endommagement, les catastrophes sismiques offrent un champ d'observation pour les chercheurs, leur permettant ainsi de développer des relations empiriques. Cependant, le second type 'Vp' est basé sur le comportement de celle-ci en tenant compte des caractéristiques propres de la structure, il est estimé à partir de la prédiction de l'effet qu'induirait un séisme futur sur une construction.

2.6.3 Le concept de risque

Par définition, un risque est l'accident d'une gravité très élevée mais d'une probabilité d'occurrence relativement très faible. Il résulte de la confrontation d'un aléa avec un ou plusieurs enjeux vulnérables (voir figure 13).

Particulièrement, le risque sismique lié à l'impact sur l'homme et ses intérêts définit l'importance et le coût des dégâts que peut faire un séisme d'un niveau donné dans un contexte urbain donné. Selon cette approche, le risque sismique s'avère donc être issu de la confrontation d'un aléa sismique avec la présence des enjeux. Sous une équation logique, qui n'a aucune valeur



Figure 13 : Le couple Aléa violent / Enjeux

mathématique mais elle reste la définition la plus proche d'une notion de risque. Elle présente le risque comme le résultat de la somme de l'aléa avec les éléments menacés (équation 1) :

$$\text{Risque sismique} = \text{aléa sismique} \wedge \text{présence des enjeux} \quad (1)$$

Durant la décennie 90, cette notion a progressivement enregistré une évolution vers le produit de l'aléa et la vulnérabilité. De tel sorte que le risque est proportionnellement obtenu avec la sévérité de l'aléa et/ou la vulnérabilité des enjeux menacés. Le « risque sismique » est d'autant plus grand que l'aléa sismique et la vulnérabilité sont grands (équation 2) :

$$\text{Risque sismique} = \text{aléa sismique} \times \text{vulnérabilité} \quad (2)$$

De manière générale, on parle des risques sismiques, parce que lors d'un tremblement de terre, les conséquences ne se calculent pas uniquement en termes de dégâts aux constructions. Les enjeux concernent également l'impact en terme de vies humaines et du nombre de personnes blessées, du coût économique lié à la perturbation ou l'arrêt de

l'activité de certaines entreprises, du coût social résultant des populations ayant perdu leurs logements,...etc. (Fernini-Hafif, 2008).

Cette considération nous permet d'ajouter un troisième composant à l'équation du risque qui est le degré de prise en charge avant, pendant et après l'occurrence d'un aléa sismique. Le « risque sismique » résulte dès lors, par la confrontation d'un aléa sismique avec des enjeux vulnérables, et qu'il pourrait s'aggraver proportionnellement avec le degré de prise en charge (Nouas, 2006; Benabdelfattah, 2010). On obtient donc une troisième formule de risque qui englobe la synergie entre l'aléa et la vulnérabilité avec la proportionnalité de la prise en charge (équation 3):

$$\text{Risque sismique} = \text{aléa sismique} \times \text{vulnérabilité} + \text{le degré de prise en charge} \quad (3)$$

2.6.4 La réduction du risque sismique

Par définition, la loi 04-20 dans son article 03 définit la prévention des risques par la mise en œuvre de procédures et de règles visant à limiter la vulnérabilité des hommes et des biens aux aléas naturels, y compris les aléas technologiques. Ces règles visent à prévenir et prendre en charge les effets des risques majeurs sur les établissements humains, leurs activités et leurs environnements dans un objectif de préservation et de sécurisation du développement et du patrimoine des générations futures, qui est inscrit dans la logique du développement durable (Art 06).

Les impacts produits par les séismes et les dépenses entraînées par les dommages corporels ou la mort de personnes, nous incitent à la mise en place d'une politique de prévention aux échelles nationales, régionales et locales, permettant de réduire le risque sismique. D'autre part, réduire le risque c'est diminuer la vulnérabilité des enjeux menacés et augmenter le degré de la prise en charge, car à la différence des risques liés aux inondations par exemple, on ne peut pas, ou peu, pour les séismes, agir sur l'aléa, sauf de fuir, c.à.d. construire dans des zones ont une activité sismique négligeable (Chebance, 2001).

Diminuer le risque sismique dans des zones exposées à des tremblements de Terre ne peut se faire donc qu'en diminuant la vulnérabilité, parce que l'aléa découle des contraintes de notre environnement naturel et ne peut être modifié. Une construction

parasismique n'est donc jamais et en aucun cas antisismique⁷. D'après Verrhiest et Werrhiest (2007), réduire le risque sismique implique à prendre les actions suivantes, à savoir:

- 1) Une identification des éléments exposés les plus vulnérables aux séismes ;
- 2) Une appropriation active du risque sismique ;
- 3) Le développement d'actions préventives et de surveillance.

La première phase dans la réduction des risques sismiques dans une société exposée à des tremblements de terre, après l'évaluation de l'aléa sismique qui nous permet d'avoir une connaissance de l'agression sismique probable, est l'identification des éléments exposés les plus vulnérables aux séismes.

Lorsqu'on met à la disposition aux pouvoirs publics (décideurs) des cartes d'aléa sismique régional et local, ils vont permettre la mise en place d'une véritable politique de prévention des risques sismiques en formulant des recommandations, en fonction de l'échelle d'observation, en matière d'aménagement, de règles de construction et d'occupation des sols. Ces recommandations ainsi que l'information et la sensibilisation auprès de la population, constituent la prévention sismique qui reste aujourd'hui et pour longtemps encore sûrement, la seule mesure efficace face aux tremblements de terre. Cette action vise à diminuer l'impact des tremblements de terre futurs par la diminution de la vulnérabilité des enjeux. Car l'aléa découle des contraintes de notre environnement naturel et ne peut être modifié (Chebance, 2001).

De ce fait, l'architecte est appelé à jouer son rôle par la conception des ouvrages aptes à résister aux tremblements de terre qui permettent de réduire la vulnérabilité des autres enjeux menacés (personnes, activités,...etc.), et par conséquent réduire le risque sismique qui est aggravé par l'augmentation de la vulnérabilité du cadre bâti et ces occupants, comme le montre les formules ((1), (2), et (3)). Un exemple significatif cité par Verrhiest et Winter (2007) nous montre comment un aléa identique peut engendrer un risque différent. L'exemple concerne trois séismes de même magnitude de 6.5 (Mw) à Taiwan, Californie (USA) et à Bam (Iran) en décembre 2003.

⁷ Ce n'est pas une construction qui résiste jusqu'au bout à un séisme ou empêche un séisme de se produire.

- 1) Taiwan : 0 dommage, 0 victime ;
- 2) Californie : 0 dommage, 1 victime ;
- 3) Iran (Bam): 80% de la ville détruite, 38 000 victimes.

Les séismes sont des aléas naturels dont la réalisation peut être connue en termes de probabilité ou par hasard ayant un caractère imprévisible. Ils sont des risques contre lequel l'homme ne peut que se protéger de manière passive par la diminution de la vulnérabilité des enjeux. On ne peut en effet empêcher un séisme d'avoir lieu, mais on peut en revanche tenter de le prévenir et prendre des dispositions pour minimiser ses conséquences sur le plan humain. L'exemple de Verrhiest et Winter (2007) précité, nous confirme que la vulnérabilité des enjeux présente jusqu'à maintenant le seul domaine incontestable où on peut agir pour diminuer l'ampleur du risque sismique.

La réduction du nombre de victimes lors d'un séisme passe généralement par l'adaptation des formes et structures des bâtiments et autres ouvrages d'art aux sollicitations dynamiques. C'est notamment l'objet de la construction dite parasismique. Le risque sismique est appréhendé par ses trois composantes dans la formule classique l'aléa, la vulnérabilité des enjeux et le degré de prise en charge. Cette formule a le mérite d'indiquer les différentes approches que l'on peut envisager dans le but de réduire le risque sismique.

2.7 Synthèse du chapitre

La problématique de la caractérisation et la modélisation de l'acte de concevoir est à la croisée de plusieurs domaines : artistique, technologique, économique,... Il est considéré à la fois comme un acte collectif, un processus itératif, un acte d'imagination, un acte d'optimisation, un acte inférentiel, une situation de communication, une situation de résolution de problèmes,... L'attention doit être portée au processus conceptuel (considéré comme le logiciel de la production architecturale), de façon à améliorer l'efficacité des outils et des techniques en vue d'une architecture de qualité.

Le projet architectural est l'aboutissement d'un long et complexe processus de planification de nature multidisciplinaire. L'architecte doit gérer ce processus qui est considérée comme une activité de résolution de problème de telle sorte que toutes les contraintes soient prises en compte et satisfaites. Pour ce faire, il doit avoir le maximum

d'informations sur le problème ou la situation, et surtout puiser, surtout, dans son expérience, savoir et savoir-faire. Cependant, il est confronté, quotidiennement, à des problèmes ou des situations auxquels il doit apporter les meilleures solutions possibles qui sont à la fois d'ordre objectives et subjectives. Une démarche d'assistance et d'aide pour le concepteur est devenue donc plus qu'une nécessité surtout dans des domaines aussi importants comme celui de la sécurisation des bâtiments au risque sismique.

En effet, des analyses menées conduites dans nombreux domaines montrent que les concepteurs ont une propension systématique et naturelle à se projeter, plus ou moins directement, sur l'espace de la solution physique du problème (Béguin, 1997). De ce fait, le concepteur opère en mêlant, en même temps, les compétences de conception et de communication durant les différents niveaux hiérarchiques du processus de conception. Ceci met en évidence la nécessité de méthodologies pertinentes et structurantes de l'activité de conception et qui vont permettre de fournir, soutenir et, guider le travail du concepteur vers plus de créativité et d'efficacité.

Les mesures de protection contre ce phénomène qui a été jugé fatal, se sont d'abord concentrées sur la gestion des catastrophes. Le risque sismique dépend d'une part de la probabilité d'occurrence des séismes, donc de l'aléa sismique et, d'autre part de la vulnérabilité des constructions et des enjeux menacés qui définit son aptitudes à subir un dommage à la suite d'un événement sismique. En l'absence des enjeux vulnérables (construction et personnes), il est nul. C'est en adhérent à cette voie, qu'apparaissent les premiers fondements du prochain chapitre de déterminer les besoins des architectes Algériens au sujet de la conception parasismique, par lequel on va chercher la possibilité, la manière et le bon moment d'intégration des exigences parasismiques durant le processus de conception du projet architecturale. Cette contribution a pour objectif d'orienter la pratique de conception parasismique qui devient un réflexe. Ce réflexe, de "construire parasismique", ne peut résulter que d'une collaboration permanente entre les acteurs de cet acte surtout, l'architecte et l'ingénieur.

CHAPITRE III

**Le parasismique en Algérie; de
l'identification des besoins à la proposition
d'une démarche d'aide à la conception
architecturale**

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

“If a builder build a house for someone, and does not construct it properly, and the house which he built fall in and kill its owner, then that builder shall be put to death”

Code of Hammurabi, 1772 BC

Chapitre 03 Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

3.1 Introduction

En Algérie, la région de concentration des populations et des activités est le territoire tellien qui est un espace tectoniquement complexe à vulnérabilité sismique très élevée. Les récentes catastrophes qu'a enregistrées le pays ont mis au jour une perception de cette forte vulnérabilité, accentuée par les pratiques architecturales et urbanistiques qui considèrent encore que la sécurité face au risque sismique, dans le domaine de bâtiment est uniquement une question d'ingénierie.

Généralement, un tremblement de terre a une durée de quelque dizaines de secondes, le plus souvent moins d'une minute (Zacek, 1996). Mais pendant ce temps relativement bref, le nombre de sollicitations peut être élevé, plusieurs dizaines de vibrations résultant des aller- retour du sol. Ces sollicitations sont des déformations imposées à la structure, déformations dont elle doit s'accommoder. Pour cela, elle devrait posséder une bonne ductilité, qui dépend aussi bien de la conception architecturale que des

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

dispositions constructives. Donc, il est nécessaire que l'intégration des préoccupations parasismiques par le maître d'œuvre dans la conception du projet devienne un réflexe, de façon à en réduire et en contrôler les surcoûts probables. Ce réflexe, de "construire parasismique", ne peut résulter que d'une collaboration permanente entre les différents acteurs durant l'élaboration du projet. L'architecte, l'ingénieur, le réalisateur et même les utilisateurs sont donc responsables directement sur la qualité parasismique du projet, car une application stricte des règles et normes parasismique lors de la conception d'un projet architectural ne peut se faire d'une manière efficace sans une collaboration étroite entre l'architecte et l'ingénieur civil dès le début, suivi par une bonne exécution des travaux qui permettent aux bâtiments de résister de façon satisfaisante aux séismes de faible à moyenne intensité (Kert, 1995).

3.2 Stratégies de conception parasismique

L'action sismique subie par un bâtiment est proportionnelle à l'accélération qui lui est imposée par le sol et par sa propre masse. Les secousses du sol provoquent des oscillations multiples qui ont pour conséquence de produire des effets réciproques, une interaction entre le sol et la structure. Cette interaction pourra se traduire par d'amplification des amplitudes d'oscillation appelé « résonance » ou, au contraire, par des phénomènes d'amortissement et, par conséquence, d'atténuation des oscillations du sol transmises aux constructions qui y sont fondées. La limitation des effets de l'action sismique peut se faire donc, par une démarche réfléchie en commençant par éviter le phénomène de résonance avec le sol, cela se fait en premier lieu par l'établissement d'une conception architecturale intrinsèquement parasismique qui permet de minimiser, voire de supprimer l'amplification des accélérations par la construction, d'où un surcoût faible ou nul (Zacek, 1996; AFPS, 2004).

Il est clair qu'une construction en résonance ou quasi-résonance avec le sol subit des accélérations amplifiées qui entraînent généralement des dommages graves. Le principe de non-résonance entre le bâtiment et le sol pour éviter cette amplification, impose que la période propre de vibration du bâtiment doit être différente de celle du sol, il est donc

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

préférable de construire une structure souple et flexibles⁸ sur des sols durs caractérisés par la prédominance des oscillations de courte période, et inversement des structures rigides sur des sols de longue période, sauf en cas d'utilisation d'isolateurs parasismiques. D'une manière générale, deux stratégies possibles à appliquer pour limiter les effets de l'action sismique sur le bâtiment :

3.2.1 La stratégie de minimiser l'action sismique

Une bonne approche de la conception serait donc, de s'efforcer de minimiser les risques d'amplification, en jouant sur la forme en fonction des caractéristiques du sol. Cette démarche est souvent possible en appliquant les principes de base de conception suivante :

- ✓ minimiser les charges sismiques ;
- ✓ minimiser l'énergie cinétique communiquée à la construction.

Selon la deuxième loi de Newton (voir formule 4 ci-contre), minimiser l'action sismique convient de minimiser les accélérations (a) et les masses (m) par l'adoption des structures légères, donc réalisées en matériaux ayant un rapport Résistance / Masse volumique le plus grand possible. Plus la construction est lourde, plus sa résistance au mouvement est grande et plus grande sont les forces d'inertie qu'elle subit. Celle-ci déforment la superstructure et constituent donc pour elle des charges auxquelles elle doit résister. On a donc :

$$\mathbf{F} = \mathbf{m} \times \mathbf{a} \quad (4)$$

Du fait du déplacement du sol dû au tremblement de terre, les charges sismiques peuvent renforcer l'effet du poids d'une construction dans un sens vertical descendant, dans un sens vertical ascendant avec des efforts spécifiques créés par les composantes horizontales de la force sismique (AFPS, 2004). Minimiser les accélérations du sol est

⁸ Une structure à longue période propre (portiques métalliques sans murs de remplissage, ossature en bois, constructions sur appuis parasismiques,...etc.). Par exemple une tour flexible de plusieurs dizaines d'étages peut convenir sur un sol rocheux. C'est pour cette raison que certaines tours, parmi les plus hautes du monde, se trouvent dans les zones les plus exposées aux séismes.

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

aussi en fonction avec la topographie du site, de la géométrie et les caractéristiques dynamiques des couches superficielles du sol. A cet effet, lors de l'implantation d'un bâtiment, il faut éviter les situations donnant lieu à une amplification importante des accélérations transmises par le substratum.

3.2.2 La stratégie de maximiser la capacité de réaction

Pour augmenter la capacité de réaction de la structure pour ne pas s'effondrer lorsque leurs déformations atteignent une ampleur qu'elle ne parvient pas à tolérer, on doit :

3.2.2.1 Maximiser la capacité de stockage et de restitution de l'énergie

Les constructions stockent l'énergie grâce à leurs déformations élastiques, « à leur souplesse », à la manière d'un ressort. L'énergie stockée, appelée énergie de déformation élastique, est restituée en cas de suppression des charges puisque la construction revient à l'état non déformé (Zacek, 1996).

3.2.2.2 Favoriser la capacité de dissipation

Les mécanismes de dissipation d'énergie par les constructions pendant leurs oscillations sont divers. D'après M. Zacek (1996), il les classe en quatre catégories : réflexion vers le milieu environnant, frottement dans les joints ou dans les fissures, amortissement interne des matériaux, appelé aussi amortissement structural et fissuration ou rupture d'éléments constructifs.

3.2.2.3 Favoriser la résistance mécanique

Maximiser la capacité des constructions à réagir vis-à-vis les sollicitations sismiques convient de favoriser la résistance mécanique en optimisant la capacité des constructions à stocker et/ou dissiper de l'énergie.

Selon la démarche suivie, le concepteur doit être vigilant et veiller attentivement sur la limitation des concentrations de contraintes en évitant les configurations qui présentent des angles rentrants importants. Et assurer une distribution correcte des charges au sein de la forme de bâtiment.

3.3 Les outils d'aide à la conception parasismique

La conception architecturale est un domaine pluridisciplinaire défini comme un processus itératif orchestré par l'architecte. C'est un complexe processus de planification de nature multidisciplinaire. Elle exige la présence d'autres acteurs avec lesquels l'architecte collabore et dialogue. Dans cette activité considérée comme un acte de résolution de problème, l'architecte doit le gérer de la manière la plus efficace en s'assurant que toutes les contraintes sont prises en compte et satisfaites. Donc, cette activité ne peut être réduite aux compétences de conception, mais devrait prendre en charge les aspects liés aux communications, échanges et interactions de l'architecte avec les autres acteurs agissant sur le projet.

Durant son acte de concevoir, l'architecte est confronté à des situations de conception auxquelles il doit apporter des solutions, les meilleurs possibles. Pour ce faire, il doit avoir le maximum d'informations sur le problème rencontré, et puiser, surtout, dans son expérience, savoir et savoir-faire. Plusieurs techniques et approches ont été proposées pour implémenter cet état de fait dans une machine et permettre au concepteur de trouver des solutions adéquates à des problèmes, en lui fournissant les connaissances nécessaires liées à la situation rencontrée.

En termes de classement des outils d'aide à la conception architecturale, Depecker (2000) cité par Eduardo Breviglieri (2005, p11) a distingué trois types basiques des outils d'aides :

3.3.1 Règles expertes (savoir-faire)

Ce sont des connaissances générales relatives au site, à l'enveloppe du bâtiment, au climat, aux composantes du bâtiment...etc. Les règles expertes sont le beurre d'une expérience de nombreux acteurs (professionnels, chercheurs spécialisés...) sur un sujet déterminé. Elles prennent la forme de règles formulées de manière simplifiée, comme des règles de choix ou des règles de tendance de comportements.

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

3.3.2 Codes simplifiés

Ce sont des codes de calcul basés à partir de modèles physiques, mathématiques et numériques simplifiés, mais capables de fournir des résultats avec une précision satisfaisante pour la phase d'avant-projet. Grâce à la rapidité des calculs de performance et des interfaces simplifiées, Les codes simplifiés se prêtent très bien pour des études de sensibilité et modification de solutions de projet par un processus (choix - évaluation - modification = nouveau choix) interactif.

3.3.3 Codes spécialisés

Ce sont des codes de calcul très exigeants. Ils sont basés à partir de modèles physiques, mathématiques et numériques sophistiqués et très précis. L'usage de ces outils exige une grande connaissance de pointe (des phénomènes mécaniques, thermiques, lumineux, de la dynamique des fluides, méthode des éléments finis...etc.) pour être utilisés correctement. Ils ne possèdent généralement pas une interface conviviale, et ils présentent une courbe d'apprentissage lente.

Avec la pluridisciplinarité et la complexité de la conception architecturale parasismique, on atteint le point où l'avancement dans cette activité dépasse la capacité d'un seul acteur, et ceci en grande partie à cause de certaines fonctions secondaires à caractère non créatif. Heureusement, ces fonctions sont de nature quantitative et peuvent être confiées à des outils d'aide et libérer le concepteur pour les tâches qualitatives qui sont du niveau de ses aptitudes et de sa formation (Elandaloussi, 2013). Beaucoup d'outils informatiques d'aide à la conception des bâtiments, qui n'étaient auparavant disponibles que pour des opérations de grande envergure, sont apparus comme des applications pour des micro-ordinateurs à partir des années 80. Les outils de simulation de comportement des bâtiments (mécanique, thermique, lumineux, ventilation, etc..) disponibles actuellement font généralement partie du troisième groupe (codes spécialisés), et ne sont pas employés couramment dans la pratique architecturale (Depecker *et al.*, 2000). Ceci est principalement dû à l'inadéquation de ces outils aux professionnels impliqués dans le processus de conception, principalement les architectes.

3.4 L'évaluation de la vulnérabilité du bâtiment

Pour réduire le risque sismique, la plus part des démarches d'aide à la décision adoptée à l'échelle mondiale commencent par l'évaluation de degré d'exposition au séisme. A l'échelle du bâtiment, l'analyse de la vulnérabilité sismique des constructions signifie l'estimation de leur consistance aux termes quantitatifs et qualitatifs, en particulier l'estimation de leur degré d'endommagement par un événement sismique (Boukri, 2014). Cochrane et Schaad (1992) ont considéré que l'estimation de la vulnérabilité sismique comprend deux tâches majeures :

1. Détermination des paramètres de constructions influant sur la vulnérabilité sismique et quantifier leurs influences.
2. Développement des outils, avec lesquels la vulnérabilité peut être estimée en tenant compte des caractéristiques des constructions.

La méthodologie d'analyse de la vulnérabilité sismique doit définir comment effectuer l'étude avec tous les détails des constructions ; définir aussi les modèles appropriés qui corrént la sévérité de l'action sismique avec les effets des dégâts physiques et pertes économiques intangibles (Djaalali, 1997). Parmi les méthodes les plus utilisées pour l'estimation des dommages dans les bâtiments, nous avons :

3.4.1 Méthodologie d'IZIIS

La 'Méthodologie d'IZIIS' a été développée à l'institut d'ingénierie et de sismologie (institut IZIIS en Macédoine) et adoptée dans le règlement parasismique de l'ex-Yougoslavie (Bozinovski and Gavrilovic, 1993). Elle permet d'estimer la vulnérabilité sismique des structures en se basant sur une évaluation de la capacité portante en termes d'effort et de déplacement ainsi que sur l'analyse du comportement linéaire et non linéaire de celle-ci lorsqu'elle est soumise à une sollicitation sismique.

3.4.2 Méthodologie EPM

La 'Méthodologie EPM' élaborée à l'école polytechnique de Milan (Italie), consiste à évaluer la capacité de la structure ainsi que la corrélation entre les résultats de l'analyse

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

capacitaire et ceux donnés par le code parasismique en vigueur, ce qui permet une estimation du facteur de sécurité de la structure.

Verrhiest, Aufret et Roussillon (2008) ont effectué une analyse bibliographique de Treize méthodes qualitatives d'évaluation de la vulnérabilité pour produire un cahier technique constituant une aide à la décision pour les techniciens et les responsables locaux quant au choix des méthodes d'approche à mettre en œuvre en fonction de leurs besoins. L'objectif de cette comparaison est de guider un choix de méthode en fonction du contexte, et de permettre aux utilisateurs de sélectionner une méthode selon les exigences particulières qu'ils peuvent avoir. Les méthodes d'évaluation analysées sont :

3.4.3 Méthode du CETE Méditerranée (fin des années 1990)

3.4.4 Méthode de Milan Zacek (1993)

3.4.5 Méthode de Milan Zacek, bâtiments de classe D de la ville de Nice (1997)

3.4.6 Méthode BATTIER (2002)

3.4.7 Méthode du projet européen RISK-UE (2003)

3.4.8 Méthode VULNERALP (2005)

3.4.9 Méthode Canadienne (1992)

3.4.10 Méthode du CETE de Lyon (2001)

3.4.11 Méthode FEMA-154

3.4.12 Grille d'évaluation suisse (2003)

3.4.13 Méthode néo-zélandaise (2006)

3.4.14 Méthode japonaise (2001)

3.4.15 Méthode italienne GNDT

Le tableau 02 présente une synthèse d'une étude comparatif des 13 méthodes réalisée par . Elle a été guidée par quatre catégories de critères, à savoir: (1) Les caractéristiques générales; (2) La complexité; (3) Les moyens nécessaires à la réalisation du diagnostic; et (4) Les résultats obtenus.

Dans le but de faciliter la lecture, Verrhiest, Aufret et Roussillon (2008) ont opté pour un système de trame de fond plus ou moins foncée des cellules en fonction du nombre d'étoiles qu'elles possèdent. Plus la cellule a d'étoiles, plus la caractérisation du critère est positive et plus sa trame de fond est sombre.

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

Tableau 2 Tableau comparatif des 13 méthodes étudiées par (Verrhiest, Aufret and Roussillon, 2008)

Méthode	Caractéristiques générales				Complexité			Moyens		Résultats
	Validation scientifique	Champ d'application	Typologies de bâtiments concernées	Facteurs de vulnérabilité pris en compte	Données d'entrée	Technicité requise	Simplicité	Temps nécessaire	Coût	Type de résultats obtenus
Méthode CETE Méditerranée	*	* U	**	*	***	**	**	***	***	* I
Méthode Zacek 1993	*	* B	***	*	**	***	***	***	***	* D
Méthode Zacek Classe D Nice	*	** B/U	**	**	*	*	*	*	**	* D
Méthode Baitter AFPS	**	** B/U	*	**	*	*	**	*	*	**
Méthode RISK-UE Niveau 1	***	** B/U	***	**	***	**	**	**	***	I/D *** I/D/M
Méthode Vulneralp				*	***	***	***	***	***	
Niveau 0										
Niveau 1.0										
Niveau 1.1	**	* U	***	**	**	**	**	**	**	*** I/D/M
Niveau 2.0										
Méthode CETE Lyon	*	** B/U	***	**	**	**	**	**	***	* Q
Méthode canadienne (niveau 1)	***	** B/U	***	**	**	**	***	**	***	* I
Méthode américaine (FEMA 154)	**	* U	**	**	**	**	***	***	***	** I/D
Méthode suisse OFEG (niveau 1)	*	** B/U	***	**	**	**	***	**	**	* I
Méthode néo-zélandaise NZSEE	***	** B/U	***	***	**	*	**	**	**	* I
Méthode japonaise (niveau 1)	***	* B	*	***	*	*	**	*	*	* I
Méthode italienne GNDT (fiches de niveau II)	***	** B/U	**	***	**	**	**	*	*	** I/D

B= à l'échelle du bâtiment, U= à l'échelle urbaine, I= indice de vulnérabilité, D= résultat en termes de dommages, M= marges d'erreurs, Q= qualification

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

Pour bien comprendre l'utilisation de la synthèse de cette étude présentée dans la figure précédente (comme aide à la décision et sélection de la méthode d'évaluation la plus adéquate avec le cas à étudié) nous avons attaché en annexe un exemple d'application cité par (Verrhiest, Aufret and Roussillon, 2008). Selon le même auteur, les treize méthodes sont limitées, certaines méthodes oublient des critères, d'autres les recensent. Jusqu'à nos jours, il n'y a pas une méthode idéale qui couvre toutes les situations possibles, Peu de méthodes possèdent 3 étoiles au critère « validation scientifique » Cette constatation a plusieurs explications possibles :

1. Ces méthodes ne sont pas issues d'une volonté nationale.
2. Elles n'ont pas été élaborées dans le but de s'adapter à la prise de décision locale.
3. La difficulté d'établir une validation par l'application à des bâtiments avant et après l'occurrence d'un séisme et de comparer si le comportement des bâtiments est conforme aux estimations faites par la méthode.
4. Selon les mêmes auteurs (Verrhiest, Aufret and Roussillon, 2008), ce type d'approche ne fait pas l'objet d'un consensus au sein des experts en génie parasismique.

Cependant, on note que 10 sur 13 méthodes caractérisent l'état d'un bâtiment ou tissu urbain par un indice de vulnérabilité qui représente la classe de vulnérabilité à laquelle appartient cette construction. Cette méthode (Benedetti, Benzoni and Parisi, 1988), consiste à attribuer une valeur numérique à chaque bâtiment. Cette valeur numérique dite "Indice de Vulnérabilité" permet de connaître la qualité sismique des constructions d'une région et de faire leur classification.

3.5 L'indice de vulnérabilité sismique

Selon la plus part des méthodes qui adoptent l'indice de vulnérabilité comme résultat d'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments, il faut les classer dans des groupes typologiques. Ces groupes peuvent être fonction de la nature des matériaux de constructions, du système structural porteur, de l'âge...etc. C'est une méthode de classification des constructions qui consiste à attribuer une valeur numérique à chaque

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

bâtiment. Cette valeur numérique est dite "Indice de Vulnérabilité ", elle représente la somme pondérée des valeurs numériques exprimant la qualité sismique des éléments structuraux et non structuraux obtenues par des données calculables ou observables. Il est aussi, un indicateur de l'état de la structure qui peut être estimé avant et après l'occurrence de l'événement sismique, il permet ainsi de connaître la qualité sismique des constructions d'une région et de faire leur classification. La caractéristique distinctive de la méthode de l'indice de vulnérabilité consiste dans la possibilité d'une description pratiquement continue de la qualité sismique des bâtiments, capable de tenir compte de toute configuration morphologique possible.

Les éléments de calcul sont définis comme étant des paramètres de nature structurale ou non structurale pouvant avoir une influence sur la réponse sismique de la construction et permettant le calcul de son indice de vulnérabilité. Chaque élément ne peut prendre qu'une seule valeur, celle-ci représente la classe à laquelle appartient cette construction. Il y a quatre classes : A, B, C et D. La classe A représente des constructions réalisées selon le code parasismique en vigueur et donc représente une bonne résistance au séisme. Quant à la classe D, elle représente les constructions ayant une mauvaise résistance au séisme. Les classes B et C sont des classes intermédiaires. A chaque classe un coefficient est affecté. L'indice de vulnérabilité d'un élément est donc le coefficient affecté à la classe de la construction multiplié par un facteur de pondération. La somme des indices de vulnérabilité 'Iv' de tous les éléments représente l'indice de vulnérabilité de la construction.

La détermination des paramètres d'étude est faite par l'élaboration d'une fiche technique permettant l'estimation de l'indice de vulnérabilité 'Iv' après enquête sur site. Elle nécessite la connaissance des paramètres de nature structurale et non structurale ayant une influence sur le comportement de la structure et donc sur la réponse sismique (Boukri, 2003). Les éléments pris en considération sont d'une part de nature descriptive (typologique), comme le type de murs et la régularité morphologique et d'autre part, de nature évaluative (quantitative), comme la connexion des murs ainsi que les conditions du sol. Ils regroupent l'ensemble des paramètres pouvant avoir une influence sur la réponse sismique des bâtiments et qui permet le calcul de l'indice de vulnérabilité (Bensaïbi, 2000). Cette fiche comprend les éléments principaux suivants :

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

1. Données générales (adresse, âge, etc.....).
2. Caractéristiques géométriques.
3. Système structural.
4. Conditions du sol.
5. Etat des éléments non structuraux.
6. Etat des réseaux divers.
7. Maintenance.

L'étude comparative faite par (Senouci *et al.*, 2012) a mis en évidence l'influence de la configuration architecturale (en plan et en élévation) sur la réponse sismique des bâtiments. Par conséquent, influe sur le calcul de l'indice de vulnérabilité. Prenant les méthodes d'évaluation (italienne de GNDT (1988), européenne RISK-EU (2003) et la méthode française de VULNERALP (2005)), nous constatons que le paramètre de la « régularité en élévation » est classé dans la deuxième catégorie d'influence sur le calcul de l' I_v selon la méthode italienne (figure 14), dans la première catégorie selon la méthode française (figure 15) et il a le plus grand coefficient de pondération selon la méthode européenne (figure 16).

En général, l'influence du paramètre de la régularité en plan et en élévation est moins connue en raison de sa quantification difficile. Mais selon Tiedmann (Bensaïbi, 2000), d'après les expériences sismiques, la vulnérabilité est d'autant plus élevée (environ quatre fois) pour les constructions modérément irrégulières et asymétriques par rapport aux constructions régulières et symétriques. Comme les autres paramètres, le paramètre de la régularité en plan ou en élévation appartient à la classe A pour un bâtiment présentant une bonne régularité, à la classe B quand il est faiblement régulier, à la classe C quand il est moyennement régulier et à la classe D dans le cas d'irrégularité. Les facteurs de pondération W sont aussi assignés à chaque élément K . L'indice de vulnérabilité est la somme des produits des paramètres partiels et les facteurs de pondération :

$$I_v = \sum_1^n K_i W_i \quad (05)$$

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

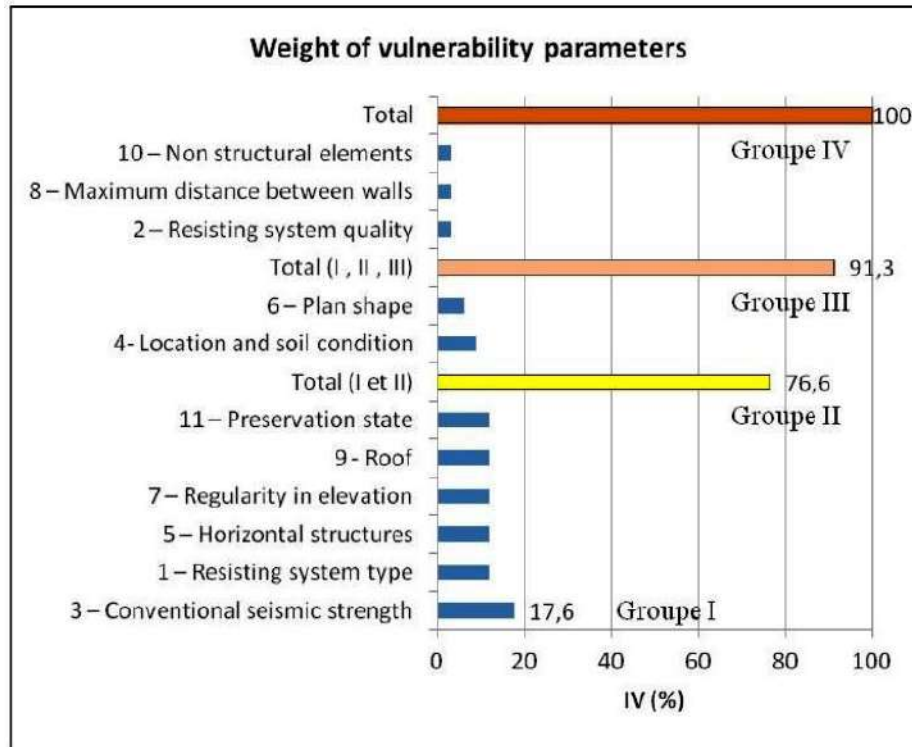


Figure 14 : Les pondérations relatives aux paramètres de la méthode de GNDT (Senouci *et al.*, 2012)

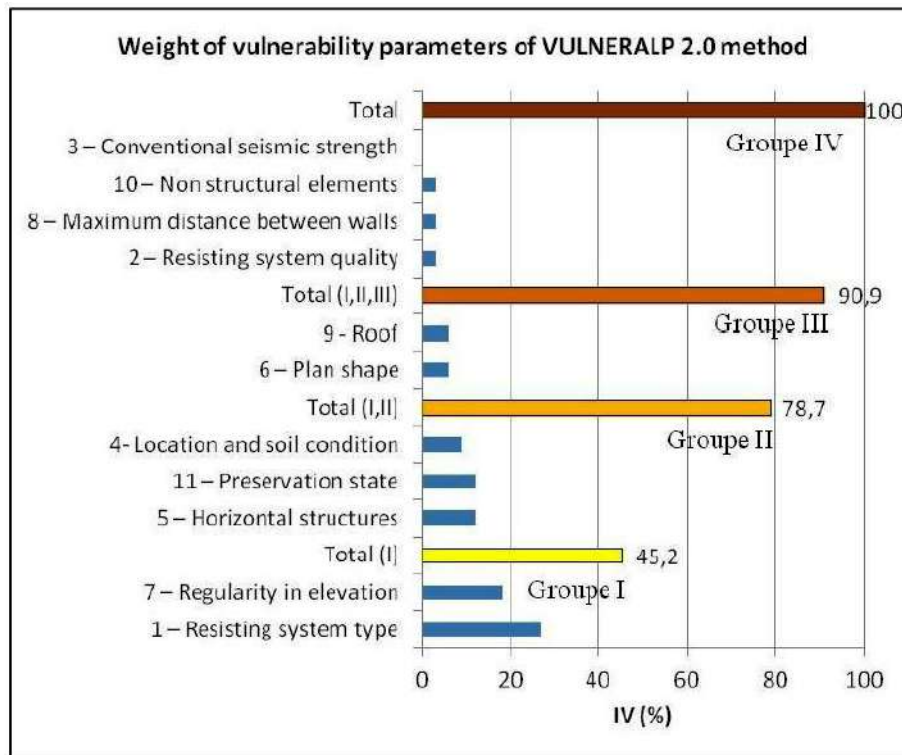


Figure 15 : Les pondérations relatives aux paramètres de la méthode de VULNERALP (Senouci *et al.*, 2012)

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

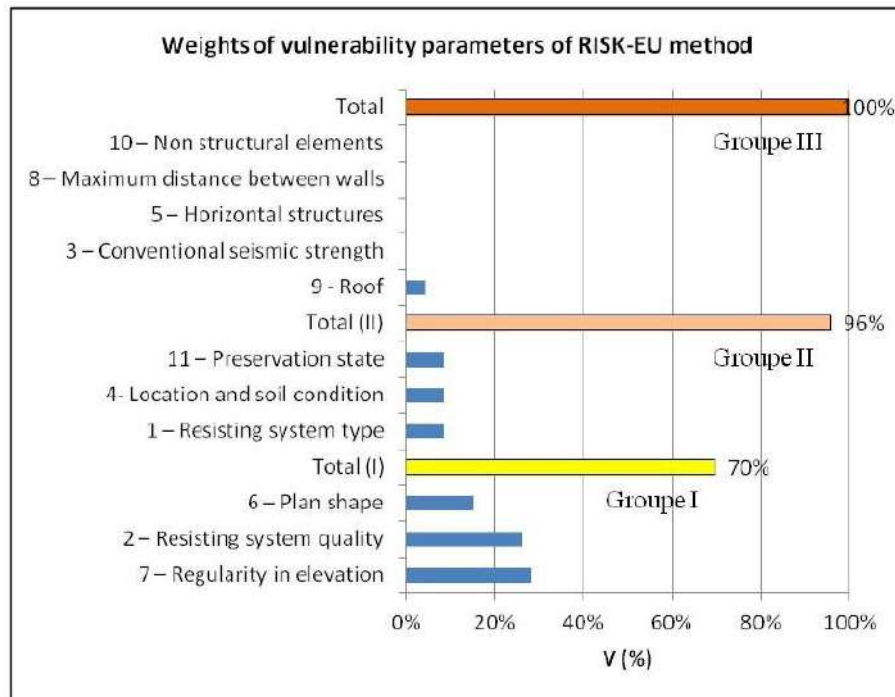


Figure 16 : Les pondérations relatives aux paramètres de la méthode de RISK-EU (Senouci *et al.*, 2012)

A ce stade, il est clair que ces méthodes sont appliquées dans des situations existantes par le biais des enquêtes pré-sismiques pour une classification de l'état du bâti et donc pour une prévention des dommages que pourrait occasionner l'occurrence de l'évènement sismique. Or, dans notre cas de figure, nous cherchons à proposer une démarche applicable dans la phase de conception permettant à la fois l'évaluation la démarche conceptuelle de l'architecte et propose des pistes conceptuelles pour avancer dans le processus de conception.

3.6 Le parasismique ; au regard des architectes Algériens

La pratique de la conception architecturale parasismique relève de nombreux facteurs dont le principal demeure la formation et l'expérience des intervenants impliqués dans l'élaboration du projet. La nature du projet à concevoir, la structure et la forme représentent en eux-mêmes un support de travail d'importance différente par rapport à l'ensemble du travail communicationnel de l'architecte et de l'ingénieur.

S'appuyant sur les données rassemblées par les questionnaires et les propos recueillis au cours des interviews sur la conception parasismique et la formation technique des

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

architectes algériens, on tentera à ce stade de bien comprendre les besoins spécifiques et les habitudes de travail des architectes et des ingénieurs vis-à-vis du concept de la vulnérabilité sismique des bâtiments, ainsi que leurs regards respectifs vis-à-vis des outils d'aide mis à disposition à l'échelle nationale.

Des questions ouvertes remettent en cause les habitudes des acteurs principaux de la conception parasismique et le rapport professionnels de travail d'équipe. En d'autres termes, les méthodes de collaboration et d'échange de l'information adaptées par l'architecte et l'ingénieur en Algérie.

3.6.1 La méthode d'analyse des besoins

La pratique de la conception parasismique concerne beaucoup de facteurs dont la formation des différents acteurs demeure la matière principale. C'est une activité coopérative dont l'architecte collabore avec un ingénieur afin de concevoir une structure conformément aux normes en vigueur, qui représente pour les ingénieurs leur objet de travail crucial (Benabdelfattah and Kehila, 2016). La plupart des experts conviennent que les praticiens de développement de ressource humaine devraient commencer par l'analyse et l'évaluation des besoins (*Needs Assessment Method*) pour développer et mettre en application des résolutions pratiques pour des individus, des groupes de travail, des organismes, des communautés, et même des nations entières (Berwick, 2017). Dans ce contexte, être à jour dépend du degré de maîtrise de travail d'équipe (AFPS, 2004). Si nous examinons cette problématique du point de vue des architectes, l'échange et l'interprétation architecturale de l'esprit des codes parasismiques pourrait être la compétence la plus importante, particulièrement quand ils viennent à la question de concevoir les bâtiments parasismiques (Benabdelfattah, Kehila and Makhloufi, 2018).

Le terme « needs analysis » ou analyse des besoins est apparue dans le domaine de la linguistique appliquée, et particulièrement dans ce qui s'appelle ESP (*English for Specific purposes*) (Gupta, 2007). Dans notre cas d'étude, la méthode d'analyse des besoins se rapporte au processus d'identification des différents objectifs de la conception architecturale et d'apposer une aide spécifique. Trois types différents de besoins ont été identifiés :

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

1. L'analyse de la situation actuelle (signifie ce que les concepteurs savent en termes de conception parasismique en architecture) ;
2. L'analyse de situation cible (ce qu'ils doivent réaliser en utilisant le soutien ou l'outil d'aide proposé) ;
3. Enfin, l'élaboration des méthodes préférables et les plus efficaces d'atteindre l'objectif de travail, en d'autres termes établissant le lien entre les deux situations principales.

La méthodologie adoptée pour cette partie de travail a impliqué trois étapes principales (voir la figure ci-contre) : (1) Analyse de la pratique de conception parasismique courante; (2) L'intégration du raisonnement à base de cas flou au système d'aide proposé; et enfin, (3) valider et évaluer les performances de l'outil proposé.

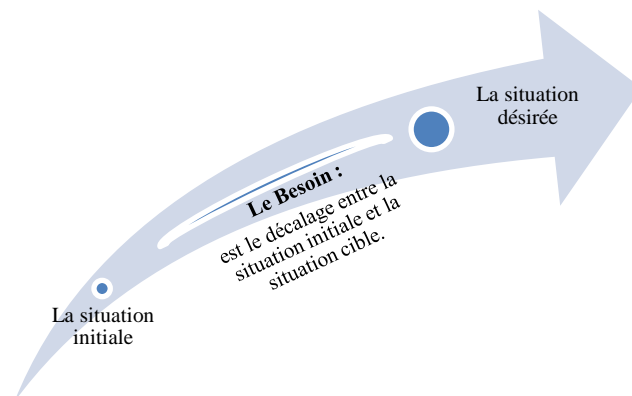


Figure 17 : Les étapes de détermination des besoins (Benabdelfattah *et al.*, 2018)

3.6.2 L'analyse des conditions courantes

Plusieurs outils et méthodes de recherche ont été développés pour aborder la question d'analyse des besoins comme : les questionnaires, l'analyse des prototypes, les interviews, les observations, consultations informelles... etc. (Gupta, 2007). Hutchinson et Waters voient que "selon la complexité des besoins étudiés, il est recommandé d'employer plus d'une de ces méthodes. Le choix dépendra évidemment du temps et des ressources disponibles." Parmi ces méthodes, il a été opté pour : Enquête de questionnaire, interviews structurées, et quelques interviews non structurées. La triangulation des méthodes en rassemblant des données a été employée afin d'obtenir des résultats plus fiables (Berwick, 2017).

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

Dans cette étape, l'enquête de questionnaire était l'outil principal. Il a été conçu après la mise en œuvre des entretiens avec des experts et des professionnels dans le domaine de conception et de la recherche scientifique. Ceci nous a aidés à obtenir une compréhension générale de ce que les concepteurs désirent et souffrent. Des entretiens non structurés ont été également réalisés avec quelques architectes et ingénieurs dans un cadre non-officiel au niveau des rencontres scientifiques nationales et internationales.

Le questionnaire est composé de vingt-six questions et articles divisés en six sous-catégories. Ces derniers couvrant trois aspects principaux : information personnelle, besoins et lacunes au sujet de la pratique de la conception parasismique en Algérie, avec des espaces dédiés aux suggestions individuelles concernant la pratique architecturale désirée. La première catégorie d'information était autour : l'âge, post du travail occupé, la mission accordée,... Le second a traité la vie professionnelle et les comportements des acteurs impliqués dans la conception de projet, tandis que le troisième et le quatrième, sont un ensemble de questions s'enquérant au sujet du savoir parasismique et du niveau de formation scientifique. Et la cinquième et la sixième catégorie ont été consacrées à la fiabilité des logiciels et outils d'aide utilisés actuellement par les différents acteurs dans l'avancement du travail de l'architecte.

3.6.3 Les modes de collaboration Architecte/Ingénieur

Dans les remarques rassemblées, nous avons noté qu'il y a deux attitudes que les deux principaux acteurs de conception architecturale vis-à-vis de la prise en compte de la notion de la vulnérabilité sismique des bâtiments durant l'élaboration du projet :

3.6.3.1 Mode en série

Dans laquelle, l'architecte choisit et conçoit le parti architectural et le parti constructif puis intervient l'ingénieur pour assurer la faisabilité et le dimensionnement de la structure porteuse parasismique et les éléments non-porteurs du point de vue parasismique. Dans cette attitude, les ingénieurs interviennent donc comme amendeurs, se contentant de vérifier la faisabilité des formes et structures. Ils interviennent alors seulement à des étapes où le parti architectural est déjà établi.

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

D'après Perrin (2004), les réticences des architectes débouchent, vraisemblablement, sur une justification d'une certaine démission et déresponsabilisation de l'architecte pour les aspects techniques du travail. Or, une telle autolimitation réduit non seulement la portée de toutes interventions architecturales, mais favorise la reproduction du rapport de dominance entre professionnels. En effet, il semblerait que de nombreux architectes se remettent entièrement aux ingénieurs pour concevoir leurs structures et de rendre leurs constructions parasismiques. Un tel sacrifice a pour conséquence, plus ou moins acceptée, l'absence de maîtrise d'une partie du projet architectural.

3.6.3.2 Mode de conception en commun

Il existe une autre approche plus efficace que la précédente. Dans la présente approche, les ingénieurs interviennent dès les premiers traits en collaboration avec les architectes, à la phase esquisse accompagnant l'architecte dans ses choix.

L'expérience a démontré qu'une mise en commun des préoccupations et une conception multidisciplinaire permettent une sorte de réconciliation entre les architectes et la conception technique au service du projet, comme l'illustrent les propos de Becker L.⁹ cité par Perrin (2004) : « *Nous avons tout intérêt d'apporter l'ingénierie à l'architecture car si il n'y a pas de distinction entre le projet architectural et le projet technique, cela permet une grande liberté et le projet est plus intéressant. Quand le travail est indépendant, l'architecture est bloquée car les dispositions doivent être validées du point de vue technique [...]* »

Généralement, il existe deux méthodes pratiquées par les professionnels concernant la prise en compte de l'aspect parasismique dans la conception architecturale. Dans la première, l'architecte et l'ingénieur peuvent procéder par étapes successives : proposition par l'architecte et mise à validation par l'ingénieur. Ils opèrent en boucle ces actions jusqu'à satisfaction et cela à chaque étape d'avancement du projet. Cette méthode prend du temps et n'est pas au mieux pour le projet, car souvent le domaine exploré reste celui des connaissances de l'architecte en matière d'ingénierie, qu'il

⁹ Laurent BECKER : ingénieur dans l'agence d'architecture et d'ingénierie MARC MIMRAM a Paris. Grande variété de projets nationaux et internationaux.

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

reconnaît limitées. D'autre part, ils peuvent procéder par une conception commune et simultanée de la forme qui permet une grande créativité et un plus grand territoire d'exploration en mêlant les deux savoir-faire. (Voir la figure 18 présentée au-dessous.)

Quelle que soit la méthode, l'objectif reste le même, c'est-à-dire concevoir une construction sous diverses formes, plus ou moins abstraites suivant l'état d'avancement du projet, et donc proposer un agencement particulier des contraintes constructives et architecturales.

Dans la pratique, la mise en application d'une ou de l'autre méthode est le résultat de facteurs extrêmement complexes où se mêlent le contexte économique, le savoir-faire technique, les aptitudes, le comportement de chacun, encore les habitudes...etc.

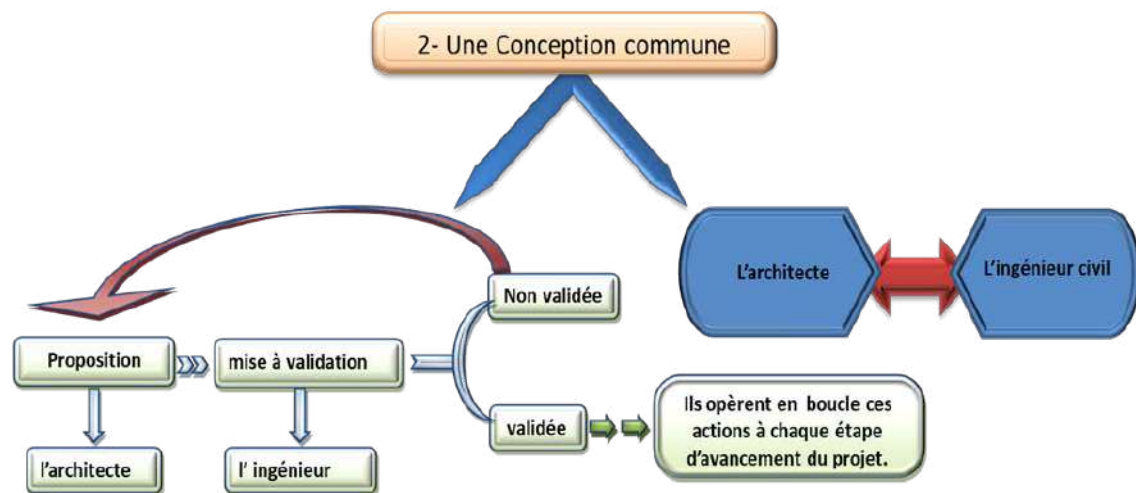


Figure 18 : La pratique de la conception commune entre Architecte/ingénieur

Les résultats obtenus étaient comme suit :

93. 55% des informateurs ont déclaré qu'ils adoptent un mode de travail en série, selon lequel les ingénieurs interviennent comme amendeurs, afin de satisfaire et vérifier la faisabilité des formes et des structures selon les normes parasismique en vigueur (RPA 99 version 2003).

Les ingénieurs interviennent seulement durant des étapes où la partie architecturale est déjà établie, comme confirme Mr. BADA A., ingénieur dans un bureau d'étude d'architecture et d'urbanisme : "*nous intervenons après l'accomplissement de la phase de conception architecturale du projet*". En fait, beaucoup d'architectes comptent entièrement sur les

ingénieurs pour concevoir leurs structures et pour rendre leurs constructions parasismiques. Cette habitude mène fréquemment à une situation contradictoire entre les deux partis de projet, à savoir, le parti architectural et celui de la structure.

Pourtant seulement 6.45% parmi les participants ont affirmé qu'ils procèdent par une conception commune et simultanée de la forme avec l'ingénieur. Cette pratique permet un genre de réconciliation entre l'architecte et la partie technique du projet, Mr. FOUDOU A., ingénieur dans un bureau d'étude d'architecture et d'urbanisme, souligne que : "*...l'étroite coopération avec l'architecte permet une grande liberté architecturale et le projet devient plus intéressant...*"; comme également confirme Mr. SLIMANI Y., (un ingénieur dans l'APC d'Adrar) : "*... Quand le travail est effectué indépendamment, l'architecte se coince parfois parce que les dispositions structurales doivent être validées du point de vue technique...*". Les deux acteurs peuvent procéder par une conception commune et simultanée de la forme qui permet une grande créativité et un plus grand territoire d'exploration en mélangeant les deux savoirs et savoir-faire.

3.6.3.3 Formation scientifique

La division entre les aspects esthétiques et mécaniques de l'architecture est graduellement institutionnalisée. En particulier en Algérie où on enseigne l'architecture à EPAU (Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme) mais aussi dans de nombreuses universités du pays où les départements d'architecture existent. Tandis que

Pratiques en vigueur adoptées

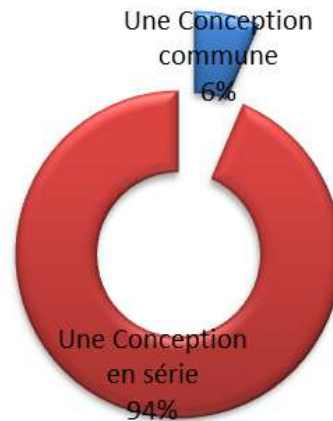


Figure 19 : Les pratiques de la conception

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

d'autres établissements complètement distincts sont consacrés à l'enseignement de la technologie et l'industrie du bâtiment.

L'ensemble des questions suivantes a abordé la connaissance et le niveau de formation scientifique et de maîtrise des notions parasismiques par les architectes enquêtés. Trois niveaux ont été cités dans chaque colonne : bon, moyen, et faible. Les résultats obtenus étaient comme suit:

9.10% des informateurs ont déclaré qu'ils sont bons dans le génie parasismique, 35.19% des participants ont affirmés avoir un niveau moyen, et 55.71% ont déclaré avoir un niveau faible. 84.43% affirment qu'ils n'ont suivi aucune formation dans le domaine et ils n'ont lu aucun livre spécialisé. En conséquence, beaucoup d'architectes semblent plutôt hésitants pour adresser la question de la stabilité de constructions d'une manière générale, comme montré par le président du CLOA-Adrar (conseil local de l'ordre d'architectes, 2018), M. LAZRAG A. en disant : "*la majorité d'architectes conçoivent leurs projets indépendamment de l'aspect structurel, et dans les meilleurs des cas, ils l'intègrent dans le corpus de l'idée comme système d'expression architecturale*". En grande majorité, ils ne maîtrisent pas les outils de conception structuraux. Ce dernier point est dû à de divers facteurs :

1. Ils sont utilisés justes comme des outils de correction plutôt que de conception ;
2. Manque de formation, et la complexité des interfaces des logiciels utilisés (SAP 2000, et ROBOT)
3. Le faible maîtrise des notions impliquées dans le domaine par les architectes (méthodes des éléments finis, mécanique du sol, ...)
4. Et la condition d'impliquer (officiellement) une étude de génie civil pour l'assurance de stabilité encouragent la négligence d'intégrer le concept de sécurité par les architectes dans les phases conceptuelles.

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

Les participants ont été interrogés s'ils avaient un désir pour apprendre l'art de la conception parasismique. Leurs réponses étaient positives à 85%. En cherchant à extérioriser les raisons derrière ce désir, la recherche a dévoilé que le besoin de finir et achever le travail dans les délais, et la raison économique ont le même

LE NIVEAU DE MAITRISE DES NOTIONS PARASISMIQUES

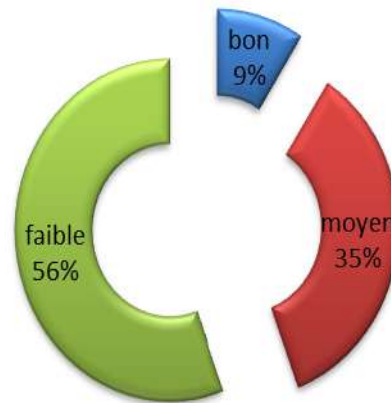


Figure 20 : Le niveau de formation scientifique

degré d'importance. Il est important aussi de mentionner que seulement 10% d'entre eux a indiqué qu'ils veulent améliorer la qualité de la conception architecturale en usant les concepts de sécurité en tant que matériaux de conception et expression architecturale.

Les ingénieurs contribuent à la satisfaction des performances spécifiques du bâtiment, par la conception et la vérification de certaines parties du projet comme mentionne Mr. FOUDOU A. : "...les pratiques architecturales courantes qui séparent la conception architecturale et la phase technique nous ont mis comme agents d'assurance de la stabilité de projet...". En conséquence, ils ont ainsi seulement une intervention limitée et focalisée mais très essentielle pour le projet.

3.6.3.4 Vis-à-vis des outils d'aide à la conception parasismique

Les participants ont été questionnés s'ils utilisent des outils de modélisation ou de simulation lors de la conception architecturale. Leurs réponses étaient entièrement négatives (100%). Les outils de simulation du comportement des bâtiments disponibles font partie des codes spécialisés, ils ne sont pas habituellement utilisés dans la pratique architecturale. Leur négligence par des architectes provient de l'inadéquation de ces outils pour les phases de la conception architecturale. Durant les phases précoces, les architectes n'ont besoin d'aucune validation mais plutôt d'un enrichissement et d'un outil d'aide et d'assistance; comme affirme Mr. CHIRIFI R. le vice-président de CLOA-Adrar (2018) : «...durant notre travail, nous cherchons toujours des sources nutritives pour le projet et qui stimule la créativité architecturale...»

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

En grande majorité, les architectes n'emploient pas d'outil pour la conception technique des structures. Cette absence peut s'expliquer à divers niveaux comme le décalage par rapport à leur besoin (outil de correction plus que de conception), le manque de formation sur ces outils, la faible maîtrise des notions impliquées, la grande complexité apparente, la nécessité de faire intervenir un bureau d'étude pour les assurances, ce qui encourage une faible prise de risque, ou encore les réticences décrites précédemment.

Dans leurs pratiques, les ingénieurs ne peuvent s'abstenir d'avoir recours à ces outils informatiques. En effet, leur grande précision et leur rapidité de calcul rendent leurs tâches possibles vis-à-vis des exigences et des plannings. Selon l'implication de l'ingénieur dans la conception des structures, l'usage de ces outils est différent.

Dans le cas de l'amendement, ils serviront à vérifier la faisabilité des propositions déjà définies comme contrôle ou sanction et les modifications apportées ne peuvent être que mineures pour des raisons de planning et de budget. En effet, de trop grandes modifications à un état très avancé du projet, impliquerait de refaire un travail de conception considérable et à différentes échelles. Par contre, dans le cas d'un engagement très précoce, dès l'esquisse, avec l'architecte, les ingénieurs les emploieront comme outil d'aide à la conception technique, comme le soulignent les propos de M. Edward¹⁰ : « *Si on travaille pour une structure pour laquelle le concept est très évident (portique, poteau poutre...), on n'en a pas besoin pour la conception mais juste pour optimisation. Mais s'il y a un grand espace à couvrir (30 m par 100), on s'en sert pour explorer les possibles. On utilise alors bien ces logiciels comme des outils d'aide à la conception en procédant par affinage dans le cas de structures complexes: on rentre dans le logiciel une première idée, on vérifie sa faisabilité jusqu'à satisfaction puis on affine.* »

Ainsi, si l'état et le fonctionnement des outils actuels de détermination de structure ne sont pas remis en question par les ingénieurs, leur absence auprès des architectes révèle une inadéquation par rapport à leur usage et leur fonctionnement dans le cadre de la

¹⁰ Mitsu EDWARDS : maître ingénieur de l'université de Leeds travaillant à RFR, bureau d'étude pluridisciplinaire. Cité par Perrin (2004).

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

conception architecturale. Les architectes n'en attendent pas une validation, mais un outil qui les soutiendrait et leur offrirait la possibilité de nourrir leur projet.

Les difficultés d'utilisation de ces outils ont pour origine les raisons suivantes :

1. Il y a un fossé culturel entre l'architecte et le chercheur-scientifique, dans les domaines de la résistance des bâtiments, dû principalement aux caractéristiques de la formation de l'un et l'autre, ce qui rend difficile la communication entre les deux champs de performance ;
2. Usuellement les architectes considèrent que des problèmes de la résistance de bâtiment, peuvent être résolus facilement par un arsenal ou des dispositifs technologiques (isolation parasismique...). Aussi, la dimension parasismique du projet n'est pas toujours considérée comme significative parmi les paramètres de la conception ;
3. Les outils informatiques existants possèdent un caractère extrêmement spécialisé, en exigeant des connaissances approfondies des phénomènes physiques et mécaniques impliqués, outre des interfaces complexes peu conviviales par rapport à la formation de l'architecte et même de l'ingénieur non-chercheur.
4. Les outils informatiques existants exigent des temps relativement longs d'apprentissage, en décourageant son utilisation par des professionnels du secteur privé, où le temps disponible est généralement rare.

3.7 Description de la procédure suggérée

Dans le processus d'élaboration architecturale du projet, la majorité des ingénieurs interviennent comme amendeurs, vérifiant la faisabilité des formes et des structures adoptées. Ils interviennent aux étapes pendant lesquelles la partie architecturale est déjà terminée. Devant cette situation, la conception parasismique exige une collaboration étroite entre l'ingénieur et l'architecte dès les premières étapes du processus de conception. L'expérience prouve que cette approche permet un genre de réconciliation entre l'aspect architectural et la conception technique. Pratiquement, l'adoption d'une telle méthode est le résultat de l'interaction de plusieurs facteurs extrêmement

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

complexes comme : la réglementation en vigueur, la situation économique, le savoir-faire technique, les aptitudes, et même le comportement des acteurs impliqués dans l'acte de concevoir. Cependant, il est nécessaire de réinventer et recombinaison des stratégies pour élaborer une solution pertinente (Laaroussi, 2007). Le besoin de règles expertes de la conception parasismique s'avère essentiel. Ils peuvent offrir à l'architecte les bases conceptuelles de son projet, et garantir une intégration des concepts parasismique du concept de sécurité durant les phases préliminaires du processus de conception architecturale.

En plus, la majorité des architectes n'utilisent aucun dispositif et/ou outil d'aide pendant la conception d'un projet parasismique. C'est principalement dû à l'inadéquation de ces outils aux professionnels impliqués dans le processus de conception, particulièrement les architectes. Cette absence peut être expliquée comme suit :

1. Le décalage (retard) concernant leurs besoins dans le processus de conception.
2. Le manque de formation en termes d'utiliser ces outils
3. La connaissance limitée au sujet la conception parasismique.
4. Les architectes considèrent qu'un projet devient parasismique juste par l'ajout de quelques dispositifs techniques par l'ingénieur.
5. Sachant qu'une étude de génie civil va suivre la phase architecturale met l'architecte paresseux en considérant les effets de tremblement de terre durant les étapes précoces de la conception architecturale.
6. Les logiciels couramment utilisés sont hors de la maîtrise des architectes en raison de leur caractère extrêmement spécialisé. Ils ont besoin d'un long temps de formation ; ceci décourage leur utilisation par les professionnels du secteur privé.

Selon le mode d'implication de l'ingénieur dans la conception architecturale parasismique, l'utilisation de ces outils diffère :

1. En cas d'amendement, ils servent comme outil de contrôle et/ou de sanction, et les rectifications doivent être limités en raison de planification et de budget. En

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

effet, des rectifications énormes durant des étapes avancées du projet impliquent refaire un travail de conception considérable et à de diverses échelles.

2. En cas d'implication précoce avec l'architecte, dès la phase d'esquisse, l'ingénieur les emploie comme outils d'aide et d'assistance dans la conception technique du projet.

Cependant, il est important de mentionner que les codes législatifs en vigueur ne fournissent pas des procédures détaillées qui couvrent tous les types de constructions aussi bien que tous les cas conceptuels possibles aux lesquels le concepteur peut faire face. Par conséquent, l'expérience du concepteur doit être à la hauteur pour interpréter convenablement l'esprit du code, sinon, des résultats contraires pourraient se produire dans le cas d'une mauvaise interprétation.

Dans la présente proposition, la notion de référence est adoptée pour diffuser et transmettre l'information aux concepteurs (Jungmann, 1996). Un système de communication basé sur la notion de référence est proposé pour assister l'architecte dans les phases précoces de la conception en lui fournissant une méthode basée sur un langage adapté avec le raisonnement et les besoins de l'architecte durant les phases de conception. La première étape est dédiée à l'estimation de la vulnérabilité de la forme du bâtiment esquissée. Le résultat obtenu est employé comme moyen d'investigation pour retrouver de nouvelles idées conceptuelles afin de résoudre les problèmes rencontrés se basant sur des précédents similaires. Ces précédents pris comme références permettent à l'architecte d'identifier les décisions et les dispositifs qui l'aideront pour prendre des choix conceptuels. En conséquence, les projets références doivent être employés pour déduire les décisions conceptuelles (voir Figure 21) (Benabdelfattah *et al.*, 2018). La méthode suggérée se compose en deux structures différentes : une structure linéaire et une structure en boucle.

3.7.1 La structure linéaire

Les phases de structure linéaire verticale représentent la définition des exigences et les préoccupations parasismiques. Ainsi les différentes phases de formation du projet, la planification de la production finale, conduisent une situation conceptuelle abstraite à une situation concrète parasismique plus claire. Autrement dit, dans notre approche, on

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

prend comme point de départ (concepts de base qui formulent nos hypothèses de départ) l'énoncé de la demande y compris les conditions existantes qui sont moins satisfaisantes et de les représenter de façon à rendre sa solution claire et transparente. Durant ce chemin, on détermine les conditions que doivent remplir la forme pour réaliser les intentions.

3.7.2 La structure en boucle

La structure en boucle offre une assistance à la conception (pour générer des formes parasismiques) et permet la répétition d'une manière itérative toutes les phases et activités de la structure linéaire verticale. La structure en boucle subdivise le processus de conception (la composante verticale) par des boucles de cinq étapes successives soit, la phase de recherche d'information qui sert à la sélection des références parasismiques, la phase d'analyse des solutions proposées, la phase de synthèse pour générer les solutions candidates à travers l'exploration de différents chemins vers la solution, et de diverses combinaisons des éléments primitifs, et la phase de la réadaptation et d'évaluation des résultats obtenus.

La structure en boucle divise la structure linéaire verticale en boucles de cinq étapes successives. La première estime la vulnérabilité du projet conçu par un système d'inférence flou développé dans cette recherche (dans le suivant chapitre). La deuxième étape pour choisir et sélectionner des cas similaires à la situation rencontrée à partir une base de références. Puis, une phase d'analyse aura lieu afin de soustraire et déduire les solutions possibles. Ensuite, une étape d'adaptation des solutions candidates par l'exploration de diverses combinaisons des éléments primitifs. Enfin, l'étape finale est réservée à l'évaluation et l'analyse des résultats proposés par rapport la situation initiale du travail. Ces phases sont répétées jusqu'à ce qu'une solution satisfaisante soit obtenue.

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

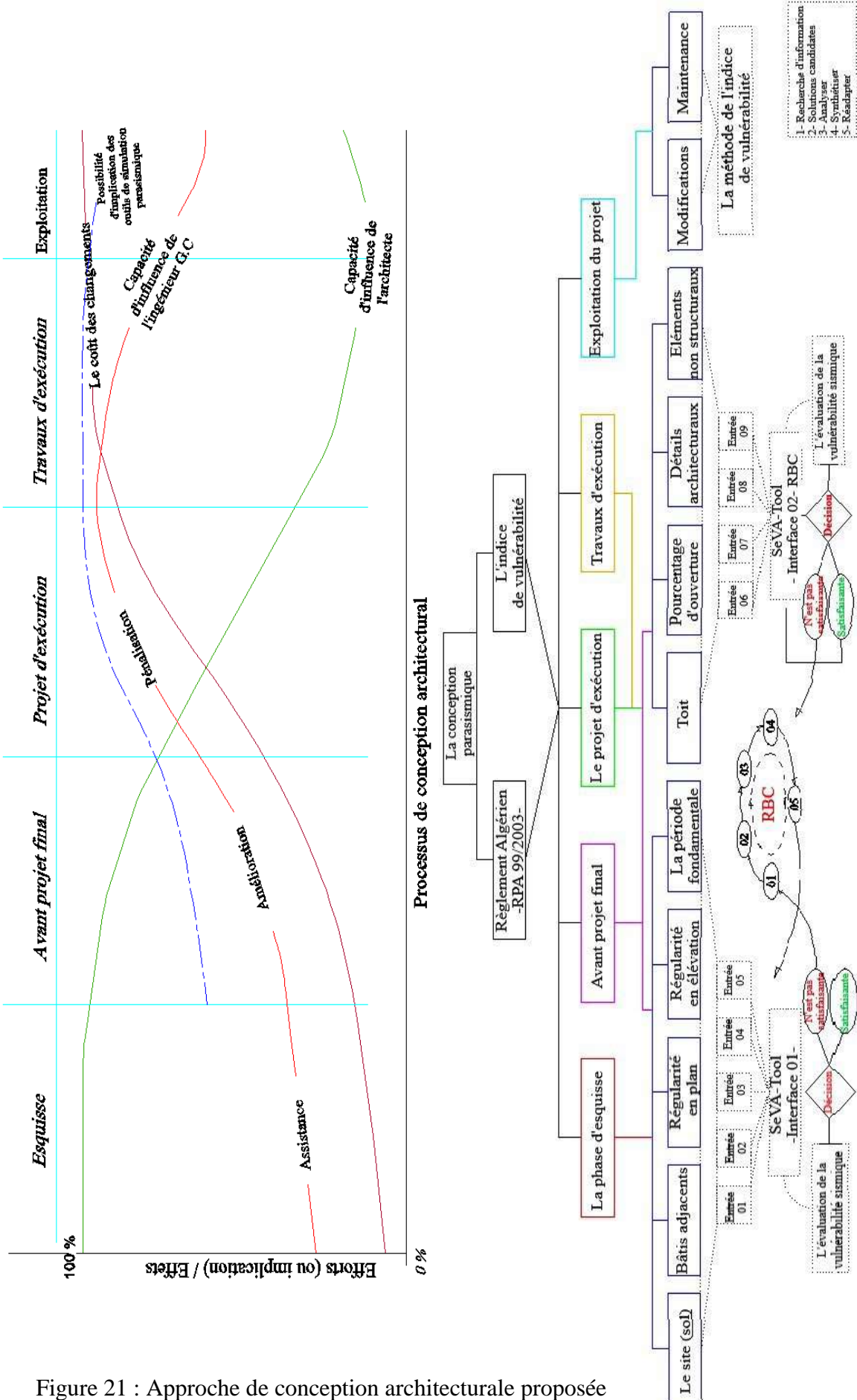


Figure 21 : Approche de conception architecturale proposée

3.8 Synthèse du chapitre

A partir de notre recherche bibliographique qui traite de la question de la prise en compte du risque sismique dans la conception du projet architectural, il paraît qu'il est nécessaire que les préoccupations parasismiques soient intégrées dès les premières phases de la conception du projet et qu'elles deviennent un réflexe, de façon à en réduire et en contrôler les surcoûts probables.

Ce réflexe, de "construire parasismique", ne peut résulter que d'une collaboration permanente entre les acteurs de cet acte surtout, l'architecte et l'ingénieur mais aussi le réalisateur et les utilisateurs, car une application stricte des règles et normes parasismiques lors de la conception d'un projet architectural ne peut se faire d'une manière efficace sans une collaboration étroite entre l'architecte et l'ingénieur civil dès le début, suivi par une bonne exécution des travaux qui permettent aux bâtiments de résister de façon satisfaisante aux séismes de faible à moyenne intensité . D'une manière générale, d'après notre analyse dans ce chapitre, nous retenons les conclusions suivantes :

Tout d'abord, nous ne pouvons procéder à une bonne intégration des préoccupations parasismiques dans la conception architecturale sans posséder les connaissances de base liées aux différentes stratégies de conception parasismique et les principes qui en découlent.

Par ailleurs, il apparaît que les règles parasismiques n'imposent aucune disposition architecturale, elles s'appliquent sur un projet dont l'architecture a déjà été déterminée. La forme du bâtiment et les éléments constructifs, le système porteur et le type de contreventement, dont le comportement joue un rôle déterminant dans la résistance aux séismes du bâtiment, sont déjà choisis, trop souvent sans préoccupation parasismique. Ainsi, des projets peu judicieux quant à la résistance aux tremblements de terre sont considérés comme parasismiques après l'application des règles. C'est pour cela qu'une stratégie de conception parasismique raisonnée et adoptée dès le début du projet est souhaitable.

La forme architecturale est incontestablement l'un des éléments architectoniques les plus importants dans la stabilité du bâtiment. Les impératifs de conception parasismique

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

peuvent paraître, lors d'un premier examen, comme une contrainte architecturalement appauvrissante. En effet, dans les régions sismiques, on devrait rechercher des formes de bâtiment aussi simples et symétriques que possibles, tant en plan qu'en élévation. De nombreuses réalisations réussies sur le plan esthétique prouvent toutefois qu'une architecture parasismique de qualité est possible. Donc, au-delà de l'aspect "comportement mécanique" en intégrant les préoccupations parasismiques dans l'intention architecturale, il est possible d'utiliser le concept parasismique en tant qu'élément d'expression architecturale.

D'après notre investigation, nous avons conclu que les architectes font toujours appel aux références de différentes sortes pour avancer et alimenter leurs activités de conception. Le besoin des règles expertes parasismiques s'avère donc indispensables. Elles peuvent représenter des savoir-faire parasismique sous forme d'une mémoire architecturale qui rassemble, sélectionne et classe les solutions déjà développées et examinées proches du problème rencontré durant l'élaboration du projet. Elles offrent à l'architecte les bases conceptuelles de son projet à même de garantir une intégration du concept de sécurité parasismique dès les phases précoces de la conception.

Ainsi, d'après (Khelifi, 2006), suivant le modèle « Conjecture – Analyse » le développement des outils appropriés de conceptions prend différentes formes :

1. Outils génératifs d'aides à la conception, qui utilisent la notion de stéréotype et les solutions prises comme des références à l'architecte pour alimenter sa base de connaissance technique et scientifique ;
2. Outils d'évaluation qui servent à évaluer les solutions de conception prises au préalable comme conjecture.

D'une manière générale, en qualité d'architecte, il faut toujours garder présent à l'esprit qu'on doit concevoir des formes aussi ductiles qui offrent aux bâtiments l'aptitude de se déformer sans ruptures et "dissiper" l'énergie transmise à la construction par la secousse sismique. L'acte de concevoir une forme parasismique est aussi difficile, parce que même le cas des constructions trop souples qui peuvent se déformer d'une façon telle que, même pourvue d'une capacité suffisante de résistance produit la rupture, qui rend la tâche du concepteur à trouver un compromis pour obtenir la combinaison optimale entre

Chapitre III : Le parasismique en Algérie; de l'identification des besoins à la proposition d'une démarche d'aide à la conception architecturale

la résistance et la déformabilité, ce qui n'est pas chose facile. Car il n'y a pas de résistance infinie comme il n'y a pas de déformation illimitée. Quand on atteint la limite de l'une ou de l'autre, il y'a rupture. C'est pourquoi, on parle de « risque ».

Notre contribution révèle deux types d'information structurant la représentation et l'avancement du projet architectural; la première sémantique qui répond à la question : qu'est-ce qu'il faut faire? Et la deuxième esthétique qui répond à la question : comment faut-il faire ? Elle peut s'envisager comme un outil d'études permettant de simuler les différentes hypothèses parasismiques comme un moyen d'anticipation, de description, d'information, de concertation, d'aide à la décision, de contrôle et de validation durant le processus d'élaboration du projet architectural, et aussi un outil de communication vers un public non spécialisé.

CHAPITRE IV

La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

« La motivation principale de la théorie des ensembles flous est apparemment le désir d'accumuler un cadre formel et quantitatif qui capture l'imprécision de la connaissance humaine pendant qu'elle est exprimée par l'intermédiaire d'un langage naturel »

(Dubois and Prade, 1991)

Chapitre 04 La combinaison de la logique floue avec le (RBC)

4.1 Introduction

Dans son analyse, Bendeddouch (1998) a fait la distinction entre l'élaboration (processus), le projet (résultat) et l'acte de conception. Elle s'aperçoit que le projet évolue selon un processus composé de trois moments *le dessein*, *le dessin* qu'elle considère aussi comme moyen de communication, et *le bâtiment concret* (pp. 33-63). Elle décrit ensuite les composantes qui interviennent sur le processus, qui semblent faire consensus chez différents auteurs. Ces composantes sont : Les acteurs, les éléments de la commande, la conception, et enfin le dessin comme moyen de représentation de l'espace, un outil de communication et de dialogue.

En effet, même si l'on admet que la conception architecturale a en commun avec la science de la recherche d'une solution à un problème posé, on ne doit pas perdre de vue que sa position singulière au carrefour des arts et des sciences, la soumet à des questions incomplètement formulées (complexité du programme, imprécision de la demande, ...etc.)

On note par-là, l'importance de l'aspect échange et communication dans le projet, comme le précise Epron (1992) : «*Le projet d'architecture est un acte social, il est le*

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

fait d'un grand nombre d'acteurs, c'est un acte partagé. On ne saurait le réduire au seul travail de l'architecte ou de son équipe [...] ». Le projet est un acte collectif qui exige la présence d'autres acteurs avec lesquels l'architecte collabore et dialogue. Donc, le projet ne peut être réduit aux opérations et compétences de conception, mais devrait prendre en charge les aspects liés aux communications, échanges et interactions de l'architecte avec les autres acteurs agissant sur le projet.

Parmi les actions qui émergent dans le contexte d'aide à la décision, une approche considère la notion de référence comme une voie d'aide à la résolution du problème notamment en architecture à travers l'univers culturel propre à celui-ci. La valeur cognitive de l'outil référentiel dans le processus de conception constitue aujourd'hui un présupposé commun à des actions de recherche pourtant plurielles. Cette pluralité s'explique par le caractère polyvalent du terme « référence » lui-même. Ainsi, la notion de référence, en tant que « repère », prendra l'apparence d'un fondement, d'un principe sur lequel repose un raisonnement (Guillerme, 1998).

4.2 Le raisonnement à base de références

Dans ses travaux fondateurs sur le raisonnement à base de références, Roger Schank cité par (Riesbeck and Schank, 1989) et (Badra, 2009) met en avant dans qu'un système de résolution de problèmes basé sur le RBC doit être guidé par l'expérience. *« L'idée générale est que la capacité d'un humain à agir en présence d'une situation inédite est liée à sa capacité à l'expliquer et ce processus d'explication met en jeu ses connaissances et sa mémoire. Face à un problème inédit à résoudre, des connaissances sont tirées des expériences passées et sont utilisées pour interpréter ce problème et diriger la recherche d'une méthode de résolution [...] ».* Le raisonnement à base de références est une forme de raisonnement par analogie. Il consiste à résoudre un nouveau problème, appelé problème cible, en utilisant un ensemble de précédents similaires déjà résolus.

Dans le processus de conception, l'architecte fait toujours appel aux références et les cas précédents pour faire avancer et alimenter ses activités (Beneddouch, 1998). Il n'a pas des manières de résolution prédéterminées. Pourtant, l'architecte connaît un certain nombre de procédures et de méthodes de déblocage utiles. Il peut compter sur des

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

prototypes existants et/ou des projets précédemment traités. Le raisonnement basé par cas (RBC) semble être l'approche de résolution la plus étroite aux modes de résolution des problèmes, adaptée dans l'acte de concevoir (Mazouz and Zeouala, 2001). En effet, il implique l'intelligence artificielle "AI" qui peut être employée pour aider l'architecte dans la conception parasismique et pour trouver les solutions optimales de la situation rencontrée.

Le raisonnement à base de cas (RBC), est une technique d'apprentissage automatique issue de l'intelligence artificielle (Abed and Rezoug, 2009). L'efficacité de cette approche est bien qu'elle profite des expériences produites pendant les événements passés et/ou les divers scénarios possibles d'une situation quelconque. Dans la littérature, très rares sont les travaux qui ont étudié l'utilisation du raisonnement à base de cas pour assister la conception architecturale d'un projet parasismique. Elle peut être utilisée pour développer des systèmes interactifs d'aide à la décision pour choisir et évaluer des décisions possibles, se basant sur un ensemble représentatif de cas, elle comporte une bibliothèque de cas pour un domaine de problème (Louati *et al.*, 2016). Généralement, un cas est une situation, un fait, objet, un événement, une situation ou une circonstance constituant une unité d'analyse. Un cas est une partie conceptuelle de la représentation de la connaissance expérimentale. Un cas est un ensemble de données empiriques constituée de la description du problème et de la solution correspondante (Bichindaritz, 1995; Leplat, 2002). Le processus du RBC transite généralement par quatre étapes (Kolodner, 1993; Agnar and Plaza, 1994) :

4.2.1 Recherche des cas les plus similaires

Retrouver le(s) cas le(s) plus similaire(s) est la première étape dans le processus du RBC. Cette étape (retrouver) est considérée comme étant la plus importante. Car sans elle les séquences du processus qui suivent ne pourraient avoir lieu. Retrouver le(s) cas le(s) plus similaires revient à évaluer les degrés de similarité entre n'importe quels deux cas à comparer (Sankar and Simon, 2004). Dans notre cas d'étude, l'acte de concevoir sollicite souvent une recherche d'idées et d'informations qui peuvent aider le concepteur dans l'élaboration de son projet. Cette idée a été développée par nombreux chercheurs et concepteurs. Ils admettent que durant le processus de conception, le

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

recours aux précédents est essentiel. Ils considèrent que l'information transmise par l'exemple (situation expérimentée) est plus facile à comprendre. Dans cette optique, notre contribution est bien de proposer un moyen de caractérisation de la situation de problème adapté à l'acte de conception parasismique. Cette caractérisation va servir ensuite à la recherche d'information par cas comme aide à la résolution et assistance de l'acte de l'architecte dans un domaine aussi difficile et complexe comme le génie parasismique (figure 22).

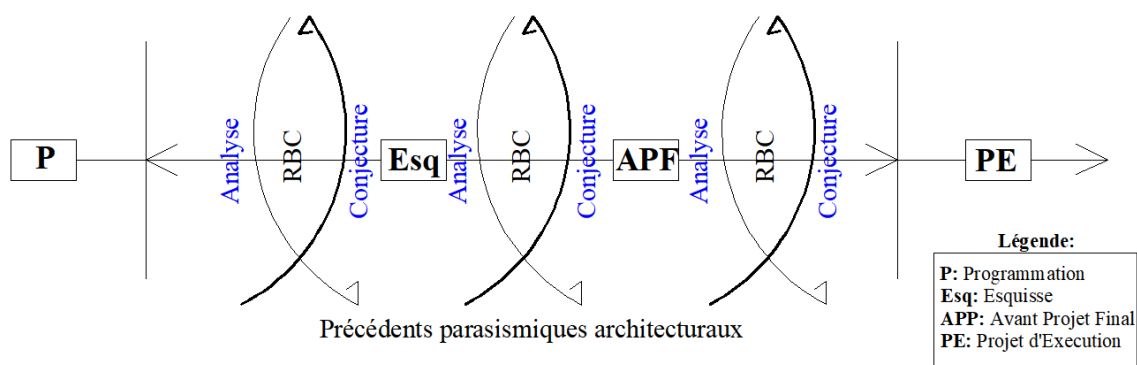


Figure 22 : L'implication de RBC durant l'élaboration du projet (Benabdefattah and Kehila, 2016)

4.2.2 Réutilisation de la solution des cas retrouvés

La solution proposée est souvent inadéquate, car elle ne tient pas compte de tout le contexte. La phase d'adaptation sert à transformer et dériver l'alternative proposée pour satisfaire les exigences du nouveau contexte (Buist, 2004). Les travaux de recherche menés par Engel (1989) révèlent la pertinence du raisonnement à partir des références comme opération cognitive dans le processus créatif. Pour lui, les architectes recherchent les collections d'images pendant la phase de conception et se servent du dessin pour copier, transformer et incorporer les formes prises comme références dans leur conception. Durant cette phase, la solution proposée par les précédents les plus similaires est réutilisée où adaptée pour résoudre le nouveau problème rencontré (Mazouz, 2004). Le concepteur esquisse pour explorer les idées, il emploie la référence visuelle comme moyen pour stimuler la créativité en architecture et les activités mentales qui l'accompagnent dans l'utilisation des précédents (Khelifi, 2006).

4.2.3 Révision de la solution proposée si nécessaire

La révision et la vérification de l'alternative proposée en détectant les différences éventuelles par la comparaison des propriétés de solution proposée avec celle de la solution appropriée.

4.2.4 Retenir la nouvelle solution comme une partie d'un nouveau cas

La résolution du problème adoptée doit être retenue comme nouveau cas dans la base de références pour mettre à jour les connaissances du système RBC. La figure 23 présente bien les principales étapes dans le processus d'un système de raisonnement par cas.

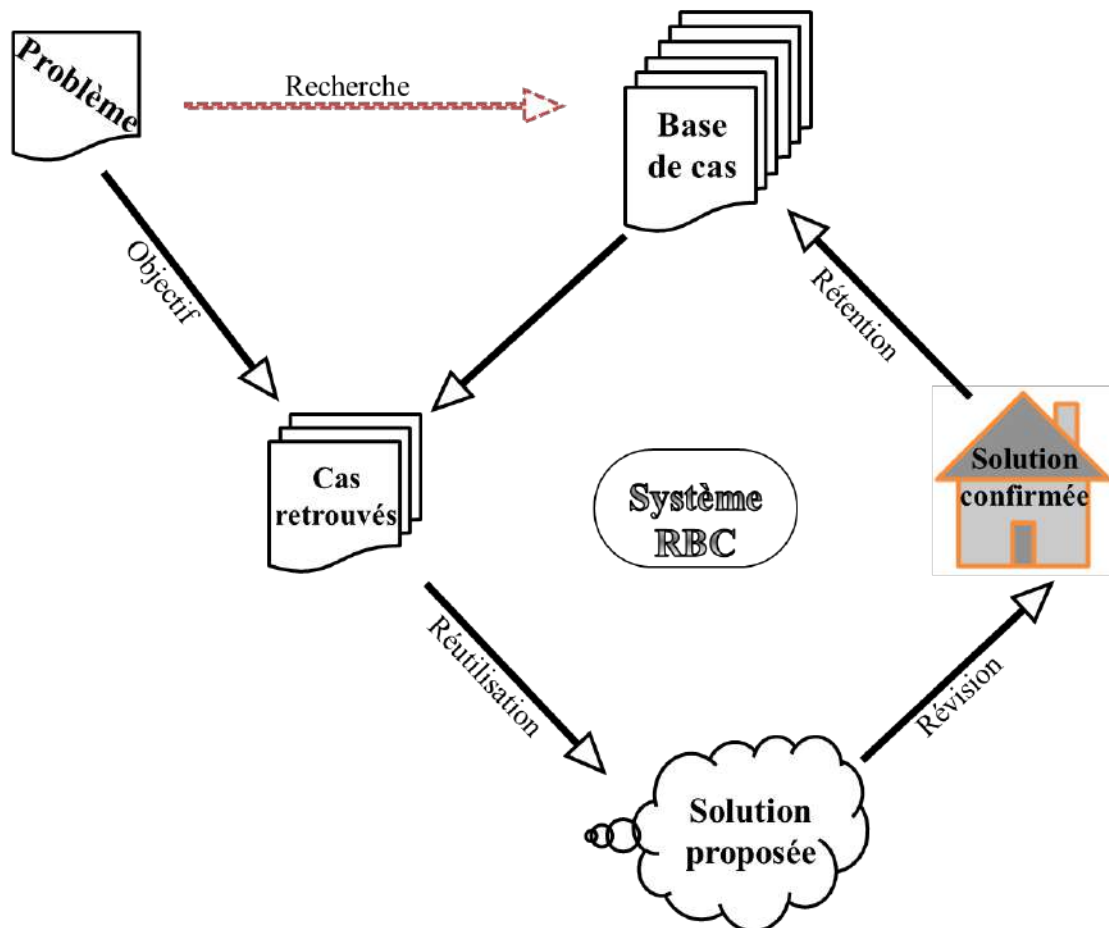


Figure 23 : Les principales étapes dans le processus d'un système de RBC

De ces étapes qui composent un système de raisonnement à base de référence se dégagent trois problèmes majeurs :

1. La représentation des cas dans la base de références ;

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

2. La recherche des cas similaires à partir la base de références ;
3. Et la création de la fonction d'adaptation et d'apprentissage.

Avant la recherche de cas similaires, il faut identifier ses caractéristiques mais aussi son contexte dans les limites du possible. Pour ce faire, il est possible d'essayer de déduire les caractéristiques de la situation rencontrée à l'aide d'un modèle de connaissance. Notre contribution dans le présent travail est bien inscrite dans la deuxième phase d'un système RBC d'assistance à la conception architecturale par le développement d'un modèle de caractérisation de la forme conçu durant la phase d'esquisse d'un projet parasismique.

4.3 Besoin de présentation graphique durant le processus de conception

Certes, l'acte de concevoir est une activité assez complexe, c'est à la fois technique et sensible. Elle sollicite souvent une recherche d'idées et d'informations qui peuvent assister le concepteur dans l'élaboration de son projet. Cette idée a été développée par nombreux chercheurs et concepteurs, tel que Leplat (2002) ; Bignon *et al* (1998); Kacher (2005) ; et autre... Ils expliquent que durant le processus de conception architecturale, le recours aux images (schémas, photos,... etc.) est essentiel. Ils considèrent que l'information transmise par l'image est plus facile à comprendre que celle transmise par le texte. Ceci résulte probablement du fait que l'image nécessite moins d'interprétations que le texte. L'image présente aussi des informations qui peuvent être directement intégrées dans le corpus des idées, des contraintes ou encore des solutions d'un projet.

Comme nous avons bien cité auparavant, le processus d'élaboration du projet architectural est considéré comme une chaîne composée de plusieurs couples de formulations problème/solution dont le besoin de représentations est une nécessité qui se manifeste au niveau de l'articulation dynamique de ce couple (figure 10, page 54). Elle donne la possibilité d'exprimer l'idée du projet que l'on souhaite réaliser, et de le communiquer. C'est une étape indispensable à laquelle a recours le concepteur durant les phases d'élaboration du projet. En architecture la représentation peut s'envisager comme un outil d'études permettant de simuler les différentes hypothèses, un moyen

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

d'anticipation, de description, d'information, de concertation, d'aide à la décision, de contrôle et de validation durant le processus d'élaboration du projet architectural, et aussi un outil de communication vers un public non spécialisé.

Et comme le souligne Denis (1989) : « *Il y a activité de représentation lorsqu'un objet ou lorsque les éléments d'un ensemble d'objets se trouvent exprimés, traduits, figurés, sous la forme d'un nouvel ensemble d'éléments, et qu'une correspondance systématique se trouve réalisée entre l'ensemble de départ et l'ensemble d'arrivée [...]* ».

L'image peut être distinguée selon deux niveaux : une représentation mentale ou graphique (physique) d'une idée ou d'un objet, apte à révéler les informations nécessaires à la progression du processus d'élaboration du projet architectural. L'image mentale désigne toutes représentations issues d'une perception antérieure permettent au concepteur, seul, de s'en servir comme référence pour l'élaboration du projet. Elle représente un ensemble plus vaste comprenant toutes les figurations et les références architecturales acquises par le biais de la formation et de l'expérience. À ce niveau, l'image participe directement et culturellement au mode de création et d'usage de l'architecture.

Autrement dit, l'image est ici celle qui soutient la création architecturale en amont et en aval du processus d'élaboration du projet architectural. Elle est vouée ici à l'avancement du projet et au soutien de ses intérêts d'ordre conceptuels, architecturaux et notamment économiques. Elle donne au concepteur, de même qu'aux différents acteurs (maître d'œuvre, maître d'ouvrage, etc.), un ensemble de références visuelles permettant à la fois de clarifier les différentes situations d'analyse et de développement du projet, mais aussi de stimuler la compréhension du résultat architectural (Kacher, 2005; Khelifi, 2006; Benabdefattah, 2010).

Nous pouvons également évoquer l'exemple de l'Institut du Monde Arabe, conçu par Jean Nouvel, l'architecte a combiné le besoin de se protéger contre le soleil avec du Moucharabieh et avec l'idée d'un diaphragme de contrôle de la lumière de l'appareil-photo. Le résultat, présenté dans la figure 24, est bien inscrit comme une référence permanente à l'architecture traditionnelle islamique (Heylighen, 2000). De plus, ce type d'image a non seulement pour but de refléter et transmettre l'information entre les différents acteurs de la conception, mais également de donner une illustration concrète à

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

l'utilisateur pour qu'il puisse comprendre, sans équivoque, les relations formelles entre les différents éléments constituant le projet architectural (Bret, 1988; Jungmann, 1996).

Dans son travail, Moles et Zetmann (1971), révèle deux types d'information structurant la représentation architecturale; la première sémantique qui répond à la question : qu'est-ce qu'il faut faire? Et la deuxième esthétique qui répond à la question : comment faut-il faire ?

Cependant, l'implémentation d'un système de RBC intégral pour assister la conception architecturale

parasismique nécessite la résolution de trois exigences majeures, chaque exigence présente toute seule, un axe de travail plein de pistes de recherche. Pour cette raison, et vu les difficultés qui nous ont entravé d'avoir réunir les moyens scientifiques nécessaires, nous avons bien focalisé dans la présente contribution de résoudre une première exigence de la deuxième phase d'un système de RBC qui est l'identification des caractéristiques de la situation de problème.

Le caractère incertain de l'acte de concevoir et l'aspect probabiliste du génie parasismique nous offre la possibilité de combiner plusieurs techniques de l'IA pour développer un système de caractérisation. Pour ce faire, la puissance de la technique de la LF à manipuler des grandeurs de satisfactions imprécises utilisées notamment dans le langage de l'architecte, nous offre la possibilité de le combiner dans notre démarche RBC. Nous avons préconisé, dans ce sens, d'exploiter la méthode de l'indice de vulnérabilité sismique dans un système de RBC flou pour assister l'acte de l'architecte en génie parasismique, afin d'y remédier aux limites observées dans le RBC classiques. Cette aide destinée à l'architecte utilise la notion de stéréotype et les précédents pris comme des références pour alimenter sa base de connaissance technique et scientifique,

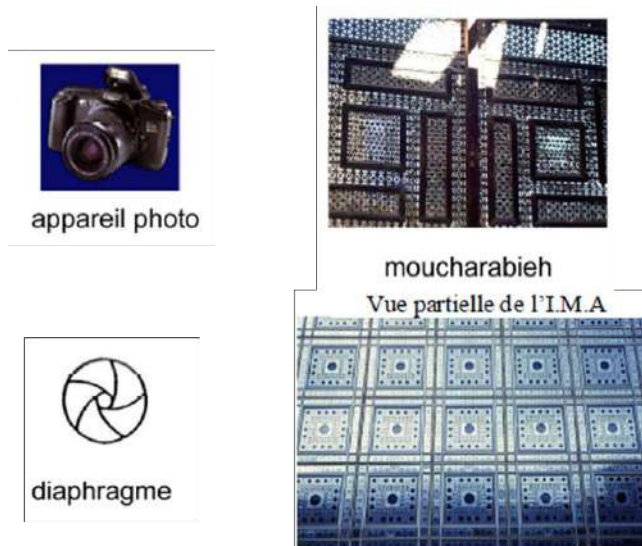


Figure 24 : Les références de l'idée d'occultation de l'Institut du Monde Arabe (Scaletsky, 2003)

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

simplifier l'information, la rendre accessible et mieux maîtrisable durant le processus de conception architecturale.

4.4 La logique floue

Récemment, la théorie des ensembles flous et la logique floue ont émergé comme alternative et approche souple pour résoudre des problèmes complexes avec des données et information imprécises, inachevées et/ou incertaines (Kamble, Singh and Kharat, 2017) ce qui est souvent le cas avec les données parasismique. Il propose des modes de raisonnement approximatifs plutôt qu'un mode exacte. C'est le mode largement répandu dans la résolution de la majorité des situations vécues par les êtres humains (Zadeh, 1984). L'idée de la logique floue est de "capturer" l'inexactitude de la pensée humaine et de l'exprimer avec les outils mathématiques appropriés (Sankar and Simon, 2004). Zadeh L (1973), résumant l'objectif de la logique floue par *"la construction des machines plus intelligentes"*. En outre, Dubois et Prade (1991), qui sont parmi les pionniers de la logique floue, affirment cela : *"la motivation principale de la théorie des ensembles flous est apparemment le désir d'accumuler un cadre formel et quantitatif qui capture l'imprécision de la connaissance humaine pendant qu'elle est exprimée par l'intermédiaire d'un langage naturel"*¹¹.

4.4.1 Conception et implémentation d'un système d'inférence flou

Un système d'inférence flou (SIF) prend les éléments de l'espace d'entrée (inputs) pour produire une conclusion appartenant à l'espace de sortie (output). Plusieurs techniques utilisées dans l'intelligence artificielle (IA), comme les réseaux de neurone (RN), fonctions mathématiques, et systèmes de commande conventionnels...etc., peuvent effectuer un processus similaire. Cependant, la flexibilité des SIF est particulière. Ils ont la capacité de modéliser n'importe quelle fonction non-linéaire à n'importe quel degré d'incertitude (Zemmouri and Schiller, 2005). Les SIF sont basés sur des règles à base

¹¹Traduction de : "The main motivation of fuzzy set theory is apparently the desire to build up a formal, quantitative framework that captures the vagueness of human knowledge as it is expressed via natural language"(DUBOIS et al 1991)

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

des connaissances expertes traitent, en même temps, l'aspect objectif et l'aspect subjectif d'une structure par un langage naturel. La technique de la logique floue peut servir comme un complément aux autres techniques de l'IA, telles que le RBC, le RN ou les algorithmes génétiques (AG).

Afin de concevoir un SIF, nous devons d'abord déterminer les entrées et les sorties avec leurs domaines de discours, et élaborer les règles d'inférence floues. L'élaboration de ces dernières peut être obtenue à partir des données numériques ou à partir de la connaissance experte. Nous devons aussi décider les fonctions d'appartenances des entrées et des sorties, les zones de chevauchement entre ces fonctions, et choisir les méthodes d'implications, d'agrégations et de Défuzzification (Zemmouri, 2005). Un processus d'implémentation d'un SIF passe par quatre étapes successives (figure 25), à savoir :

1. **Fuzzification** : la première étape consiste à sélectionner les entrées et déterminer le degré d'appartenance des éléments des ensembles flous d'entrées.
2. **Règles d'implications** : Cette étape est dédiée à l'application des opérateurs de la logique floue, et à la composition des règles. Puis passer à l'implication des règles pour obtenir la forme de la fonction d'appartenance de la sortie du système. Il faut noter que l'entrée du processus d'implication est un chiffre précis donné par l'antécédent des règles, tandis que la sortie est un ensemble flou.
3. **Agrégation** : est un processus d'assemblage de toutes les sorties des règles du système. L'entrée au processus d'agrégation est donc des ensembles flous de la sortie obtenue par l'application des méthodes d'implication. La sortie du processus d'agrégation est aussi un ensemble flou qui résulte de la combinaison des ensembles de sorties précédentes.
4. **Défuzzification** : l'entrée du processus de Défuzzification est l'ensemble flou produit par le processus d'agrégation, et la sortie est une valeur précise obtenue par l'application d'une méthode de Défuzzification telle que la méthode du centre de gravité, le maximum... etc. ces étapes peuvent être donc présentées comme suit :

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

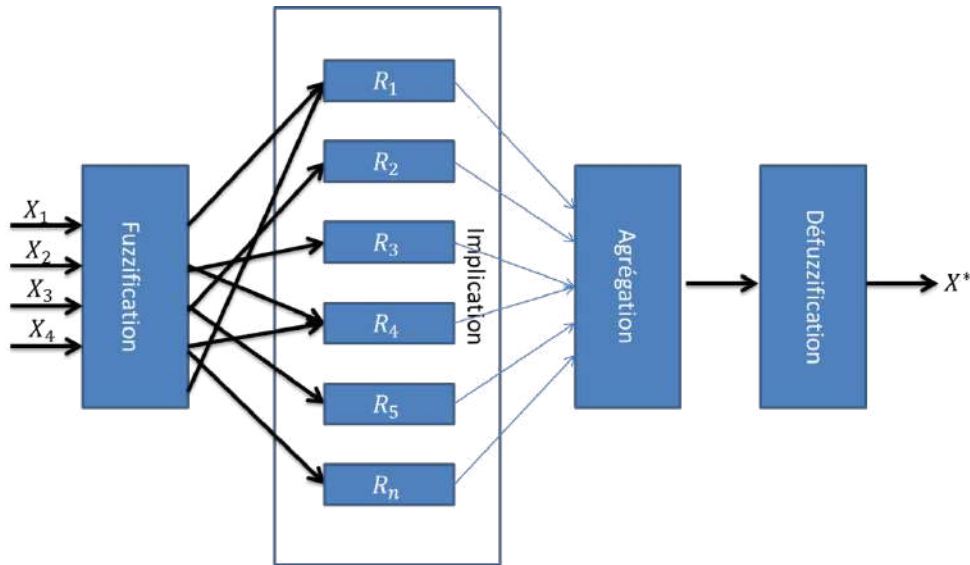


Figure 25 : processus d'implémentation d'un SIF

4.4.2 Les ensembles flous et les fonctions d'appartenance

La logique floue sert à modéliser des conditions imprécises et mal définies. C'est une forme de raisonnement approximatif qui fournit une aide à la décision et des systèmes experts (Zemmouri, 2005). Les ensembles classiques contiennent les objets qui satisfont les propriétés d'appartenance d'une manière booléenne ; tandis que les ensembles flous contiennent les objets qui satisfont approximativement les propriétés d'appartenance. Autrement dit, les ensembles classiques acceptent qu'une appartenance binaire, ils permettent seulement les valeurs 1 (entièrement contenues) ou 0 (non contenu). La figure 26 illustre cette notion. Les éléments de l'univers X, soit appartiennent à l'ensemble A qui comporte les formes courbées A= (f₁, f₃,...), ou bien à l'ensemble B qui regroupe les autres objets B= (f₂, f₄,...)

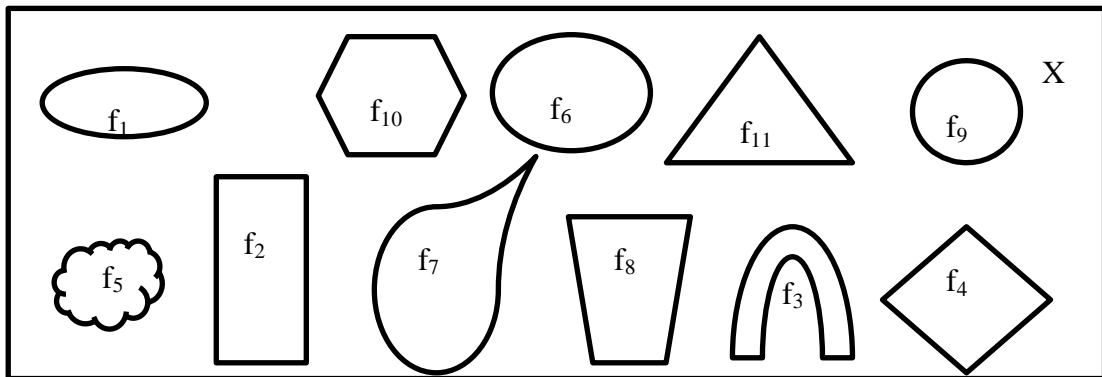


Figure 26 : La fonction caractéristique de la logique binaire

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

Par contre, dans la théorie des ensembles flous, un objet peut avoir une appartenance partielle. Un ensemble flou A est ainsi défini par des spécifications d'une fonction d'appartenance μ_A qui assigne à chaque élément x un degré d'appartenance compris entre 0 et 1 (Berthold, 2007; Timothy, 2010).

Dans les ensembles classiques, l'appartenance d'un élément x dans un ensemble A est décrit par une fonction caractéristique : $\mu_A(x)$

$$\text{Où : } \mu_A(x) = 1 \text{ si } x \in A \quad \text{et} \quad \mu_A(x) = 0 \text{ si } x \notin A \quad (6)$$

Prenant l'exemple de la forme d'un bâtiment dont la conception architecturale ne répond pas aux critères de forme parasismique est plus fragile et souvent beaucoup plus onéreux que le même bâtiment ayant été conçu parasismique dès la phase précoces. Cependant, la plus part des règles parasismiques qui existent dans la réglementation algérienne sont présentées d'une manière binaire qui est inadaptée avec le raisonnement de l'architecte. Elle présente pour eux un cadre référentiel d'évaluation et de validation, tandis qu'ils souhaitent avoir un cadre de soutènement et d'avancement de la créativité architecturale pendant les différentes phases du processus de conception architecturale parasismique.

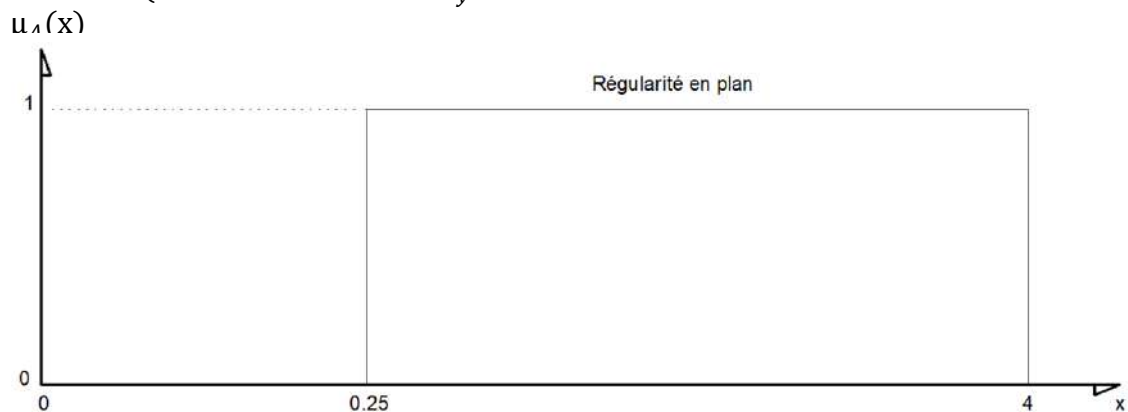
L'acte de concevoir une forme parasismique est aussi difficile, car le concepteur est appelé à trouver un compromis pour obtenir la combinaison optimale entre la résistance et la déformabilité du bâtiment. Selon les différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique développées jusqu'à nos jours. La forme architecturale est incontestablement l'un des éléments architectoniques les plus importants dans la stabilité du bâtiment. Néanmoins, l'aspect binaire des impératifs de conception parasismique peuvent paraître, lors d'un premier examen, comme une contrainte architecturalement appauvrissant. En outre, des nombreuses réalisations réussies sur le plan esthétique prouvent toutefois qu'une architecture parasismique de qualité est possible. Donc, au-delà de l'aspect "comportement mécanique" en intégrant les préoccupations parasismiques dans l'intention architecturale, il est possible d'utiliser le concept parasismique en tant qu'élément d'expression et de conception architecturale.

Par exemple, une des règles dictées par le RPA99 version 2003 pour concevoir une forme régulière en plan est : « La forme du bâtiment doit être compacte avec un rapport

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

longueur/largeur du plancher inférieur ou égal 4 [...]» (CGS, 2003), c'est un ensemble précis (crisp, classique) qui varie de 0.24 à 4 (voir la figure 27). Donc, un bâtiment (et sa structure) doit être classé selon sa configuration en plan en bâtiment régulier ou non, selon le critère précité comme suit :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 \text{ (régulière)} & , \frac{L_x}{L_y} \leq 4 \\ 0 \text{ (non régulière)} & , \frac{L_x}{L_y} > 4 \end{cases} \quad (7)$$

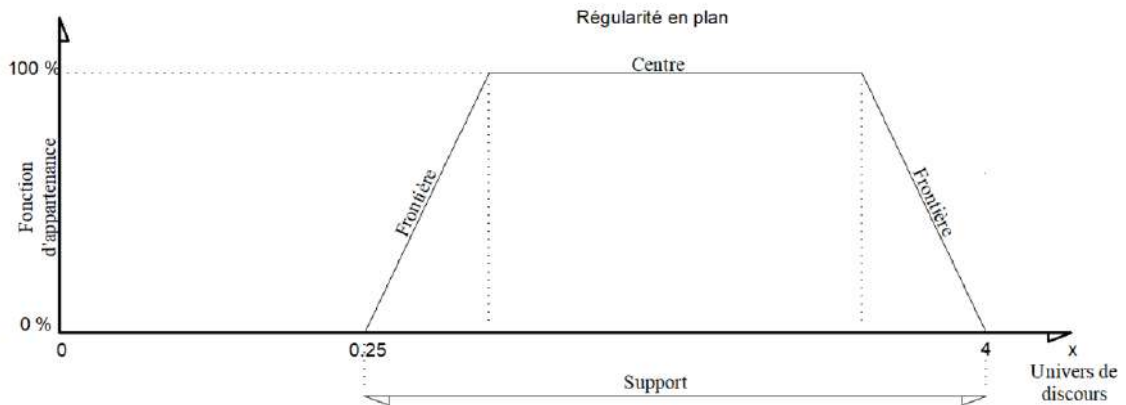


La figure 27 : La fonction caractéristique de $\mu_A(x)$

L'ensemble des valeurs des bâtiments qui présentent une configuration *sensiblement symétrique* dont L_x/L_y variant au voisinage de (1.8 fois) est une forme imprécise, ou floue. La logique floue est une logique multi-valeurs fondée sur des variables pouvant prendre, outre les valeurs binaire (vrais) ou (faux), des valeurs intermédiaires allant de manière graduelle du (faux) au (vrai). Elle suppose que nous ayons une collection approfondie de différents éléments x , qui composent un univers d'information (discours), chaque élément peut appartenir à plus d'un ensemble flou avec un degré d'appartenance varie de 0 à 100%.

Cette forme de raisonnement peut être représentée comme suit :

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse



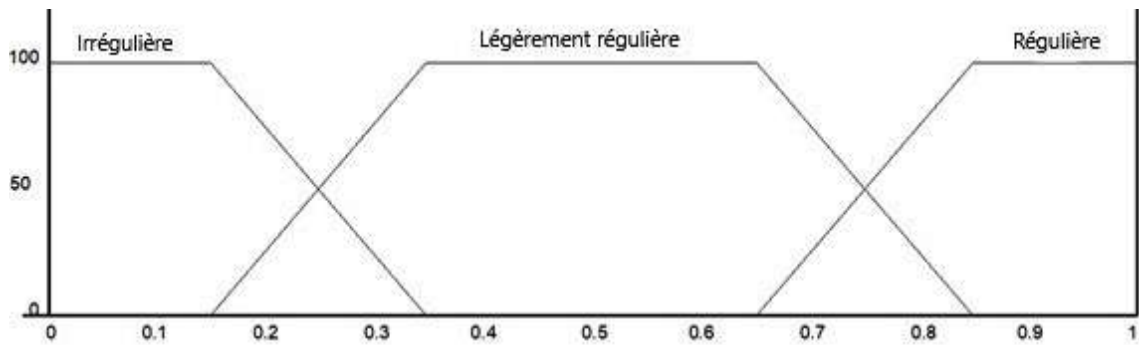
La figure 28 : La fonction d'appartenance de $\mu_A(x)$

Dans le contexte du présent projet de recherche, le système d'entrées choisi est bien les dimensions géométriques du projet. Il est ainsi car la forme joue un rôle décisif dans le comportement du bâtiment vis-à-vis les accélérations sismiques, et elle est aussi la matière principale de travail de l'architecte lors de la phase d'esquisse. La sortie du modèle proposé est une estimation de la vulnérabilité sismique (I_v) de la forme architecturale produite pendant la phase précoce du processus de conception architecturale.

4.4.3 Variables Linguistiques

Prenant l'exemple du coefficient attribué à la régularité en plan, ceci pourrait signifier que nous définissons deux fonctions d'appartenance supplémentaires pour les coefficients de formes (L_x/L_y) dans l'intervalle [0,1], couvrant l'univers de discours entier. Ce type de représentation est particulièrement approprié pour beaucoup d'applications réelles, où la définition de certains concepts est vague de nature, due à la subjectivité et à l'incertitude des mesures. L'exemple ci-dessus pour une variable linguistique est montré dans la figure 29.

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse



La figure 29 : La fonction d'appartenance de la régularité en plan

Les configurations en plan sont distinguées en utilisant leur coefficient de forme (Lx/Ly) dans les groupes: *régulière*, *légèrement irrégulière* et *irrégulière*. Donc on considère que le plan est:

$$\mu_A = \begin{cases} \text{Régulière,} & 1 \geq Lx/Ly \geq 0.75 \\ \text{Légèrement irrégulière,} & 0.75 > Lx/Ly \geq 0.25 \\ \text{Irrégulière,} & 0.25 > Lx/Ly > 0 \end{cases} \quad (8)$$

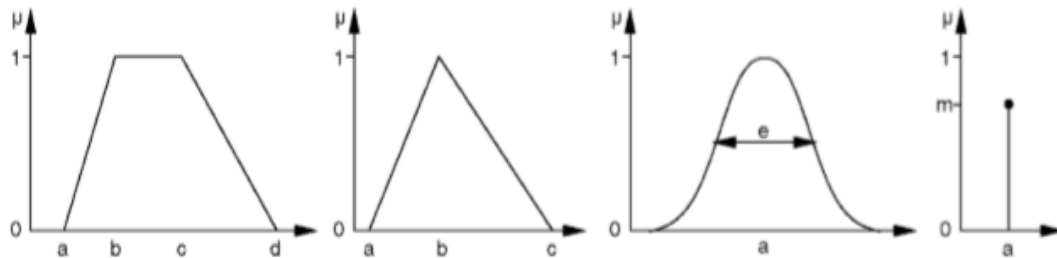
L'utilisation des ensembles flous nous permet de comprendre l'inexistence des frontières pointues entre ces groupes. La figure 29 illustre comment les ensembles flous correspondants créent des zones de chevauchement, formant des frontières floues. Les éléments de l'univers de discours entre deux ensembles appartiennent à tous les deux en même temps. Par exemple une forme en plan P avec un coefficient $(Lx/Ly)_P = 0.7$ appartient aux groupes *légèrement irrégulière* et *régulière* avec un degré d'appartenance de 0.75 et de 0.25 respectivement ; c'est-à-dire :

$$\mu_{\text{légèrement irrégulière}}(P) = 0.75 \text{ et } \mu_{\text{régulière}}(P) = 0.25 \quad (9)$$

Avec l'augmentation du coefficient de la configuration en plan, le degré d'appartenance à la catégorie de forme régulière augmentera tandis que des diminutions dans $\mu_{\text{légèrement irrégulière}}(P)$ sont notées. Les variables linguistiques de la *configuration en plan* sont donc décrits par trois valeurs linguistiques, à savoir *régulière*, *légèrement irrégulière* et *irrégulière*. Le chevauchement entre les fonctions d'appartenances reflète la nature imprécise du concept fondamental. Nous devrions maintenir dans l'esprit, cependant, que la plupart des concepts dépendent du contexte respectif. Un vieil étudiant peut facilement être un jeune professeur, comme un bâtiment à une forme en plan irrégulière peut avoir une faible vulnérabilité sismique.

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

Dans le processus de conception d'un système d'inférence flou, le choix des fonctions d'appartenance est jusqu'à nos jours limitée à un des types des fonctions qui peuvent être indiquées avec seulement quelques paramètres. La figure 30 montre les formes les plus utilisées pour des fonctions d'appartenance.



La figure 30: Les formes le plus utilisées pour les fonctions d'appartenance (trapézoïdal, triangulaire, gaussien, singleton).

Du côté gauche une fonction trapézoïdale est présentée. Elle peut être désignée par quatre points (a, b, c et d). La courbe de cette fonction est représentée par la formule suivante :

$$f(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & \text{pour } x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{pour } a \leq x < b \\ 1 & \text{pour } b \leq x < c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{pour } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{pour } x \geq d \end{cases} \quad (10)$$

La fonction d'appartenance triangulaire peut être considérée comme un cas particulier de la fonction trapézoïdale. Elle dépend du trois paramètres seulement (a, b et c). Elle est donc donnée par la formule suivante :

$$f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & \text{pour } x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{pour } a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{pour } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{pour } x \geq c \end{cases} \quad (11)$$

Souvent, les experts utilisent une autre fonction d'appartenance caractérisée par la continuité. C'est la forme gaussienne qui peut être définie par deux paramètres seulement, à savoir : le moyen *a* et écart type *e*. Dans la plupart du temps, le choix de la fonction d'appartenance est guidé par l'application. La fonction gaussienne est

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

habituellement employée quand le système d'inférence flou résultant doit être adapté par des méthodes de gradient-descente (Berthold, 2007). La courbe de cette fonction d'appartenance est représentée par la formule suivante :

$$f(x, a, e) = \exp \left[\frac{-(x-e)^2}{2 \times a^2} \right] \quad (12)$$

D'une manière générale, les données récupérées depuis les investigations et les entretiens avec des expertes sont faciles à modéliser par des fonctions d'appartenances triangulaires ou trapézoïdales. Il suffit de déterminer les quatre paramètres (a, b, c et d). Un expert doit définir sa notion d'un ensemble flou en indiquant le secteur où le degré d'appartenance devrait être (1) (au niveau du noyau de la courbe [b, c] pour le trapèze, le point b pour le triangle) et où il devrait être (0) (en dehors du support (a, d) ou (a, c) pour le trapèze et le triangle respectivement). Changer d'une forme d'une fonction d'appartenance à une autre affectera le système seulement dans les limites de sa granulation.

Enfin le singleton $\langle a \setminus m \rangle$ peut être employé pour définir un ensemble flou qui ne comporte qu'un seul élément à un certain degré d'appartenance $m < 1$.

Dans notre cas, les entrées à employer sont les valeurs liées aux attributs géométriques influençant sur la réponse sismique du projet, tel que l'endroit de projet, la régularité en plan, la régularité en élévation et la période fondamentale calculée en fonction de la hauteur du projet étudié.

Ces entrées sont aisément disponibles et leurs valeurs sont typiquement considérées quand un architecte développe son plan durant les phases de conception architecturale précoce. Le but principal est de diminuer la force sismique donnée par la formule suivante (se basant sur la méthode statique équivalente) :

$$V = \frac{ADQ}{R} W \quad (13)$$

A: coefficient d'accélération de zone. Il dépend de la zone sismique

D: Coefficient d'accélération dynamique moyen

Q : facteur de qualité.

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

R: coefficient de réponse de la structure en fonction du système modal

W: Le poids de la structure.

Il est clair que d'autres attributs puissent être considérés cruciaux par le concepteur pendant la conception architecturale parasismique du projet. Les toits, le pourcentage d'ouvertures, les détails architecturaux, éléments non-structuraux, et même l'environnement bâti adjacent sont décisifs dans l'étude de la réponse sismique des bâtiments. Notre objectif principal dans cette recherche est de se focaliser sur les phases préliminaires du processus de conception architecturale.

En se basant sur la formule précédente (13), l'objectif de notre contribution est de diminuer les pénalités provoquées par la partie architecturale dès les phases précoces de la conception. La force sismique est devenue comme suit:

$$V = f(DQW) \tag{14}$$

Où *D* est obtenu à partir de la formule suivante:

$$D = \begin{cases} 1 \\ (T_2/T)^{\frac{2}{3}} \\ (T_2/3)^{\frac{2}{3}}(3/T)^{\frac{5}{3}} \end{cases} \quad \text{Si} \quad D = \begin{cases} 0 \leq T \leq T_2 \\ T_2 \leq T \leq 3\text{sec} \\ T \geq 3\text{sec} \end{cases} \tag{15}$$

Et *Q* est un facteur de qualité. On le calcule sur la base de la formule suivante:

$$Q = 1 + \sum_1^n P_q \tag{16}$$

Où *T*₂ est la période caractéristique associée à la catégorie d'emplacement (table 03).

Tableau 3 Valeurs de *T*₁ et de *T*₂

Valeurs de <i>T</i> ₁ et <i>T</i> ₂				
Site	<i>S</i> ₁	<i>S</i> ₂	<i>S</i> ₃	<i>S</i> ₄
<i>T</i> _{1(sec)}	0,15	0,15	0,15	0,15
<i>T</i> _{2(sec)}	0,30	0,4	0,50	0,70

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

Sachant que T est la période caractéristique associée à la forme de projet.

P_q est la valeur de pénalité, elle est obtenue d'après le tableau suivant.

Tableau 4 Valeur de pénalité

Q : facteur de qualité	$Q = 1 + \sum_1^n P_q$	Valeur des Pénalités P _q		
		observé	S/observé	N/observé
1- Conditions minimales sur les files de contreventement	0	0.025	0.05	
2- Redondance en plan	0	0.025	0.05	
3- Régularité en plan	0	0.025	0.05	
4- Régularité en élévation	0	0.025	0.05	
5- Qualité du contrôle des matériaux	0	0.025	0.05	
6- Qualité du contrôle de l'exécution	0	0.05	0.10	

Les entrées sont classées par catégorie dans des domaines physiquement significatifs appelés *les ensembles flous*. Ils sont des descriptions qualitatives des domaines choisis aux entrées, chaque entrée est pensée pour avoir un effet spécifique sur le système de sorties. Le tableau 06 montre les variables linguistiques adoptées pour notre système d'inférence flou.

Tableau 5 Les ensembles flous adoptés pour notre système d'inférence flou

Situation du projet	Régularité en plan	Régularité en élévation	La période fondamentale
Rocheuse	Régulière	Régulier	Très courte
Ferme	Légèrement régulière	Légèrement régulière	Courte
Meuble	Irrégulière	Irrégulière	Moyenne
Très meuble			Longue

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

Selon le code parasismique algérien en vigueur (CGS, 2003), l'interprétation de la description qualitative de ces ensembles flous, et l'effet physique sur la vulnérabilité sismique devrait être évident. La valeur liée au site du projet est classée par catégorie selon les propriétés mécaniques du sol en l'un des quatre ensembles suivants :

$$\mu_{sol} \begin{cases} \text{Rocheux (stony)} & \text{si } V_s \geq 800 \text{ m/s} \\ \text{Dur (tough)} & \text{si } 800 > V_s \geq 400 \text{ m/s} \\ \text{Mou (loose)} & \text{si } 400 > V_s \geq 200 \text{ m/s} \\ \text{très mou (very loose)} & \text{si } 200 > V_s \geq 100 \text{ m/s} \end{cases} \quad (17)$$

De même, la valeur de la période fondamentale de la structure est décrite comme :

$$\mu_{période} \begin{cases} \text{Très courte (very short)} & \text{si } T < 0.3 \text{ s} \\ \text{Courte (short)} & \text{si } 0.7 \text{ s} \geq T > 0.3 \text{ s} \\ \text{Moyenne (medium)} & \text{si } 1.5 \text{ s} \geq T > 0.7 \text{ s} \\ \text{longue (long)} & \text{si } T > 1.5 \text{ s} \end{cases} \quad (18)$$

Sachant que la période T est calculée selon les formules suivantes:

$$T = C_T h_N^{\frac{3}{4}} \quad (19)$$

$$T_N = 0.09 \frac{h_N}{\sqrt{L}} \quad (20)$$

$$T_{Final} = \text{Min}(T; T_{Nxx}; T_{Nyy}) \quad (21)$$

$$T_{admiss} = 1.3 * T_{Final} \quad (22)$$

C_T : Est un coefficient donné en fonction du système de contreventement et le type de remplissage, sa valeur est rapportée dans le tableau suivant.

h_N : La hauteur de la structure en mètre

L : est la dimension du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul considérée

T_{Nxx} : Période fondamentale de la structure selon l'axe xx

T_{Nyy} : Période fondamentale de la structure selon l'axe yy

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

Tableau 6 Les valeurs de C_T

Cas n ^o	Système de contreventement	C _T
01	Portiques autostables en béton armé sans remplissage en maçonnerie	0.075
02	Portiques autostables en acier sans remplissage en maçonnerie	0.085
03	Portiques autostables en béton armé ou en acier avec remplissage en maçonnerie	0.050
04	Contreventement assuré partiellement ou totalement par des voiles en béton armé, des	0.050

La régularité en plan et la régularité en élévation sont seulement caractérisées par une de trois catégories ; régulier, légèrement irrégulier ou irrégulier.

$$\mu_{R.en\ plan} \begin{cases} \text{Le plan est régulier si } 1 \geq L_x/L_y \geq 0.75 \\ \text{Légèrement irrégulier si } 0.75 > L_x/L_y \geq 0.25 \\ \text{Irrégulier si } 0.25 > L_x/L_y > 0 \end{cases} \quad (23)$$

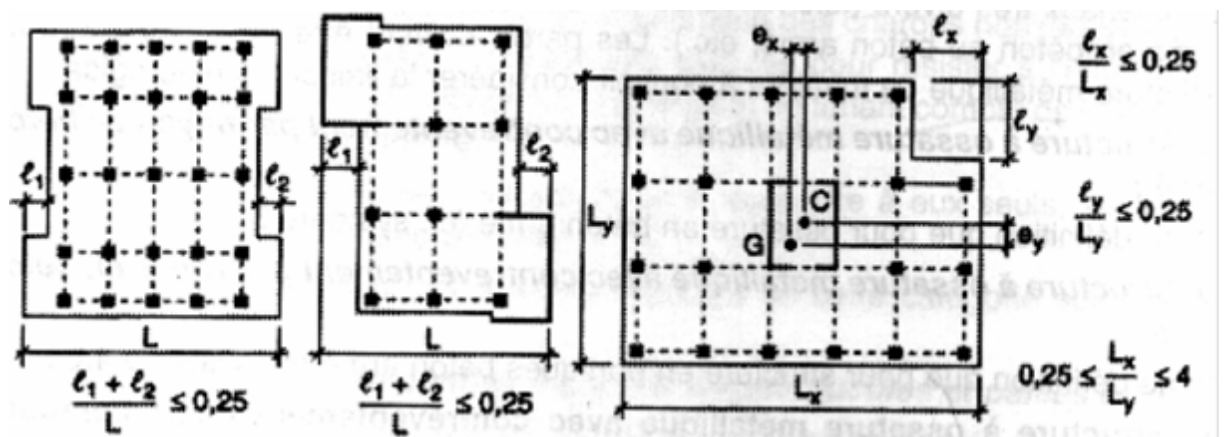


Figure 31 : Régularité en plan (CGS, 2003)

De même, les valeurs de la régularité en élévation sont considérées comme :

$$\mu_{R.en\ élévation} \begin{cases} \text{Régulière si } 0.25 > 2Bm/3B \geq 0.75 \\ \text{légèrement irrégulière si } 0.25 \geq 2Bm/3B \geq 0 \\ \text{Irrégulière si } 1 \geq 2Bm/3B > 0.75 \end{cases} \quad (24)$$

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

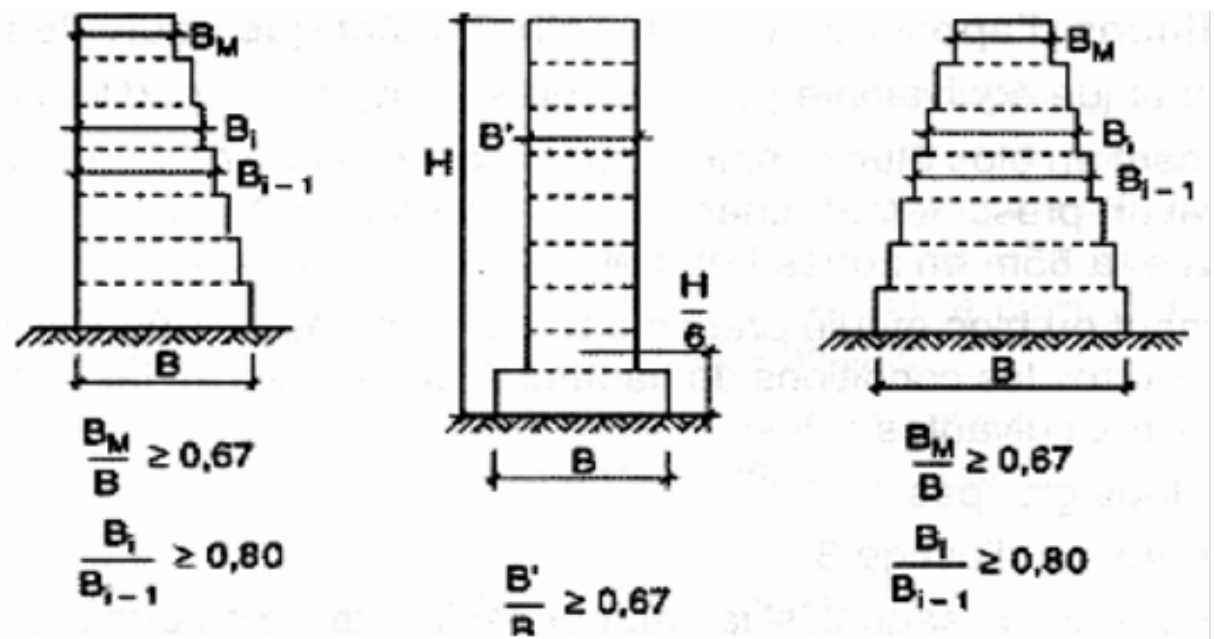


Figure 32 : Régularité en élévation (CGS, 2003)

Les systèmes flous sont des systèmes basés sur la connaissance (*knowledge-based*) ou des règles expertes (*rule based-systems*). La détermination des ensembles flous se fait exclusivement sur la base des connaissances expertes ou des résultats d'un champ d'étude. Nous devons judicieusement choisir ces classes telles que des sorties (outputs) raisonnables soient trouvées. C'est le processus critique de la correction, ou du calibrage du système. C'est à ce stade où l'expérience du réalisateur de système devient très importante.

Les ensembles flous sont quantitativement définis par des fonctions d'appartenance. Ces fonctions sont des fonctions, mathématiquement, exactes. Ce sont des fonctions en général très simples qui couvrent un univers de discours spécifique de la valeur de l'entrée de système. Pour notre cas, les ensembles flous sont montrés dans les figures 33, 34, 35 et 36.

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

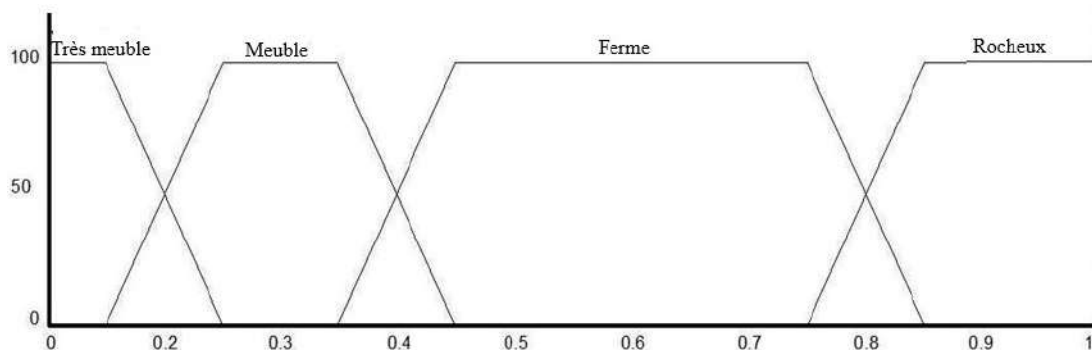


Figure 33: Les fonctions d'appartenances qui sont associées au site de projet

Donc :

$$f(x)_{V.L} = \begin{cases} 1 & \text{pour } 0 \leq x < 0.15 \\ \frac{0.25-x}{0.1} & \text{pour } 0.15 \leq x \leq 0.25 \\ 0 & \text{pour } x \geq 0.25 \end{cases} \quad (25)$$

$$f(x)_L = \begin{cases} 0 & \text{pour } x < 0.15 \\ \frac{x-0.15}{0.1} & \text{pour } 0.15 \leq x < 0.25 \\ 1 & \text{pour } 0.25 \leq x < 0.35 \\ \frac{0.35-x}{0.1} & \text{pour } 0.35 \leq x \leq 0.45 \\ 0 & \text{pour } x \geq 0.45 \end{cases} \quad (26)$$

$$f(x)_T = \begin{cases} 0 & \text{pour } x < 0.35 \\ \frac{x-0.35}{0.1} & \text{pour } 0.35 \leq x < 0.45 \\ 1 & \text{pour } 0.45 \leq x < 0.75 \\ \frac{0.85-x}{0.1} & \text{pour } 0.75 \leq x \leq 0.85 \\ 0 & \text{pour } x \geq 0.85 \end{cases} \quad (27)$$

$$f(x)_S = \begin{cases} 0 & \text{pour } x < 0.75 \\ \frac{x-0.75}{0.1} & \text{pour } 0.75 \leq x < 0.85 \\ 1 & \text{pour } 0.85 \leq x < 1 \end{cases} \quad (28)$$

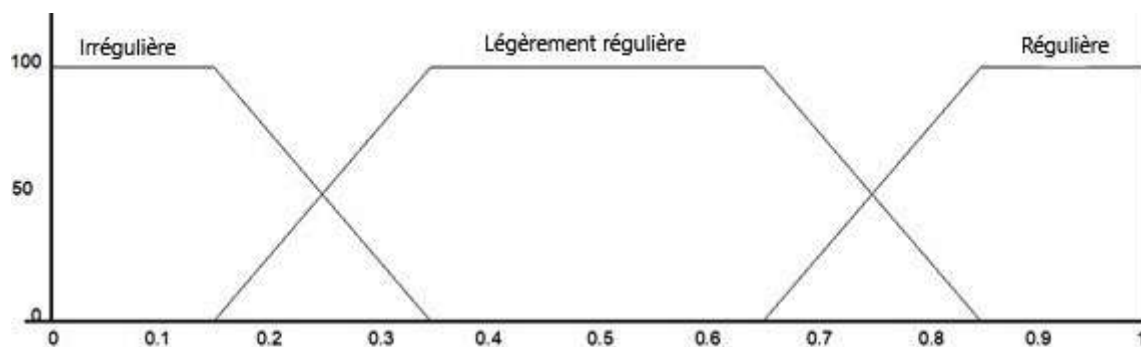


Figure 34: Les fonctions d'appartenances qui sont associées à la régularité en plan

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

Donc :

$$f(x)_{P.I} = \begin{cases} 1 & \text{pour } 0 \leq x < 0.15 \\ \frac{0.35-x}{0.2} & \text{pour } 0.15 \leq x \leq 0.35 \\ 0 & \text{pour } x \geq 0.35 \end{cases} \quad (29)$$

$$f(x)_{P.S.I} = \begin{cases} 0 & \text{pour } x < 0.15 \\ \frac{x-0.15}{0.2} & \text{pour } 0.15 \leq x < 0.35 \\ 1 & \text{pour } 0.35 \leq x < 0.65 \\ \frac{0.85-x}{0.2} & \text{pour } 0.65 \leq x \leq 0.85 \\ 0 & \text{pour } x \geq 0.85 \end{cases} \quad (30)$$

$$f(x)_{P.R} = \begin{cases} 0 & \text{pour } x < 0.65 \\ \frac{x-0.65}{0.2} & \text{pour } 0.65 \leq x < 0.85 \\ 1 & \text{pour } 0.85 \leq x < 1 \end{cases} \quad (31)$$

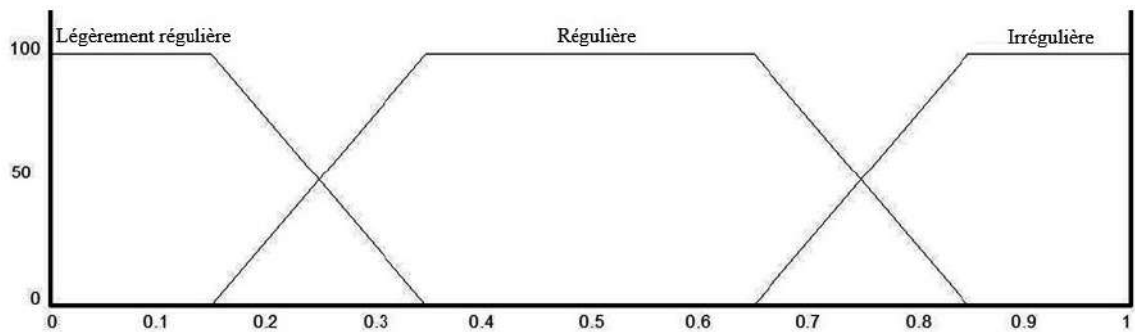


Figure 35: Les fonctions d'appartenance qui sont associées à la régularité en élévation

Donc :

$$f(x)_{E.I} = \begin{cases} 0 & \text{pour } x < 0.65 \\ \frac{x-0.65}{0.2} & \text{pour } 0.65 \leq x < 0.85 \\ 1 & \text{pour } 0.85 \leq x < 1 \end{cases} \quad (32)$$

$$f(x)_{I.S.I} = \begin{cases} 1 & \text{pour } 0 \leq x < 0.15 \\ \frac{0.35-x}{0.2} & \text{pour } 0.15 \leq x \leq 0.35 \\ 0 & \text{pour } x \geq 0.35 \end{cases} \quad (33)$$

$$f(x)_{E.R} = \begin{cases} 0 & \text{pour } x < 0.15 \\ \frac{x-0.15}{0.2} & \text{pour } 0.15 \leq x < 0.35 \\ 1 & \text{pour } 0.35 \leq x < 0.65 \\ \frac{0.85-x}{0.2} & \text{pour } 0.65 \leq x \leq 0.85 \\ 0 & \text{pour } x \geq 0.85 \end{cases} \quad (34)$$

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

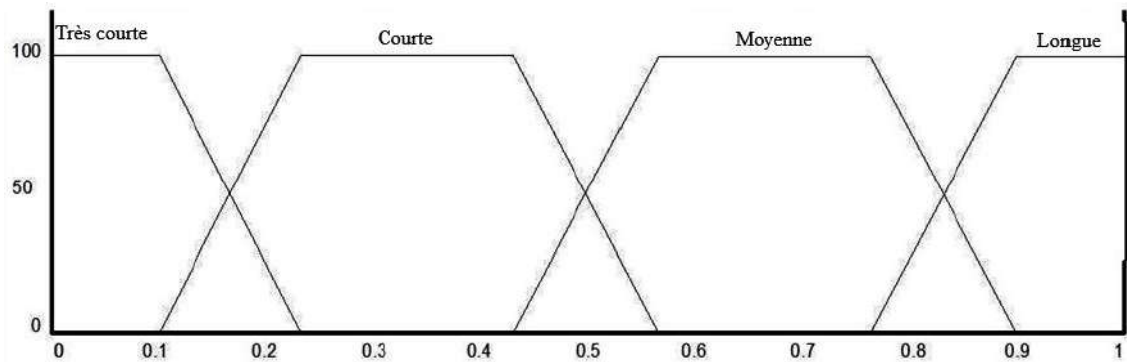


Figure 36: Les fonctions d'appartenances qui sont associées à la période fondamentale de la structure

Donc :

$$f(x)_{Pe.V.S} = \begin{cases} 1 & \text{pour } 0 \leq x < 0.12 \\ \frac{0.22-x}{0.1} & \text{pour } 0.12 \leq x \leq 0.22 \\ 0 & \text{pour } x \geq 0.22 \end{cases} \quad (35)$$

$$f(x)_{Pe.S} = \begin{cases} 0 & \text{pour } x < 0.1 \\ \frac{x-0.1}{0.12} & \text{pour } 0.1 \leq x < 0.22 \\ 1 & \text{pour } 0.22 \leq x < 0.42 \\ \frac{0.57-x}{0.15} & \text{pour } 0.42 \leq x \leq 0.57 \\ 0 & \text{pour } x \geq 0.57 \end{cases} \quad (36)$$

$$f(x)_{Pe.M} = \begin{cases} 0 & \text{pour } x < 0.42 \\ \frac{x-0.42}{0.15} & \text{pour } 0.42 \leq x < 0.57 \\ 1 & \text{pour } 0.57 \leq x < 0.77 \\ \frac{0.9-x}{0.13} & \text{pour } 0.77 \leq x \leq 0.9 \\ 0 & \text{pour } x \geq 0.9 \end{cases} \quad (37)$$

$$f(x)_{Pe.L} = \begin{cases} 0 & \text{pour } x < 0.77 \\ \frac{x-0.77}{0.13} & \text{pour } 0.77 \leq x < 0.9 \\ 1 & \text{pour } 0.9 \leq x < 1 \end{cases} \quad (38)$$

4.4.4 Les opérations sur les ensembles flous

Soit A et B deux ensembles dans l'univers X. L'union entre les deux ensembles A et B, dénoté AUB, représente tous les éléments dans l'univers X qui appartiennent à

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

l'ensemble A ou à l'ensemble B, ou les deux ensembles A et B en même temps (figure 37).

$$A \cup B = \{x | x \in A \text{ ou } x \in B\} \quad (39)$$

$$\text{Donc : } \mu_{A \cup B}(x) = 1 \text{ si } x \in A \text{ ou } x \in B \quad (40)$$

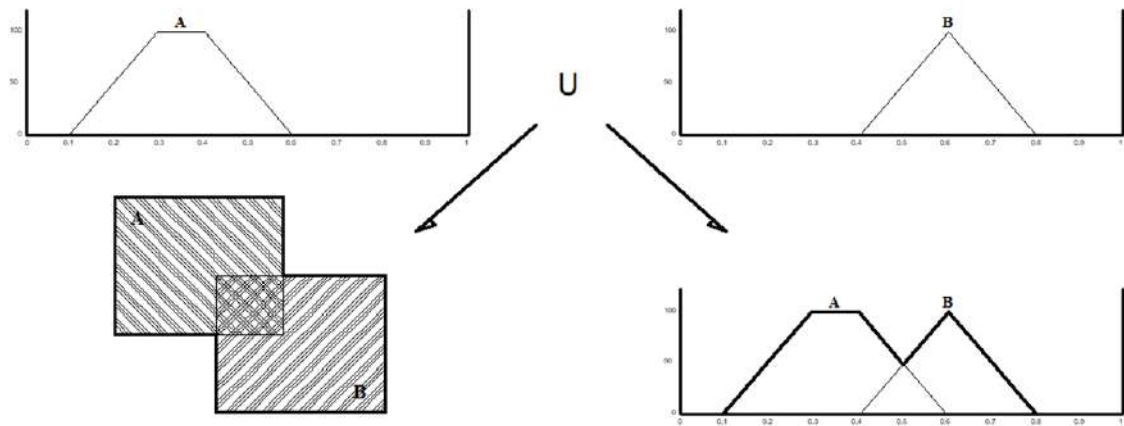


Figure 37 : représentation de l'union de l'ensemble A et B

Les opérations sur les ensembles flous suggérées par Lotfi Zadeh (1965), l'initiateur de la logique floue, coïncident avec les opérations classiques de la logique booléenne comme l'unification, l'intersection, la différence et l'opérateur de négation. Concernant l'unification, l'union de deux ensembles A et B, selon la théorie des ensembles flous, est définie par l'opérateur maximum dénoté par le symbole \vee . Il est donné par la formule suivante :

$$A \cup B \rightarrow \mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (41)$$

L'intersection des deux ensembles, dénotée $A \cap B$, représente tous les éléments dans l'univers X qui appartiennent simultanément à l'ensemble A et B.

$$A \cap B = \{x | x \in A \text{ et } x \in B\} \quad (42)$$

$$\text{Donc : } \mu_{A \cap B}(x) = 1 \text{ si } x \in A \text{ et } x \in B \quad (43)$$

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

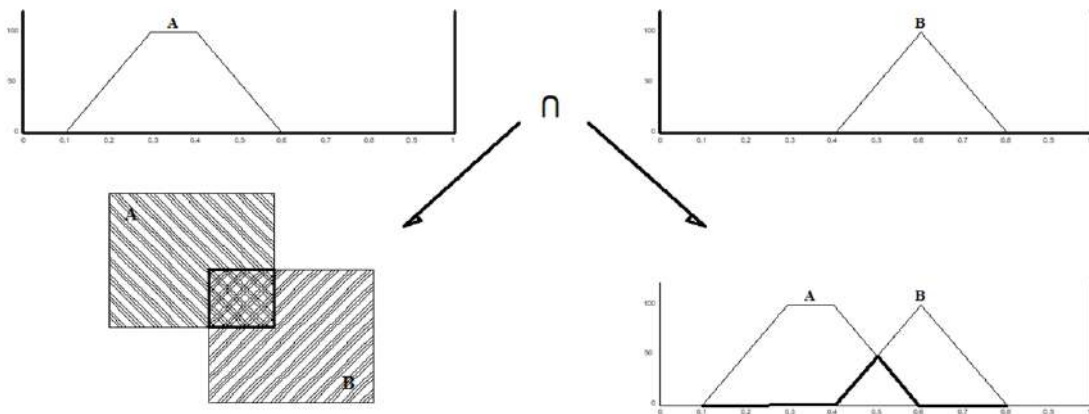


Figure 38 : Représentation de l'intersection de l'ensemble A et B

L'intersection de deux ensembles A et B selon la théorie des ensembles flous est définie par l'opérateur minimum dénoté par le symbole \wedge . Elle est donnée par la formule suivante :

$$A \cap B \rightarrow \mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (44)$$

Le complément d'un ensemble A, dénoté \bar{A} , est défini comme l'ensemble de tous les éléments dans l'univers X qui n'appartiennent pas à l'ensemble A.

$$\bar{A} = \{x | x \notin A, x \in X\} \quad (45)$$

$$\text{Donc : } \mu_{\bar{A}}(x) = 1 \text{ si } x \notin A \quad (46)$$

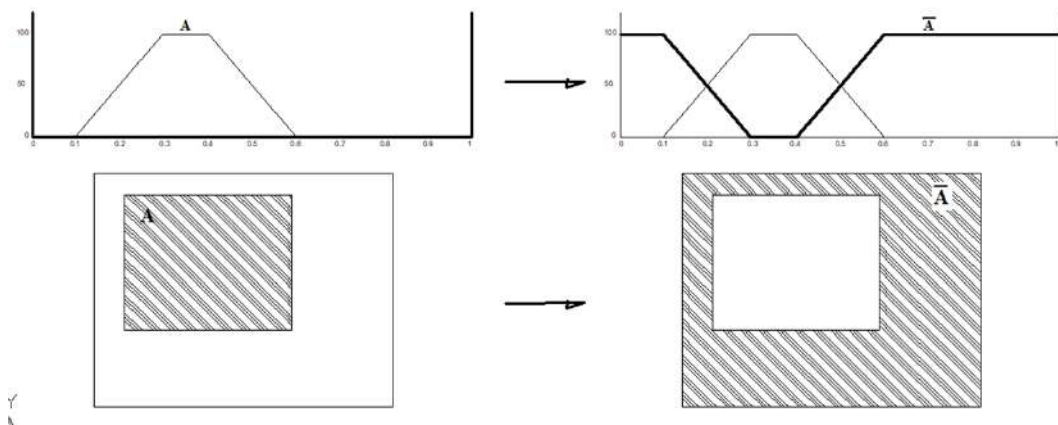


Figure 39 : Le complément de A

Selon la théorie des ensembles flous, le complément d'un ensemble A sur l'univers X est donné comme suit :

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

$$\bar{A} \rightarrow \mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (47)$$

La différence d'un ensemble A par rapport l'ensemble B, dénotée A|B, est définie comme la collection de tous les éléments dans l'univers X qui appartiennent à l'ensemble A et n'appartiennent pas à l'ensemble B simultanément.

$$A|B = \{x|x \in A \text{ et } x \notin B\} \quad (48)$$

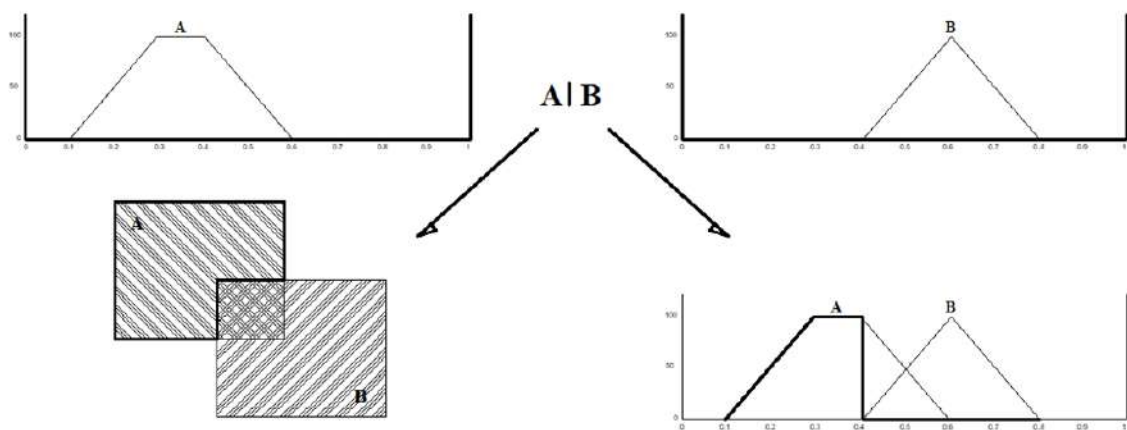


Figure 40 : La différence d'un ensemble A par rapport l'ensemble B

4.4.5 Les règles floues

La formulation linguistique du savoir expert est la méthode utilisée dans la logique floue. C'est une forme déductive qui consiste à exprimer l'agrégation des éléments décrétés par des ensembles flous en utilisant les variables linguistiques (Zemmouri, 2005). La connaissance experte pour ces variables peut être formulée comme règles floues par une expression de langage naturel du type (*if-then*) (Mamdani, 1997). Elle exprime typiquement une inférence tels que *SI (IF)* nous savons les propriétés de l'état de l'entrée (prémisse(s), hypothèse(s), antécédente(s)), *ALORS (THEN)* nous pouvons impliquer, ou dériver, un autre fait appelé une conséquence, sortie ou (conclusion) (formule 49). Cette forme d'inférence est étroitement appropriée avec le raisonnement humain parce qu'elle exprime des connaissances empiriques et heuristiques dans notre propre langue de communication (Zemmouri and Schiller, 2005; Timothy, 2010; Ebrahimi and Shojaezand, 2016; Moghtadai, Gholipour-Kanani and Rezaeian, 2016).

$$\begin{array}{l} \text{If (input(s))} \quad \rightarrow \quad \text{then (output(s))} \\ \text{(si) Prémisse} \quad \rightarrow \quad \text{(alors) Conséquence} \end{array} \quad (49)$$

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

Le cœur d'un système flou est une base des règles expertes. Cette dernière définit quelques règles pour formuler les conditions de l'état d'entrées et les sorties de sorte que l'indice de vulnérabilité sismique puisse être évalué en utilisant ces règles et critères. Par exemple, une règle peut être énoncée comme suit :

Si (l'assiette du projet (site) est Rocheux et le plan est régulier et la forme en élévation est régulière et la période fondamentale du projet est longue) Alors (l'indice de vulnérabilité sismique du projet est bas).

Tableau 7 La forme canonique des règles d'un système d'inférence flou

Règles	Conditions initiales	Conclusion
R₁ :	Si condition C ₁	Alors conclusion R ₁
R₂ :	Si condition C ₂	Alors conclusion R ₂
R₃ :	Si condition C ₂ Et condition C ₃	Alors conclusion R ₃
R₄ :	Si condition C ₂ Et condition C ₃ Et condition C ₄	Alors conclusion R ₄
R₅ :	Si condition C ₄ Et condition C ₅ Ou condition C ₁	Alors conclusion R ₅
...	Si....	Alors.....
R_n :	Si condition(s) C _n	Alors conclusion R _n

Le nombre total des règles égale toutes les permutations possibles des entrées de système classées par catégories. Ici, il y a quatre ensembles liés à la situation de projet et à la période fondamentale de la structure. Et trois ensembles associés à la régularité en plan et à la régularité en élévation. Le nombre total des règles qui définissent la couche cachée des règles est donc égale à :

$$4 \times 3 \times 3 \times 4 = 144 \text{ règles.} \quad (50)$$

Après une certaine simplification, ce nombre est réduit à 65 règles.

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

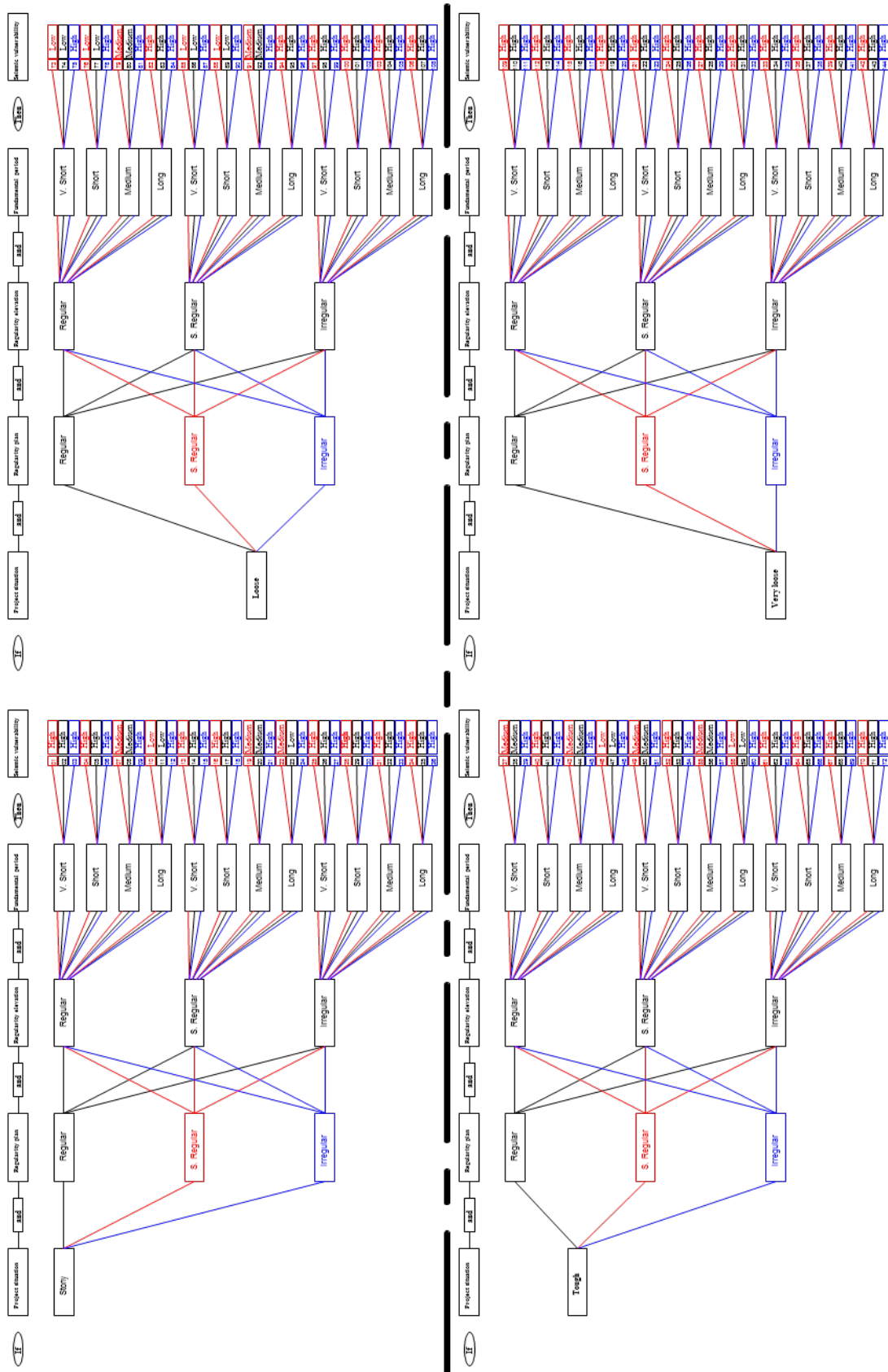


Figure 41: les 144 règles de notre système flou

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

Il est très remarquable de constater comment le nombre de règles augmente rapidement avec les ensembles flous des entrées de chaque système (figure 41). La force d'une règle réside dans l'exactitude de la valeur de son antécédent, autrement dit, l'exactitude de la partie "Si", ce qui est simplement le degré d'appartenance de chaque système d'entrée dans l'ensemble(s) flou correspondant (Zemmouri, 2005).

4.4.6 Agrégation des règles floues

La plupart des systèmes à base des règles sont basés sur plus d'une règle (Timothy, 2010). Le processus d'obtenir une sortie (conclusion) par la combinaison des différentes conséquences offertes par chaque règle floue dans la base des règles est appelé « agrégation des règles ». Essentiellement, l'agrégation prend tous les ensembles flous qui représentent la sortie (output) pour chaque règle et les combine en un seul ensemble flou qui est utilisé comme entrée au processus de Défuzzification. La conclusion (sortie) d'un processus d'agrégation est aussi un ensemble flou qui représente la variable de sortie (Zemmouri, 2005). D'après Timothy (2010), deux stratégies d'agrégation principale existent, à savoir :

4.4.6.1 Système d'agrégation conjonctive

Dans ce cas, les règles sont reliées par la liaison linguistique "Et", qui est traduite par l'intersection floue de toutes les différentes conséquences de règles. Si nous avons n règles (tableau présenté juste avant) avec n ensembles flous comme sortie $\mu_R^1(x)$, $\mu_R^2(x)$, $\mu_R^3(x)$, ... $\mu_R^n(x)$, la combinaison de ces ensembles nous donne la conclusion (sortie) du processus d'agrégation :

$$R_f = R_1 \text{ et } R_2 \text{ et } R_3 \text{ et } \dots R_n \quad (51)$$

$$\text{Ou bien : } R_f \rightarrow R_1 \cap R_2 \cap R_3 \cap \dots R_n \quad (52)$$

$$\text{Donc : } \mu_R(x) = \min(\mu_R^1(x), \mu_R^2(x), \mu_R^3(x), \dots \mu_R^n(x)) \quad (53)$$

4.4.6.2 Système d'agrégation disjonctive

Selon cette stratégie, le système doit satisfaire au moins une règle floue. La combinaison des règles est faite par la liaison « Ou ». Donc, la sortie agrégée est trouvée par l'union floue de toutes les différentes règles du système d'inférence flou :

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

$$R_f = R_1 \text{ ou } R_2 \text{ ou } R_3 \text{ ou } \dots R_n \quad (54)$$

$$\text{Ou bien : } R_f \rightarrow R_1 \cup R_2 \cup R_3 \cup \dots R_n \quad (55)$$

$$\text{Donc : } \mu_R(x) = \max(\mu_R^1(x), \mu_R^2(x), \mu_R^3(x), \dots \mu_R^n(x)) \quad (56)$$

Afin d'obtenir une valeur précise de la sortie R, nous avons besoin d'inverser le travail de transformation logique par un processus de Défuzzification. Maintenant, l'entrée au processus de Défuzzification est un ensemble flou (l'ensemble flou global $\mu_R(x)$), et la conclusion du processus de Défuzzification est un chiffre précis. Dans la littérature, plusieurs techniques de Défuzzification ont été proposées (Kaufmann and Gupta, 1985; Cox, 1994; Mamdani, 1997) . La méthode la plus utilisée est celle du centre de surface (figure 42), elle donne le point de balance des conclusions (outputs) définie par l'ensemble flou global du processus d'agrégation.

Selon cette méthode, on détermine le centre de la gravité de la région B et utiliser la résultante comme une sortie (output) du système d'inférence floue. Pour un ensemble flou continu, le centre de gravité est obtenu par la formule suivante :

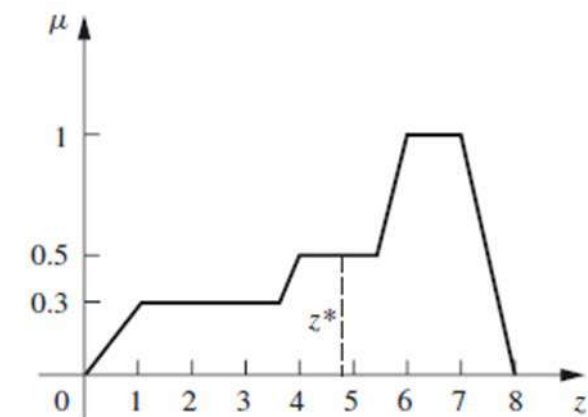


Figure 42 : la méthode de centre de surface sous la courbe de la fonction d'appartenance

$$R_{final} = \frac{\sum_{i=1}^n x \mu_{R_i}(x)}{\sum_{i=1}^n \mu_{R_i}(x)} \quad (57)$$

Le système de sorties (outputs) du modèle d'évaluation de la vulnérabilité proposé est également définis par des fonctions d'appartenance semblables aux entrées (inputs). L'estimation de l'indice de vulnérabilité sismique du projet (I_v) est donc le résultat des deux dernières phases du système, à savoir, le processus d'implication des règles et la défuzzification de l'ensemble flou de la sortie de l'implication. Dans notre cas, nous avons utilisé la méthode de calcul de Mamdani, qui renvoie au centre de gravité sous la

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

courbe de la fonction d'appartenance. Les ensembles flous de la sortie de notre modèle(I_v) sont montrés dans la figure 43.

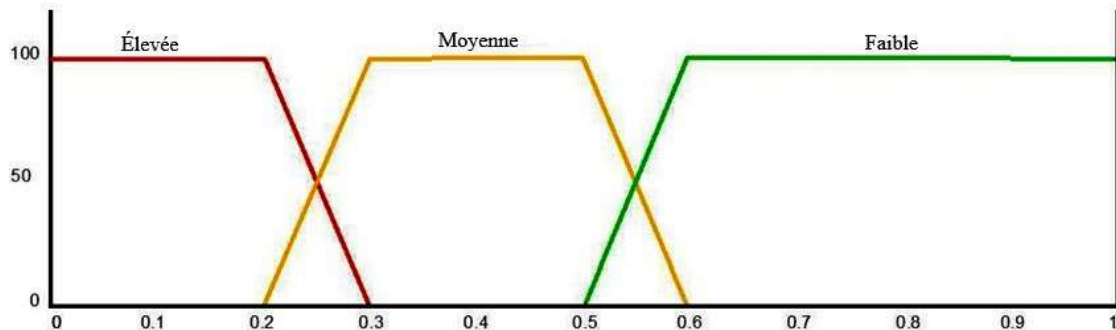


Figure 43: les fonctions d'appartenance de sortie (Output) qui sont associées à la vulnérabilité sismique de projet.

4.5 Synthèse du chapitre

Les récentes catastrophes qu'a enregistrées le pays ont mis à jour la forte vulnérabilité de cette région, accentuée par les pratiques architecturales et urbanistiques qui considèrent encore que la sécurité face au risque sismique, dans le domaine du bâtiment est uniquement une question d'ingénierie. Alors que, le projet architectural est en fait, l'aboutissement d'un long et complexe processus de planification de nature pluridisciplinaire où l'architecte trouve pleinement sa place.

Durant son acte de concevoir, l'architecte est confronté à des situations de conception auxquelles il doit apporter des solutions, les meilleurs possibles. Pour ce faire, il doit avoir le maximum d'informations sur le problème rencontré, et puiser, surtout, dans son expérience, savoir et savoir-faire. Plusieurs approches ont été proposées pour implémenter cet état de fait dans une machine et permettre à celui-ci de trouver des solutions à des problèmes, en lui fournissant les connaissances nécessaires, afin de permettre à celle-ci, de trouver des solutions adéquates.

Parmi les approches impliquant l'intelligence artificielle, le raisonnement à base de cas flou (RBCF) semble, le plus proche du raisonnement humain dans la vie courante en général et l'acte de conception architecturale en particulier. La forme classique adoptée par l'architecte est décrite par Kacher (2005) : « *De manière courante, lorsqu'un concepteur recherche des idées pour concevoir un projet, il va familièrement puiser son inspiration dans différentes sortes de banques d'images existantes représentant des*

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

références constructives et architecturales (revues d'architecture, livres, images de voyage, ...). Cela est principalement dû au fait que ces images de bâtiments réalisés constituent pour un concepteur ayant un problème similaire à résoudre une solution potentiellement satisfaisante et directement utilisable pour son projet [...] ».

En effet, il peut être utilisé pour aider l'architecte, car il a peu de connaissances et d'informations sur les problèmes de génie parasismique à résoudre et pour lequel une solution optimale est a priori inconnue.

D'après notre investigation et les nombreuses études faites sur le processus de conception architecturale, nous concluons que les architectes font toujours appel aux références imagées pour avancer et alimenter leurs activités de conception. Donc, le besoin des règles expertes parasismiques, savoir-faire parasismique ou une pré-structuration de la conception grâce à une mémoire architecturale qui rassemble, sélectionne et classe les solutions déjà développées et examinées proches du problème rencontré et prises comme références s'avère originale et très intéressante. Elles peuvent offrir à l'architecte les bases conceptuelles au projet à même de garantir une intégration du concept de sécurité parasismique dès les phases précoces de la conception.

Le recours aux références imagées dans la conception architecturale, notamment la conception parasismique, peut avoir plusieurs intérêts. L'information transmise par l'image est plus facile à comprendre que celle transmise par le texte. Ceci résulte probablement du fait que l'image nécessite moins d'interprétations que le texte. L'image présente aussi des informations qui peuvent être directement intégrées dans le corpus des idées, des contraintes ou encore des solutions d'un projet.

Cependant, l'implémentation d'un système de RBC intégral pour assister la conception architecturale parasismique nécessite la résolution de trois exigences majeures, chaque exigence présente tout seul, un axe de travail plein de pistes de recherche, à savoir :

1. La représentation des cas dans la base de références ;
2. La recherche des cas similaires à partir la base de références ;
3. Et la création de la fonction d'adaptation et d'apprentissage.

Chapitre IV : La combinaison de la logique floue (LF) avec le (RBC) pour développer un 'SIF' d'évaluation de l'indice 'I_v' durant la phase d'esquisse

Pour cette raison, et vues les difficultés qui nous ont entravé d'avoir réuni et acquis tous les moyens scientifiques nécessaires, nous avons bien focalisé dans la présente contribution de résoudre une première exigence de la deuxième phase d'un système de RBC qui est l'identification des caractéristiques de la situation de problème.

Dans notre cas, les entrées employées pour implémenter notre SIF proposé sont les valeurs de démarrage liées à la configuration géométrique préliminaire du bâtiment qui influencent la réponse sismique du projet, tel que l'endroit de projet, la régularité en plan, la régularité en élévation et la période fondamentale. Ces entrées sont aisément disponibles, et leurs valeurs sont typiquement considérées quand un architecte développe son plan durant les phases de conception architecturale précoce. Il est clair que d'autres attributs cruciaux puissent être considérés par le concepteur pendant la conception architecturale parasismique du projet. Les toits, le pourcentage d'ouvertures, les détails architecturaux, éléments non-structuraux, et même l'environnement bâti adjacent sont décisifs dans l'étude de la réponse sismique des bâtiments. Cependant, le but dans le cadre de notre travail est de démontrer l'efficacité de la méthode proposée dans un cas général.

L'originalité de ce travail consiste à appliquer un modèle d'évaluation de vulnérabilité sismique dès la phase précoce du projet architectural. Elle donne aux concepteurs et aux différents intervenants, une estimation fragmentée permettant à la fois de clarifier les différentes situations d'analyse et du développement du projet, mais aussi, de stimuler la compréhension des concepts architecturaux vis-à-vis de l'aléa sismique. De plus, il donne une illustration concrète aux acteurs afin de cerner, au mieux, les relations formelles entre les différents attributs influant sur la réponse sismique de la structure.

Chapitre V

Evaluation de la performance de

SeVA-Tool

Chapitre 05 Évaluation de la performance de SeVA-Tool

5.1 Introduction

D'après ce qui précède, une bonne démarche de conception parasismique exige une prise en compte des exigences parasismique dès les phases précoces du processus de conception. L'expérience prouve que cette approche est possible par l'assurance d'une collaboration étroite entre l'architecte et l'ingénieur et un travail d'une manière commune dès les premiers traits de l'élaboration d'un projet architectural parasismique. Cette associativité permet un genre de réconciliation entre l'aspect architectural et la conception technique de l'architecture parasismique. Or, l'adoption d'une telle méthode est le résultat de l'interaction de plusieurs facteurs extrêmement complexes comme : la réglementation en vigueur, la situation économique, le savoir-faire technique, les aptitudes, les compétences de communication et même le comportement des acteurs impliqués dans l'acte de concevoir.

En plus de ça, la majorité des architectes n'utilisent aucun dispositif et/ou outil d'aide pendant la conception d'un projet parasismique. C'est principalement dû à l'inadéquation de ces outils aux professionnels impliqués dans le processus de conception, particulièrement les architectes. De ce fait, le besoin d'une méthodologie d'assistance accessible aux architectes et des règles expertes de la conception parasismique s'avère essentiel. Elles peuvent offrir à l'architecte les bases conceptuelles de son projet, et garantir une intégration des concepts parasismique au concept de sécurité durant les phases préliminaires du processus de conception architecturale.

Dans la présente proposition, une approche basée sur l'interprétation des données du projet conçu au sujet parasismique de telle sorte qu'elles soient compréhensibles et faciles à interpréter architecturalement par l'architecte. Pour ce faire, nous proposons un système de communication qui fait appel à des cas similaires à la situation proposée pour assister l'architecte depuis les phases précoces de la conception. La méthode adoptée est basée sur un langage d'analogie adapté avec le raisonnement et les besoins de l'architecte durant les phases de conception.

La démarche adoptée consiste à appliquer un modèle d'assistance et d'évaluation de vulnérabilité sismique d'une manière, à la fois, fragmentée et continue dès la phase précoce du projet architectural. Elle donne au concepteur et aux différents intervenants, des estimations contextuelles de la vulnérabilité permettant de clarifier les différentes situations d'analyse et du développement du projet, mais aussi, de stimuler la compréhension des concepts architecturaux vis-à-vis de l'aléa sismique. De plus, il donne une illustration concrète aux acteurs afin de cerner au mieux, les relations formelles entre les différents attributs influant sur la réponse sismique de la structure. Pour cela, nous avons opté pour les logiciels de programmation numérique très puissants et reconnus à l'échelle internationale, à l'instar de(Math Works, 2009; Octave, 2018; LabVIEW, 2018) pour le développement du SIF et la conception de l'interface graphique de notre modèle proposé nommé Fuzzy SeVA-Tool (*Fuzzy Seismic Vulnerability Assessment Tool*).

5.2 L'architecture du système proposé

Il est nécessaire que l'intégration des préoccupations parasismiques par le maître d'œuvre dans la conception du projet devienne un réflexe, de façon à en réduire et en contrôler les surcoûts probables. Ce réflexe, de "construire parasismique", ne peut résulter que d'une collaboration permanente entre les différents acteurs durant l'élaboration du projet. L'architecte, l'ingénieur, le réalisateur et même les utilisateurs sont donc responsables directement sur la qualité parasismique du projet, car une application stricte des règles et normes parasismiques lors de la conception d'un projet architectural ne peut se faire d'une manière efficace sans une collaboration étroite entre l'architecte et l'ingénieur civil dès le début, suivi par une bonne exécution des travaux qui permettent aux bâtiments de résister de façon satisfaisante aux séismes de faible à moyenne intensité.

Avec la pluridisciplinarité et la complexité de la conception architecturale parasismique, on atteint le point où l'avancement dans cette activité dépasse la capacité d'un seul acteur, et ceci en grande partie à cause de certaines fonctions secondaires à caractère non créatif. Heureusement, ces fonctions sont de nature quantitative et peuvent être confiées à des outils d'aide et libérer le concepteur pour les tâches qualitatives qui sont du niveau de ses aptitudes et de sa formation (Elandaloussi, 2013). Beaucoup d'outils informatiques d'aide à la conception des bâtiments, qui n'étaient auparavant disponibles que pour des opérations de grande envergure, sont apparus comme des applications pour des micro-ordinateurs à partir des années 80. Les outils de simulation de comportement des bâtiments (mécanique, thermique, lumineux, ventilation, etc..) disponibles actuellement (SAP 2000, Robot structural analysis...etc.) font généralement partie du troisième groupe (codes spécialisés), et ne sont pas employés couramment dans la pratique architecturale. Ceci est principalement dû à l'inadéquation de ces outils aux professionnels impliqués dans le processus de conception, principalement les architectes.

En grande majorité, les architectes n'emploient pas d'outil pour la conception des structures. Cette absence peut s'expliquer à divers niveaux comme le décalage par rapport à leur besoin, le manque de formation sur ces outils, la faible maîtrise des notions impliquées, la grande complexité apparente. Durant les phases précoces de conception, les architectes n'en attendent pas une validation, mais un outil qui les soutiendrait et leur offrirait la possibilité de nourrir leur projet. Les outils informatiques existants possèdent un caractère extrêmement spécialisé, en exigeant des connaissances approfondies des phénomènes physiques et mécaniques impliqués, outre des interfaces complexes peu conviviales par rapport à la formation de l'architecte et même de l'ingénieur non-chercheur.

Pour cette raison, le système d'inférence flou proposé tend de concilier l'objectivité et la subjectivité de la conception par la transformation des règles parasismiques de sa forme binaire, à une forme linguistique et graphique adaptée avec les différents acteurs impliqués dans la phase d'esquisse. La connaissance proposée comprend à la fois, des formules pour les acteurs spécialisés, ainsi que des textes et des images pour les intervenants non spécialisés et les moins initiés au sujet de la conception parasismique. L'organigramme général du SIF proposé pour la phase d'esquisse est présenté dans la figure suivante.

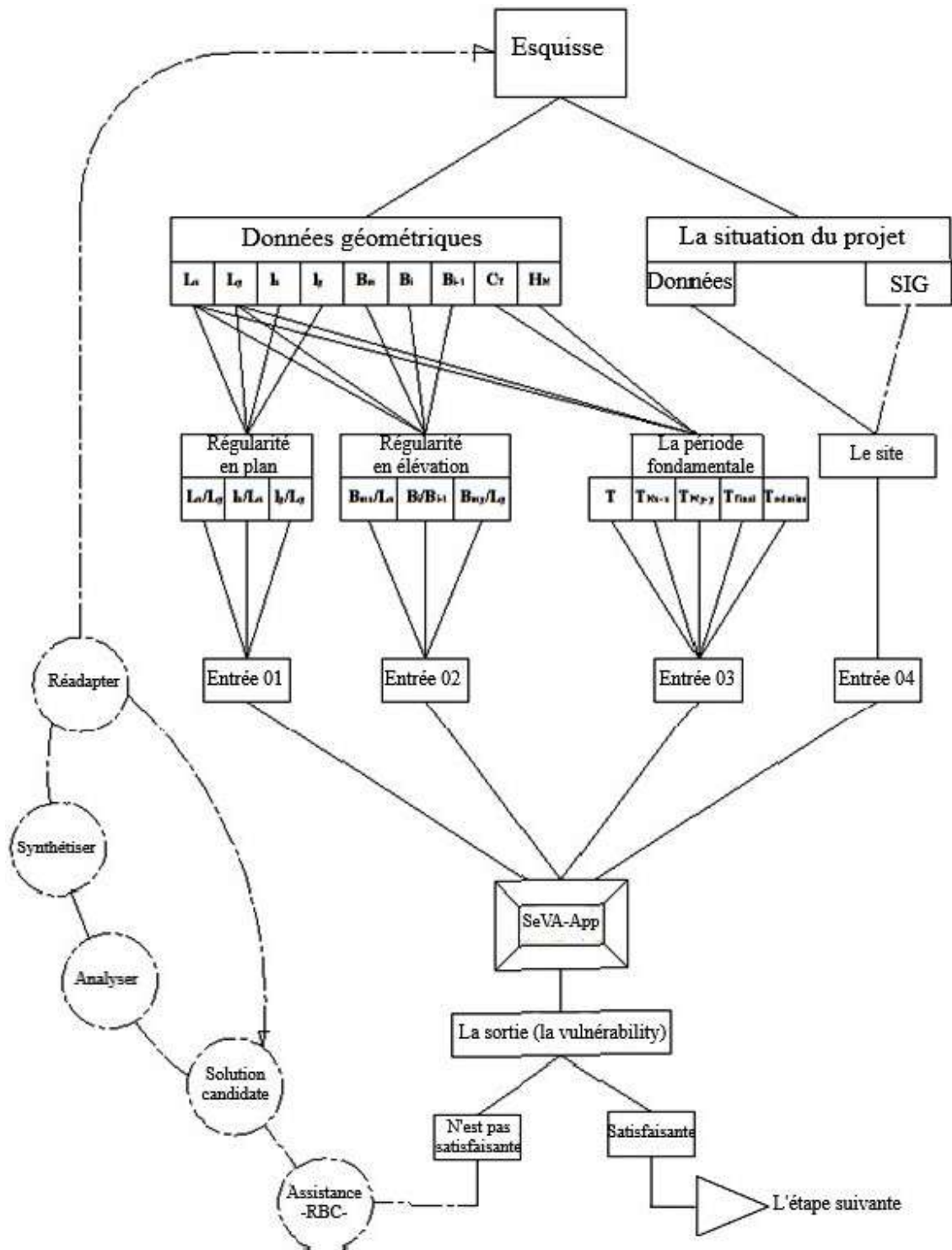


Figure 44 : Le diagramme du système Fuzzy SeVA-tool proposé

Le système soutient l'architecte durant les différents nœuds du processus comme il est utilisable pour aider l'architecte au choix de l'opération, actions ou stratégies de conception à suivre. Par une interface graphique simple, le modèle conçu ne demande au début que des entrées élémentaires compréhensibles par tous les acteurs impliqués. Ces entrées sont aisément disponibles, et leurs valeurs sont typiquement considérées

quand un architecte développe son plan durant les phases de conception architecturale précoce. Dans notre cas, les entrées à employer sont les valeurs liées aux attributs géométriques influençant sur la réponse sismique du projet, tel que l'endroit de projet, la régularité en plan, la régularité en élévation et la période fondamentale calculée en fonction de la hauteur du projet étudié. D'autres attributs peuvent être considérés décisifs dans l'étude de la réponse sismique des bâtiments par le concepteur pendant la conception architecturale parasismique du projet¹². Cependant, le but ici est de démontrer la méthode proposée dans un cas général. Notre objectif principal dans cette recherche est de focaliser sur les phases très préliminaires du processus de conception architecturale. Le système conçu est composé en trois parties principales, les entrées, la couche cachée et les sorties (figure 45).

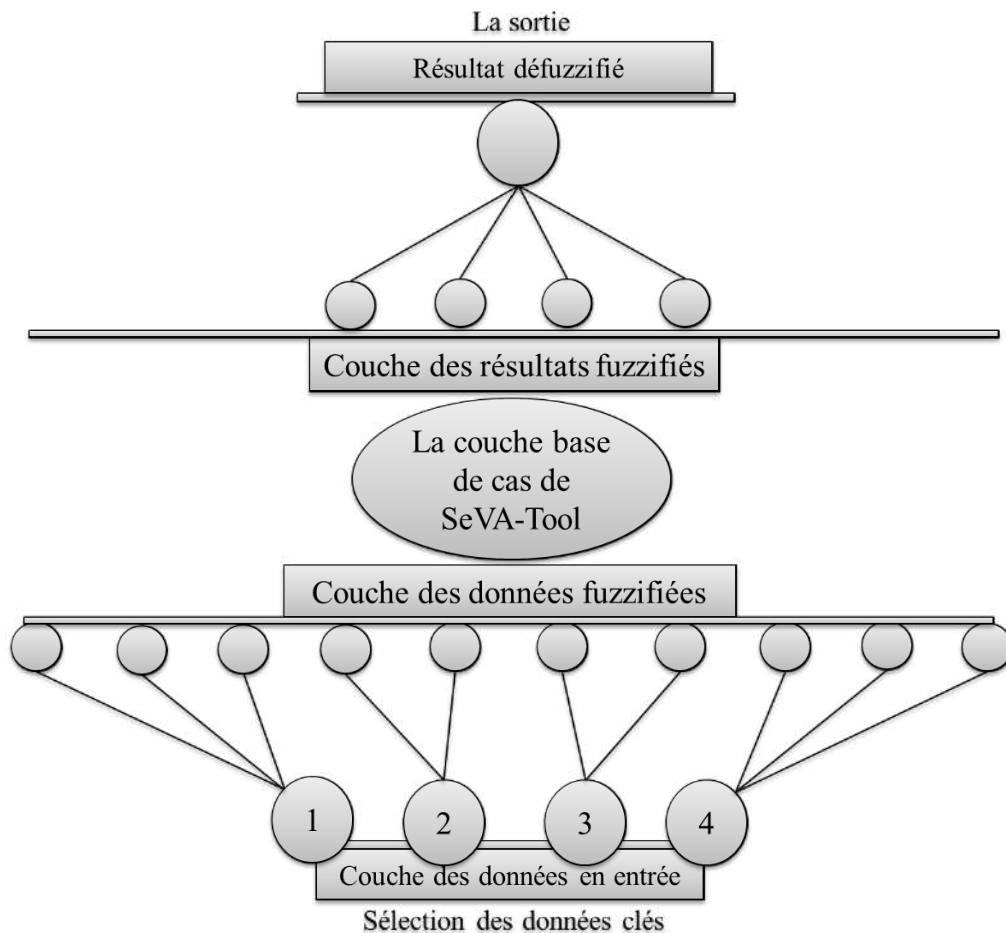


Figure 45 : L'architecture du système développé

¹² Comme les toits, le pourcentage d'ouvertures, les détails architecturaux, éléments non-structuraux, et même l'environnement bâti adjacent

Notre prototype permet en premier lieu la saisie des données de la forme du bâtiment esquissée. Une fois le cas défini, on passe à l'identification des cas similaires par le biais du résultat de Fuzzification, cette phase permettra d'affecter comme précisé dans le chapitre précédent un indice de vulnérabilité à chaque paramètre d'une part et d'autre part avec l'association de tous les paramètres considérés après l'implication et l'agrégation des règles. L'utilisateur peut profiter d'une aide guidée soit, par le paramètre introduit séparément (figures 46, 47, 48, 49) ou par rapport à l'indice de vulnérabilité global (figure 50). Le résultat obtenu est employé comme moyen d'investigation pour retrouver de nouvelles idées conceptuelles afin de résoudre les problèmes rencontrés en se basant sur les précédents similaires proposés. L'information proposée par le système prend trois formes, à savoir : la forme d'image pour les acteurs non spécialisé (l'Architecte en premier), ainsi que des formules et commentaire pour savoir plus sur le paramètre en question. Ces précédents pris comme références (surtout la partie image) permettent à l'architecte d'identifier les décisions et les dispositifs qui l'aideront pour prendre des choix conceptuels. En conséquence, les projets références doivent être employés pour déduire les décisions conceptuelles.

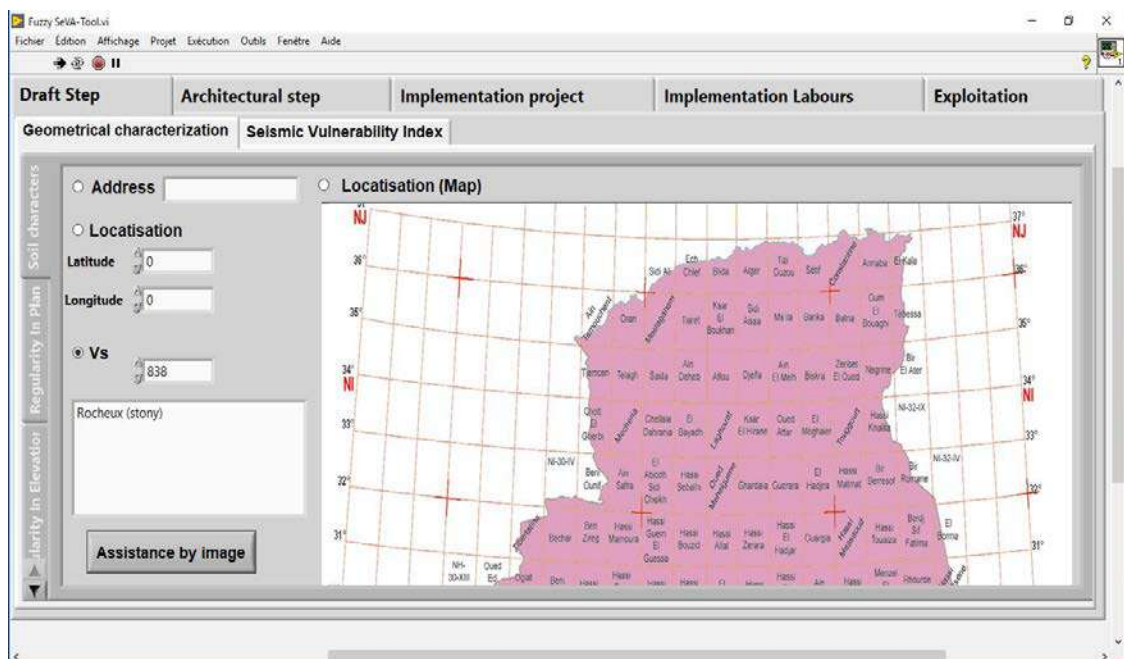


Figure 46 : Assistance par apport au site d'implantation (type du sol).

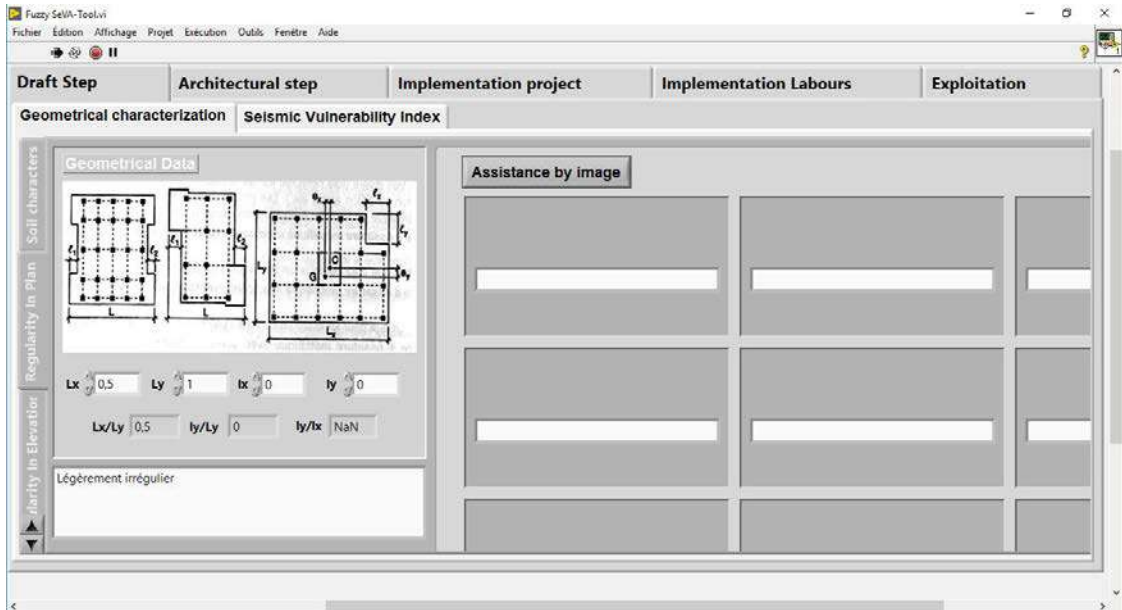


Figure 47 : Assistance par apport à la régularité du plan.

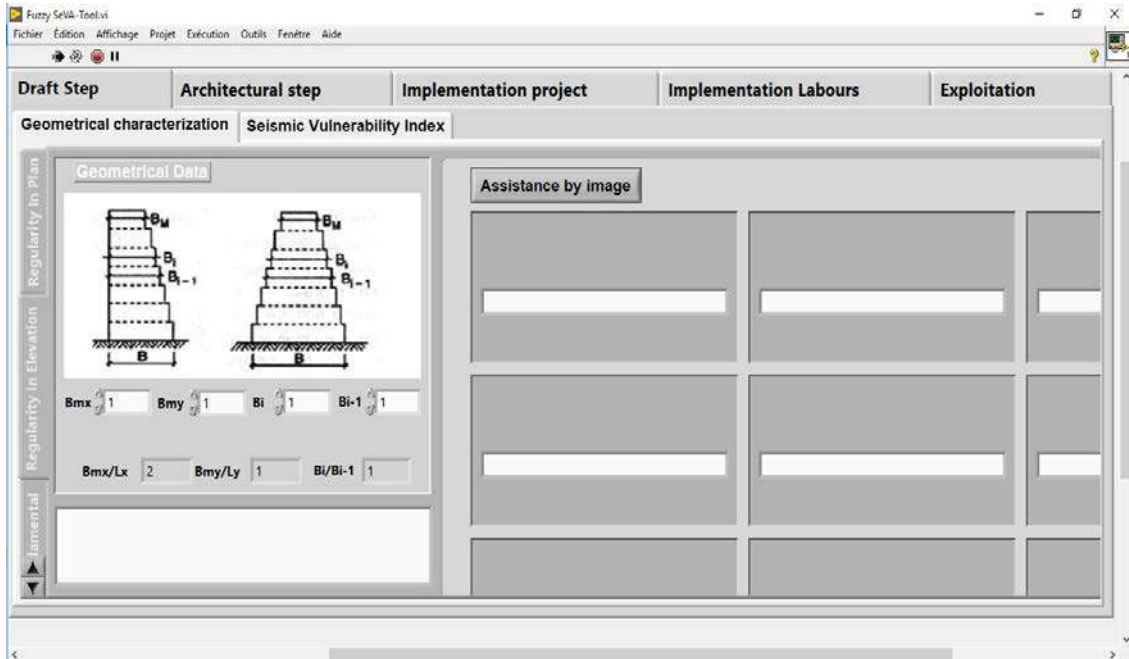


Figure 48 : Assistance par apport à la régularité en élévation.

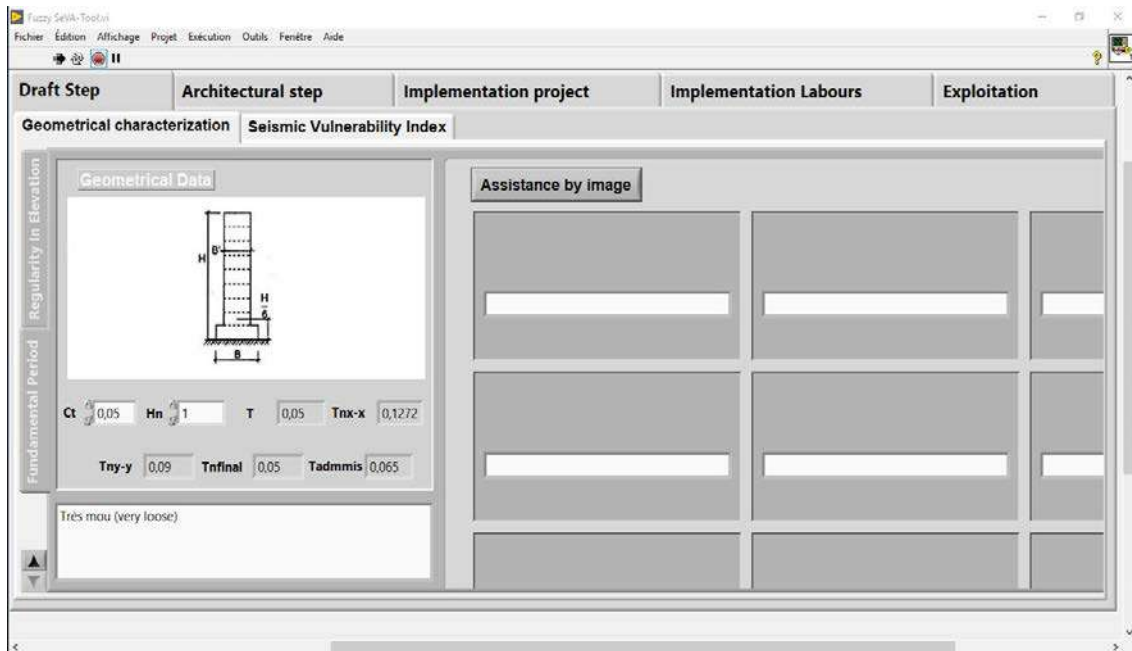


Figure 49 : Assistance par apport à la période fondamentale calculée.

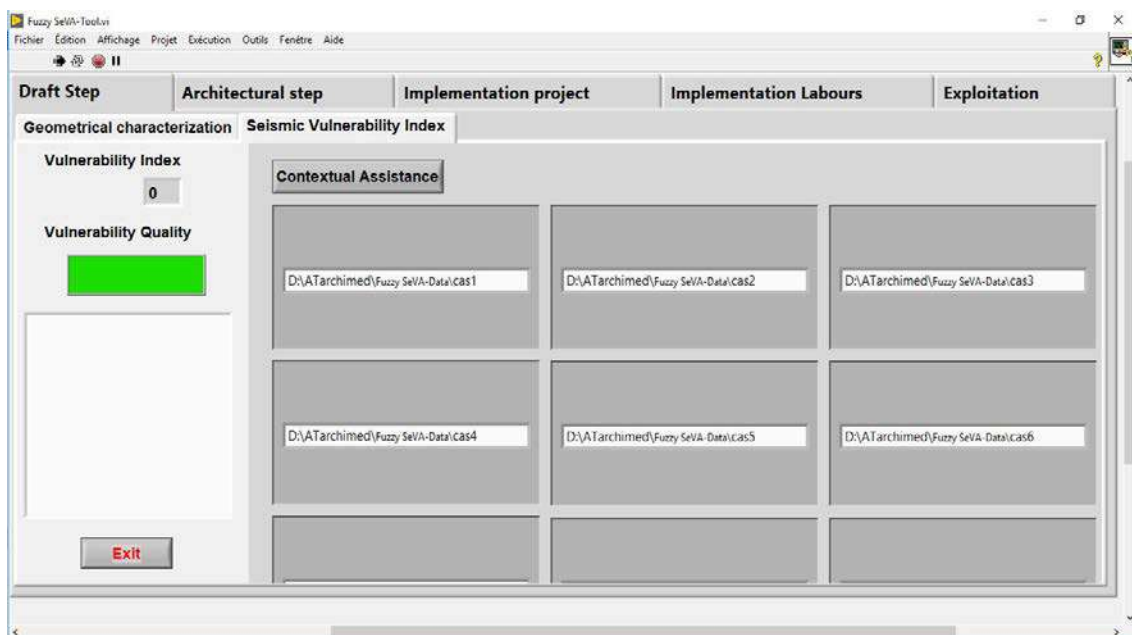


Figure 50 : Assistance par apport à l'indice de vulnérabilité global

La couche cachée du système comprend les différentes relations et interrelation entre les entrées de l'utilisateur et renvoie les résultats servant à chercher le soutien adéquat à la situation de départ. Il faut noter que dans le présent travail nous n'avons pas développé tous les sous-systèmes nécessaires pour le modèle de RBC proposé. Cette tâche, exige un travail énorme et diversifié en termes de domaines et même à la question de validation. L'implémentation d'un tel système nécessite la résolution de plusieurs

exigences majeures, chaque exigence présente toute seule, un axe de travail plein de pistes de recherche, à savoir :

1. Le développement des bases de données (un SIG comprend les propriétés du sol, base des cas (images et texte) servant comme référence) ;
2. Le développement d'un système d'indexation et de recherche d'information adéquat avec la représentation des cas dans la base de références ;
3. L'élargissement des entrées et l'élaboration des règles pour la recherche des cas similaires à partir de la base de références ;
4. Et la création de la fonction d'adaptation et d'apprentissage... etc.

Le diagramme du modèle de démonstration conçu (SeVA-Tool) est présenté dans la figure suivant :

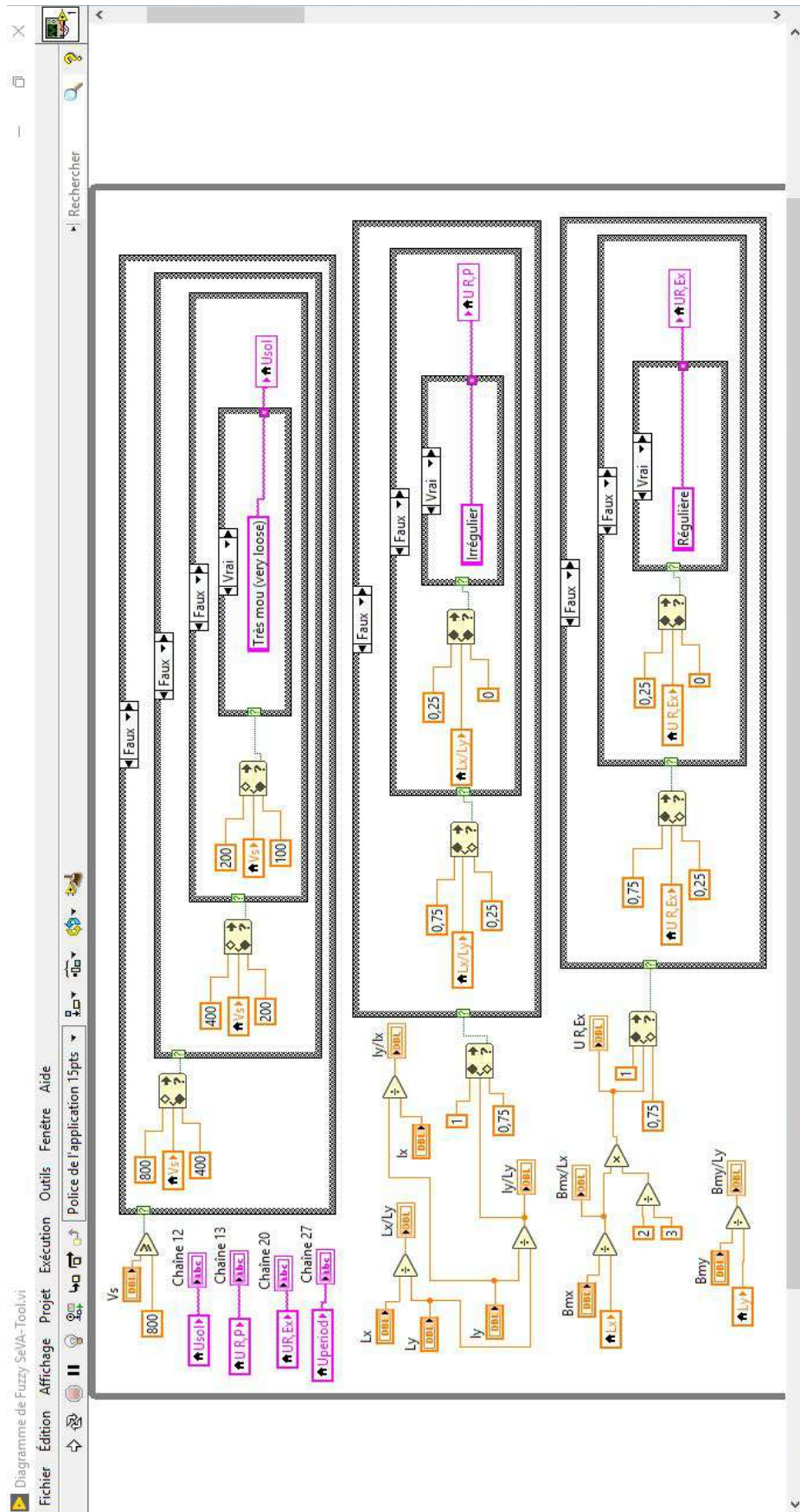


Figure 51 : Le diagramme du SeVA-Tool. (Partie -a-)

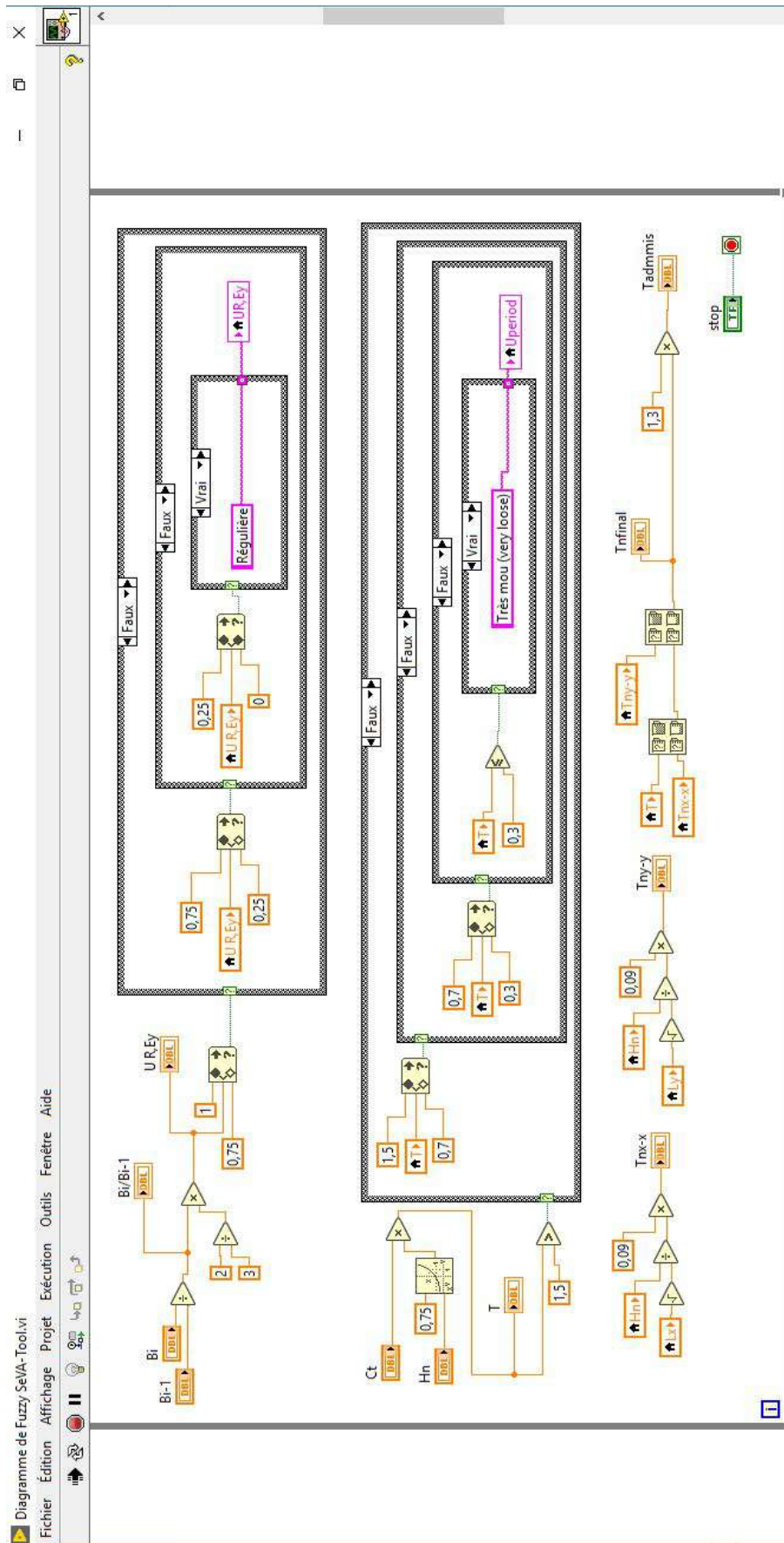


Figure 52 : Le diagramme du SeVA-Tool. (Partie -b-)

5.3 Validation scientifique du modèle

La validation scientifique du modèle caractérise la justification des hypothèses et du choix des paramètres sur lesquels le modèle s'appuie (facteurs de vulnérabilité considérés, la robustesse des règles floues, la correspondance du niveau de vulnérabilité et le soutien proposé... etc.). Il rend compte aussi de la validation de l'approche suggérée par des experts reconnus ou sur la base de résultats comparatifs avec le retour d'expérience sur un nombre significatif de bâtiments ou d'autres méthodes...etc.

La validation d'une telle méthode est difficile à établir. Elle nécessite énormément des moyens humains (experts) et matériels, et même spatiaux et temporels. En effet pour tester ce modèle, l'idéal est de l'appliquer à des situations réelles et évaluer ensuite la vulnérabilité du bâtiment conçu et réalisé par le même modèle avant un séisme et de comparer après le séisme si le comportement des bâtiments est conforme aux estimations faites par la méthode. Or ce cas de figure est vraiment théorique, car l'approche proposée n'est pas issue d'une volonté nationale. En revanche, elle est élaborée dans un cadre très limité en termes du temps, moyens et objectifs issus de la recherche scientifique. L'évaluation du modèle proposée basée sur l'acquisition d'information, savoir et expertise fournies et sur les caractères du répertoire des intervenants. De ce fait, l'application peut à peine être évaluée en dehors de ce cadre de recherche. Cependant, et pour des raisons scientifiques et des moyens mis à notre disposition, un tel scénario n'était pas possible à achever.

Le but principal des expérimentations était de contribuer à la validation de notre réflexion par la supervision de deux points essentiels:

1. D'abord, pour vérifier que l'association de 'Concept/Cas' permet une interprétation correcte et une bonne appropriation des concepts parasismiques ;
2. En second lieu, pour valider les avantages pratiques, économiques et créatifs de l'aide proposée, afin de perfectionner les compétences de communication et de conception de l'architecte algérien pour prendre en compte l'aspect parasismique dès les premières phases de la conception architecturale parasismique.

Les expérimentations sont soutenues par trois échantillons différents. Les travaux sont procédés sous forme d'exercice de conception avant et après l'utilisation de l'outil développé (par l'explication du concept d'étude). Toutes les traces dessinées et/ou

écrites produites pendant l'expérimentation sont également réservées. Grâce à cette expérimentations, nous sommes parvenus à améliorer notre suggestion, déterminer les besoins communicationnels spécifiques des architectes algériens, et également les caractéristiques principales du travail d'équipe désiré. Une validation technique additionnelle de l'outil proposé est faite en comparant les résultats obtenus par l'outil conçu avec ceux des experts de domaine (une consultation restreinte).

5.3.1 Validation technique

De nombreuses analyses ont été accomplies à l'aide de la boîte d'outil de la logique floue de MATLAB (Math Works, 2009). L'étude de cas suivante est présentée afin de vérifier de la fiabilité de l'approche d'évaluation de la vulnérabilité sismique proposée et donner aux lecteurs une référence directe pour un usage future. Une validation technique a été faite en comparant les résultats d'évaluation obtenus par les experts du (CGS (Centre national de recherche appliquée en génie parasismique) et CTC (contrôle technique de construction)) et ceux obtenus par le système d'inférence flou proposé (Fuzzy SeVA-Tool). L'expertise est basée sur l'évaluation de la répercussion économique en estimant le coefficient de pénalité, et l'expérience vécue et/ou acquise par des experts des deux organismes responsables à l'approbation, le développement et l'observation de l'application des codes parasismique en Algérie.

Une validation techniques par le biais d'un échantillon de 25 cas qui présente des données de quelques cas de bâtiments supposés avoir un niveau de vulnérabilité résultant de l'association des paramètres retenus. L'élaboration des cas d'apprentissage et de validation du système est faite par des experts du domaine CGS et CTC¹³. La fourchette des hauteurs des bâtiments choisie comprise entre 14m à 28m (de cinq à dix étages). Les caractéristiques et des données géométriques des 25 cas sont présentées dans le tableau présenté au-dessous.

¹³ Mais elle était très restreinte à cause de l'accessibilité et de la disponibilité des consultants.

Tableau 8 Situation et données géométriques des exemples de validation

Cases	Site	Lx	Ly	Lx	ly	Bm	Bi	Bi-1	Hn	Bi/Bi-1	Lx/Ly	ly/Ly	Lx/Ly	Bmx/Lx	Bmy/Ly
Case 1	S2	24	14	3,7	2,7	14	14	22	14	0,64	0,15	0,19	0,58	0,58	1,00
Case 2	S2	23,2	18	2,8	2	22	22	23,2	28	0,95	0,12	0,11	0,78	0,95	1,22
Case 3	S2	22,6	15,8	2,6	0	14,8	14,8	20	16,8	0,74	0,12	0,00	0,70	0,65	0,94
Case 4	S2	23	16,9	2,5	2	19,9	19,9	23	19,6	0,87	0,11	0,12	0,73	0,87	1,18
Case 5	S2	22,2	17	3,2	1	18,7	18,7	18,7	25,2	1,00	0,14	0,06	0,77	0,84	1,10
Case 6	S2	20	14	2,7	0	12	12	12	14	1,00	0,14	0,00	0,70	0,60	0,86
Case 7	S2	22,3	15,9	2,7	0,7	16	16	22,3	19,6	0,72	0,12	0,04	0,71	0,72	1,01
Case 8	S2	23,2	19	3,4	2,3	18	18	23,2	22,4	0,78	0,15	0,12	0,82	0,78	0,95
Case 9	S2	19	17,8	3,2	1,4	19	19	19	14	1,00	0,17	0,08	0,94	1,00	1,07
Case 10	S2	19,8	15	2,9	4,3	12	12	12	14	1,00	0,15	0,29	0,76	0,61	0,80
Case 11	S2	20,8	14,5	3	0	10	10	14,5	19,6	0,69	0,14	0,00	0,70	0,48	0,69
Case 12	S2	22,9	19	2,7	1,4	22,9	22,9	22,9	22,4	1,00	0,12	0,07	0,83	1,00	1,21
Case 13	S2	23,6	14,8	2,1	3,6	23,6	23,6	23,6	16,8	1,00	0,09	0,24	0,63	1,00	1,59
Case 14	S2	24	16,9	3	0,9	20	20	22	28	0,91	0,13	0,05	0,70	0,83	1,18
Case 15	S2	24	20	2,7	2,3	19,8	19,8	23	28	0,86	0,11	0,12	0,83	0,83	0,99
Case 16	S2	22,7	19	2,9	1,4	22,7	22,7	22,7	22,4	1,00	0,13	0,07	0,84	1,00	1,19
Case 17	S2	18,9	17	2	1,3	16	16	17	14	0,94	0,11	0,08	0,90	0,85	0,94
Case 18	S2	21,8	18	3	0	21,8	21,8	21,8	19,6	1,00	0,14	0,00	0,83	1,00	1,21
Case 19	S2	22,7	19,7	2,2	2	19,7	19,7	22,7	14	0,87	0,10	0,10	0,87	0,87	1,00
Case 20	S4	22	16,7	4	3,8	15	15	22	28	0,68	0,18	0,22	0,76	0,68	0,90
Case 21	S3	20	20	3	2	20	20	20	14	1,00	0,15	0,10	1,00	1,00	1,00
Case 22	S3	23,4	19,9	1	2,3	19,4	19,4	23,4	14	0,83	0,04	0,12	0,85	0,83	0,97
Case 23	S4	22,7	19	2,9	4,6	22,7	22,7	22,4	14	1,01	0,13	0,24	0,84	1,00	1,19
Case 24	S1	23,2	16	2,8	4,5	22	22	23,2	28	0,95	0,12	0,28	0,69	0,95	1,38
Case 25	S2	24	17	3,1	1,2	13	13	24	14	0,54	0,13	0,07	0,71	0,54	0,76

Tableau 9 Résultats de validation

Ct	T	T _{x-x}	T _{y-y}	T _{final}	T _{admiss}	Input1	Input2	Input3	Input4	Quality1	Quality 2	Quality 3	Quality 4	Class of V	SeVA-Tool	Ref-min	Ref-max
0,05	0,36	0,26	0,34	0,26	0,33	0,55	0,58	0,39	0,33	Tough	S, Irregular	Regular	Short	Orang	0,40	0,25	0,55
0,05	0,61	0,52	0,59	0,52	0,68	0,6	0,78	0,63	0,68	Tough	Regular	Regular	Medium	Green	0,66	0,55	1
0,05	0,41	0,32	0,38	0,32	0,41	0,7	0,70	0,44	0,41	Tough	S, Irregular	Regular	Short	Orang	0,52	0,25	0,55
0,05	0,47	0,37	0,43	0,37	0,48	0,5	0,73	0,58	0,48	Tough	Regular	Regular	Medium	Green	0,66	0,55	1
0,05	0,56	0,48	0,55	0,48	0,63	0,75	0,77	0,56	0,63	Tough	Regular	Regular	Medium	Green	0,64	0,55	1
0,05	0,36	0,28	0,34	0,28	0,37	0,4	0,70	0,40	0,37	Loose	S, Irregular	Regular	Short	Green	0,61	0,55	1
0,05	0,47	0,37	0,44	0,37	0,49	0,55	0,71	0,48	0,49	Tough	Regular	Regular	Medium	Green	0,55	0,55	1
0,05	0,51	0,42	0,46	0,42	0,54	0,65	0,82	0,52	0,54	Tough	Regular	Regular	Medium	Green	0,73	0,55	1
0,05	0,36	0,29	0,30	0,29	0,38	0,75	0,94	0,67	0,38	Tough	Regular	Regular	Medium	Green	0,74	0,55	1
0,05	0,36	0,28	0,33	0,28	0,37	0,8	0,29	0,40	0,37	Tough	S, Irregular	Regular	Short	Orang	0,54	0,25	0,55
0,05	0,47	0,39	0,46	0,39	0,50	0,4	0,70	0,32	0,50	Loose	S, Irregular	Regular	Short	Green	0,55	0,55	1
0,05	0,51	0,42	0,46	0,42	0,55	0,5	0,83	0,67	0,55	Tough	Regular	Regular	Medium	Green	0,72	0,55	1
0,05	0,41	0,31	0,39	0,31	0,40	0,65	0,24	0,67	0,40	Tough	S, Irregular	Regular	Short	Orang	0,27	0,25	0,55
0,05	0,61	0,51	0,61	0,51	0,67	0,4	0,70	0,56	0,67	Tough	Regular	Regular	Medium	Green	0,56	0,55	1
0,05	0,61	0,51	0,56	0,51	0,67	0,75	0,83	0,55	0,67	Tough	Regular	Regular	Medium	Green	0,75	0,55	1
0,05	0,51	0,42	0,46	0,42	0,55	0,7	0,84	0,67	0,55	Tough	Regular	Regular	Medium	Green	0,73	0,55	1
0,05	0,36	0,29	0,31	0,29	0,38	0,4	0,90	0,56	0,38	Loose	Regular	Regular	Short	Green	0,76	0,55	1
0,05	0,47	0,38	0,42	0,38	0,49	0,6	0,83	0,67	0,49	Tough	Regular	Regular	Medium	Green	0,68	0,55	1
0,05	0,36	0,26	0,28	0,26	0,34	0,8	0,87	0,58	0,34	Tough	Regular	Regular	Short	Green	0,76	0,55	1
0,05	0,61	0,54	0,62	0,54	0,70	0,15	0,22	0,45	0,70	Very Loose	Irregular	Regular	Medium	Red	0,24	0	0,25
0,05	0,36	0,28	0,28	0,28	0,37	0,2	1,00	0,67	0,37	Loose	Regular	Regular	Short	Green	0,71	0,55	1
0,05	0,36	0,26	0,28	0,26	0,34	0,3	0,85	0,55	0,34	Loose	Regular	Regular	Short	Green	0,78	0,55	1
0,05	0,36	0,26	0,29	0,26	0,34	0,15	0,84	0,67	0,34	Very Loose	Regular	Regular	Short	Green	0,74	0,55	1
0,05	0,61	0,52	0,63	0,52	0,68	0,85	0,28	0,63	0,68	Stony	S, Irregular	Regular	Medium	Orang	0,32	0,25	0,55
0,05	0,36	0,26	0,31	0,26	0,33	0,4	0,71	0,36	0,33	Loose	S, Irregular	Regular	Short	Green	0,61	0,55	1

Le comportement de l'outil développé a été analysé et son exécution a été comparée à celle des résultats d'évaluation obtenus par la méthode d'index de vulnérabilité sismique. Les résultats prouvent que le système d'inférence flou développé réalise une corrélation remarquable avec la connaissance experte et des résultats obtenus par l'index de vulnérabilité sismiques. Des résultats encourageants sont obtenus par l'SeVA-Tool. Ces résultats sont 100% inclus entre la Max-référence et Min-référence de la connaissance experte (voir Tableau 10 et figure54), qui indique une excellente corrélation entre la procédure conçue et la connaissance experte, vu les quatre attributs prédéfinis. La tolérance d'inexactitude est due aux erreurs de mesure des attributs influençant la réponse sismique de bâtiment.

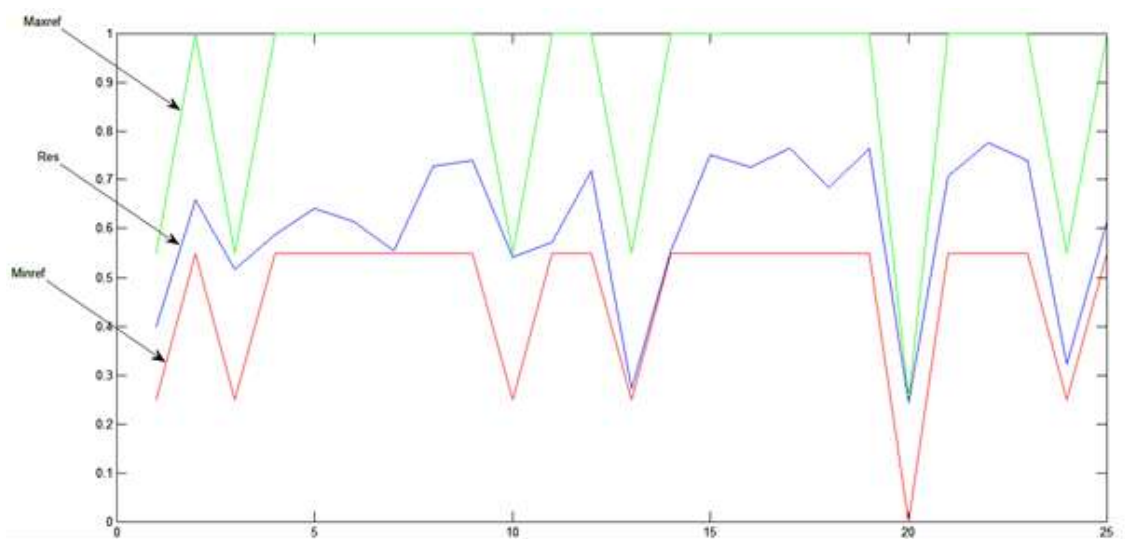


Figure 53 : Comparaison entre les résultats obtenus par l'SeVA-Tool et ceux de Iv élaborés

5.3.2 Validation expérimentale

Cette recherche a visé le staff des architectes algériens, qui est composé de 7808 architectes enregistrés en tant que personnes physiques dans le tableau national des architectes (CNOA, 2017). Leur distribution géographique selon la sismicité des wilayas est concentrée à 70.02 % dans les wilayas d'une haute sismicité comme montre dans le tableau suivant.

Tableau 10 Distribution géographique des architectes algériens selon la sismicité des wilayas administratives (CNOA, 2017)

Zone	Wilaya	Arc h	P/total	Z/tot	Zone	Wilaya	Arc h	P/total	Z/tot
Z. III	Chlef	147	1,88	5,06 %	Zone I	Laghouat	108	1,38	24,30 %
	Tipaza	111	1,42			Oum Elbouaghi	188	2,41	
	Ain defla	137	1,75			Batna	359	4,60	
Z. II	Bejaia	292	3,74	Biskra		248	3,18		
	Blida	254	3,25	Tebessa		158	2,02		
	Bouira	119	1,52	Telemcen		154	1,97		
	Tizi-ouzou	324	4,15	Tiaret		102	1,31		
	Alger	759	9,72	Djelfa		140	1,79		
	Jijel	155	1,99	Saida		40	0,51		
	Setif	437	5,60	Sidi bel-abbes		110	1,41		
	Sekikda	297	3,80	El bayadh	33	0,42			
	Annaba	243	3,11	Khenchla	75	0,96			
	Guelma	191	2,45	Soukahrass	105	1,34			
	Constantine	373	4,78	Naama	77	0,99			
	Media	180	2,31	Zone 0	Adrar	62	0,79		
	Mostaghane m	147	1,88		Bechar	70	0,90		
	M'sila	123	1,58		Tamanrasset	25	0,32		
Mascara	95	1,22	Ouargla		109	1,40			
				64,96 %					

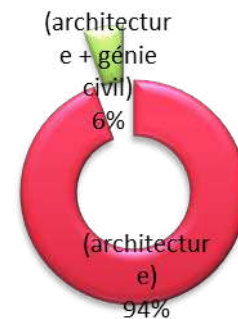
	Oran	366	4,69			Ilizi	23	0,29	5,69 %
	Bourdj bou arreridj	185	2,37			Tindouf	13	0,17	
	Boumerdes	99	1,27			El ouad	82	1,05	
	El taref	75	0,96			Ghardaia	60	0,77	
	Tissimsilet	30	0,38						
	Mila	201	2,57		Nm. Total	7808 Architectes			
	Ain timouchent	62	0,79						
	Ghelizan	65	0,83						

Cette recherche est basée sur 341 architectes (questionnaires rassemblés). Leurs âges ont varié entre 25 et 61 ans, mais seulement 15% de participants avaient plus de 50 ans.

Approximativement, tous ont étudié seulement l'architecture, 19 participants ont étudié le génie civil comme formation additionnelle. L'expérimentation est maintenue par trois catégories des échantillons :

Les premiers essais sont soutenus par (Echantillon 01), qui est 32 architectes inscrits en quatrième année d'architecture à l'université de Blida 2008-2009. Les mêmes expériences sont soutenues également par (Echantillon 02), qui est 210 étudiants inscrits en deuxième année licence d'architecture à l'université de Biskra 2011-2012. Le travail a été mené sous forme d'exercice de conception dont l'exigence principale était comment utiliser les concepts de stabilité / instabilité en tant que matériel de conception.

Formations universitaires



ÂGE

■ entre 25 - 50 ■ plus de 50 ans



Figure 54 : La fourchette d'âge et les diplômes universitaires des architectes retenus

Les troisièmes expériences sont soutenues par l'Echantillon 03, qui est 29 architectes de CLOA-Adrar (Le Conseil Local de l'ordre des architectes de la wilaya d'Adrar) qui ont poursuivi une formation master en architecture à l'université africaine d'Adrar en partenariat avec l'université des sciences et des technologies d'Oran. 2016-2017. Le travail a été mené sous forme d'exercice de conception avant et après l'utilisation du concept de SeVA-Tool.

Ces expérimentations nous ont permis de détecter trois genres de comportements :

1. 55% des étudiants a adopté le concept de stabilité/instabilité pour générer des idées conceptuelles de départ (saut créateur). L'idée conceptuelle était de concevoir un projet stable de chaque angle, mais chaque élément séparé, est dans une position instable.
2. 36% des étudiants a interprété la condition de sécurité dans l'aspect extérieur en tant que langage architectural, par l'addition et/ou la création de formes et de volumes donnant le sentiment de sûreté et de robustesse.
3. Subsistance de 14% sur le modèle sûr en concevant une composition très stable et des formes simples comme la pyramide, le cube, le cône tronqué... etc.

La troisième expérience est soutenue par 42 architectes de CLOA-Adrar (le Conseil local de l'ordre d'architectes) qui ont poursuivi une formation universitaire complémentaire en l'architecture à l'université africaine d'Adrar avec l'association de l'université des sciences et des technologies d'Oran, 2016-2017. Le travail est procédé sous la forme d'exercice de conception avant/et/après l'utilisation de l'SeVA-Tool développé. Toutes les traces tirées et écrites produites pendant l'expérimentation sont également réservées.

Grâce à cette expérimentation que nous sommes parvenus à améliorer notre procédure suggérée, déterminant les besoins parasismiques principaux à la connaissance des architectes, et également les caractéristiques principales de l'approche d'assistance adéquate. Elles nous ont permises de vérifier notre prétention :

1. La présence de plusieurs boucles de rétroaction permet le retour en arrière afin de tenir compte les nouvelles informations produites pendant le processus de conception.
2. La distinction entre les diverses phases du processus de conception, par un début et une fin, implique l'existence des critères objectifs. Ceci illustre le fait que l'objectif et

ses propriétés guident le mécanisme d'aide proposé pour produire des formes parasismiques durant les phases préliminaires.

3. Le recours au concept de RBC et aux démonstrations graphiques à chaque niveau de la situation de conception donne la possibilité d'exprimer et d'extérioriser l'idée du projet et la communiquer aux autres acteurs de conception.

L'expérience actuelle nous permet d'améliorer la pratique de conception parasismique sur quatre échelles :

1- De point de vue pratique : 86% des participants ont apprécié l'aptitude de manipuler les deux types d'information, à savoir, la partie objective de la conception et sa partie subjective. Il présente un genre de réconciliation et de facilitation de communication entre les divers acteurs. Pendant l'étape architecturale d'esquisse, et vue l'insuffisance d'information permettant l'utilisation du Robot ou Sap2000 (logiciels davantage utilisés par 98% des ingénieurs), l'outil proposé permet de savoir à quel niveau la forme conçue suit les règles parasismiques et prend en compte le risque sismique dès le début.

2- Du point de vue économique : vue l'ignorance du concept parasismique par les architectes durant les phases architecturales, du coût de mise à jour et de modifications après la consultation de l'ingénieur est très élevé. L'implication précoce abaisse la dépense à 75%, et nous avons noté seulement 2/42 de cas qui exigent des modifications de la conception. Cette exécution s'est également reflétée sur la durée de l'achèvement du travail qui devient plus court.

3- Du point de vue architectural : le fait que la démarche est appuie sur les cas précédents, les architectes ont trouvé des moyens d'enrichir leur travail architectural en restant créatifs et toujours préventifs vis à vis du risque sismique. Elle a également présenté les trois attitudes de la conception et l'insertion passive des concepts de sécurité présentés précédemment.

4- Les formations spécialisées : nous avons noté un caractère didactique de l'outil proposé. Il nous a permis de contribuer à la formation des architectes dans le domaine du génie parasismique d'une manière indirecte et de garder l'esprit commercial et économique des architectes qui n'ont pas de temps dévolu à apprendre ce genre de compétences, bien qu'essentiel pour préserver la vie humaine.

5.4 Synthèse du chapitre

Une évaluation de la vulnérabilité sismique basée sur le raisonnement à base de cas flou pour aider l'architecte pendant la phase tôt du processus architectural de conception a été présentée. Le comportement de l'outil conçu, appelé SeVA-Tool, a été analysé et son exécution a été comparée à celle des résultats d'évaluation obtenus par les experts du CGS et du CTC. Les résultats d'analyse prouvent que le système d'inférence flou proposé réalise une excellente corrélation avec la connaissance experte, vu les quatre attributs prédéfinis (situation de projet, régularité en plan, régularité en élévation et période fondamentale calculée). En conséquence, l'acte de concevoir les formes résistantes aux tremblements de terre est tout à fait difficile, parce que la mission du concepteur est de trouver un compromis pour obtenir une combinaison optimale entre la résistance et la déformabilité en même temps, qui n'est pas une tâche facile.

Le but principal des expérimentations élaborées était de vérifier l'intentionnalité de notre réflexion selon deux concepts essentiels. D'abord, de vérifier que l'association "concept-cas" permet la réalisation d'une interprétation architecturale correcte et une excellente appropriation des concepts parasismiques. En second lieu, d'approuver les avantages pratiques, économiques et architecturaux de l'outil développé pendant les phases préliminaires de la conception architecturale d'un bâtiment parasismique.

Les expérimentations sont soutenues par trois échantillons différents. Les travaux ont été menés sous forme d'exercices de conception avant et après l'utilisation de l'outil proposé par l'explication du concept d'étude. Toutes les traces dessinées et/ou écrites produites pendant l'expérimentation sont également réservées. Grâce à cette expérimentation, nous sommes parvenus à améliorer notre suggestion, déterminer les besoins communicationnels spécifiques des architectes algériens, et également les caractéristiques principales du travail d'équipe désiré. Une validation technique additionnelle est faite en comparant les résultats obtenus par l'outil conçu avec ceux des experts de domaine.

Notre modèle propose deux types d'information structurant la représentation et le progrès du projet architectural ; le premier répond à la question sémantique : "*qu'est qu'il faut faire ?*". La réponse a pu être considérée comme source des idées conceptuelles parasismiques. Et la seconde est une réponse esthétique à la question : "*comment faut-il le faire ?*". Son rôle est de chercher les formes imaginables des

solutions possibles. L'outil proposé tire parti des avantages du raisonnement à base de cas, nous pouvons citer :

1. Ils se rattachent au modèle conjecture-analyse par la proposition des cas similaires à la situation rencontrée avec des solutions potentiels à déduire ;
2. Cette forme de présentation permet son utilisation à toutes les situations de conception et selon une démarche claire et intelligible pour les architectes les moins initiés au génie parasismique;
3. De par son caractère conceptuel abstrait, le raisonnement à base de références (image) peut aider l'architecte à générer une multitude de connaissances, de solutions et modèles possibles de génie parasismique du bâtiment pouvant enrichir la mémoire de l'architecte et sa créativité;
4. Halin, Chaabouni et Bignon (2007) ont identifié trois grandes fonctions différentes que le RàPR, particulièrement les références sous forme d'image, peut les jouer en rapport avec les moments où la situation du concepteur, à savoir:
 - L'image-idée : considérée comme un support à la recherche d'idées dans les phases amont de la conception par copie ou interprétation d'une image physique.
 - L'image-analogue : d'après Kacher (2005), le concepteur cherche et identifier des solutions par correspondance formelle entre l'image d'un ouvrage et la situation imaginée dans un projet.
 - L'image-modèle : aujourd'hui, cette fonction est supportée par les images de synthèses ou les images de réalité augmentée, qui est utilisée pour la communication du projet. Elle fonctionne comme modèle de l'ouvrage conçu.
 - L'image-alarmer: Cette quatrième fonctionnalité de l'image est considérée dans notre démarche comme une image modèle indiquant le danger probable si on adopte la forme esquissée.

La méthodologie proposée peut être considérée comme outil d'anticipation, description, information, dialogue, aide de prise de décision, commande et validation pendant le procédé de développement du projet architectural, et même un outil de communication avec le public commun.

Conclusion générale

Chapitre 06 Conclusion générale

Durant ces dernières décennies, la forte pression de l'urbanisme et le retentissement de plus en plus grand donnés par les médias aux effets dévastateurs des tremblements de terre ont fait naître un peu partout dans le monde une prise de conscience nouvelle vis-à-vis des risques sismiques. L'Algérie qui a, de tout temps, été soumise à une activité sismique dense, avec comme résultats des pertes humaines et matérielles importantes, dommageables non seulement aux individus qu'aux collectivités locales, mais également au pays entier dont elle peut parfois obérer le développement pour de nombreuses années.

On estime que 98% des pertes en vies humaines sont le résultat direct de l'effondrement des constructions (Foufa, 2001). Les tremblements de terre ont toujours existé et existeront toujours, faute de pouvoir les éviter, on devrait chercher à limiter leurs dommages sur les constructions, les vies et les biens des usagers.

En Algérie, la région de concentration des populations et des activités est le territoire tellien, qui est un espace tectoniquement complexe, à vulnérabilité sismique très élevée. Le pays connaît une activité sismique dense, aux effets dévastateurs sur les personnes et les biens. A l'instar du séisme du 21 mai 2003 d'Alger- Boumerdès qui a touché la zone la plus sensible du territoire national et y a laissé des traces marquantes sur le bâti ancien ainsi que les nouvelles constructions. L'ampleur du désastre est grande, près de 2300 victimes et 5 milliards de dinars de dommages causés au parc immobilier. Les récentes catastrophes qu'a enregistré le pays ont mis à jour la forte vulnérabilité de cette région, accentuée par les pratiques architecturales et urbanistiques qui considèrent encore que la sécurité face au risque sismique, dans le domaine du bâtiment est uniquement une question d'ingénierie. Alors que, le projet architectural est en fait, l'aboutissement d'un long et complexe processus de planification de nature pluridisciplinaire où l'architecte trouve pleinement sa place.

L'architecte doit gérer ce processus qui est considérée comme une activité de résolution de problème de telle sorte que toutes les contraintes soient prises en compte et satisfaites. Pour ce faire, il doit avoir le maximum d'informations sur le problème ou la situation, et surtout puiser, surtout, dans son expérience, savoir et savoir-faire. Cependant, il est confronté, quotidiennement, à des problèmes ou des situations auxquels il doit apporter les meilleures solutions possibles qui sont à la fois d'ordre objectives et subjectives. Une démarche d'assistance et d'aide pour le concepteur est devenue donc plus qu'une nécessité surtout dans des domaines aussi importants comme celui de la sécurisation des bâtiments au risque sismique.

En effet, des analyses menées conduites dans de nombreux domaines montrent que les concepteurs ont une propension systématique et naturelle à se projeter, plus ou moins directement, sur l'espace de la solution physique du problème (Béguin, 1997). De ce fait, le concepteur opère en mêlant, en même temps, les compétences de conception et de communication durant les différents niveaux hiérarchiques du processus de conception. Ceci met en évidence la nécessité de méthodologies pertinentes et structurantes de l'activité de conception et qui vont permettre de fournir, soutenir et, guider le travail du concepteur vers plus de créativité et d'efficacité.

Parmi les approches impliquant l'intelligence artificielle, le raisonnement à base de cas flou (RBCF) semble, la plus proche comme démarche de résolution des problèmes adoptée dans l'acte de concevoir. En effet, cette démarche peut être utilisée pour aider l'architecte dans la conception parasismique et trouver des solutions optimales.

D'après notre investigation et les nombreuses études faites sur le processus de conception architecturale, nous concluons que les architectes font toujours appel aux références imagées pour avancer et alimenter leurs activités de conception. Donc, le besoin des règles expertes parasismiques, savoir-faire parasismique ou une pré-structuration de la conception grâce à une mémoire architecturale qui rassemble, sélectionne et classe les solutions déjà développées et examinées proches du problème rencontré et prises comme références s'avère indispensables. Elles peuvent offrir à l'architecte les bases conceptuelles au projet à même de garantir une intégration du concept de sécurité parasismique dès les phases précoces de la conception.

Le recours aux références imagées dans la conception architecturale, notamment la conception parasismique, peut avoir plusieurs intérêts. L'information transmise par l'image est plus facile à comprendre que celle transmise par le texte. Ceci résulte probablement du fait que l'image nécessite moins d'interprétations que le texte. L'image présente aussi des informations qui peuvent être directement intégrées dans le corpus des idées, des contraintes ou encore des solutions d'un projet. En effet, ces références peuvent guider l'architecte dans la formulation de son problème de conception puisque l'image, possède la particularité de cristalliser une situation réelle et examinée telle qu'elle existe ou telle qu'elle a été. Elle permet donc de représenter un comportement réel mais « figé ». Cette propriété permet à l'architecte de découvrir des solutions concrètes et des qualités architecturales différentes qui peuvent l'aider à formuler le problème et à l'exprimer sous forme d'intentions.

A partir de notre investigation dans les différents rapports et travaux de nombreux scientifiques, techniciens, ingénieurs, architectes ...etc. internationaux et nationaux qui se sont penchés sur la question de la prise en compte du risque sismique dans la conception du projet architectural ; Il nous paraît nécessaire d'intégrer les préoccupations parasismiques dès les premières phases de la conception du projet et qu'elles deviennent un réflexe, de façon à réduire et contrôler les surcoûts probables. Ce réflexe, de "construire parasismique", ne peut résulter que d'une collaboration permanente entre les acteurs surtout l'architecte et l'ingénieur mais aussi le réalisateur et les utilisateurs. L'application stricte des règles et normes parasismiques lors de la conception d'un projet architectural ne peut se faire d'une manière efficace sans une collaboration étroite entre l'architecte et l'ingénieur civil dès le début, suivie par une bonne exécution des travaux qui permettent aux bâtiments de résister de façon satisfaisante aux séismes de faible à moyenne intensité. D'une manière générale, d'après notre analyse, nous retenons les conclusions suivantes :

Tout d'abord, nous ne pouvons procéder à une bonne intégration des préoccupations parasismiques dans la conception architecturale sans acquérir les connaissances de base précitées. Ainsi, la connaissance des différentes stratégies de conception parasismique et les principes qui en découlent nous apparaissent indispensables dans une méthodologie d'aide à la conception architecturale parasismique.

Nous constatons aussi que l'art de concevoir parasismique en architecture n'est pas une science exacte, c'est plutôt un champ d'application de connaissances, d'expériences, de retour d'informations post-catastrophe et d'expérimentation des erreurs. C'est un domaine très complexe qui demande de prendre en compte une somme de facteurs à gérer simultanément : l'historique du lieu, le où ? Les types de menaces, la destination finale de l'ouvrage à projeter et à exécuter, la nature des sols, la typologie de la construction, le choix des matériaux et systèmes constructifs, l'aspect architectural ...etc.

Par ailleurs, il apparaît que les règles parasismiques n'imposent aucune disposition architecturale, elles s'appliquent sur un projet dont l'architecture a déjà été déterminée. La forme du bâtiment et les éléments constructifs, le système porteur et le type de contreventement, dont le comportement joue un rôle déterminant dans la résistance aux séismes du bâtiment, sont déjà choisis, trop souvent sans préoccupation parasismique. C'est pour cela qu'une stratégie de conception parasismique raisonnée et adaptée dès le début du projet est souhaitable.

En Algérie, la majorité des architectes n'utilisent aucun dispositif et/ou outil d'aide pendant la conception d'un projet parasismique. C'est principalement dû à l'inadéquation de ces outils aux professionnels impliqués dans le processus de conception, particulièrement les architectes. De ce fait, le besoin d'une méthodologie d'assistance accessible aux architectes et des règles expertes de la conception parasismique s'avère essentiel. Elles peuvent offrir à l'architecte les bases conceptuelles de son projet, et garantir une intégration des concepts parasismique au concept de sécurité durant les phases préliminaires du processus de conception architecturale.

L'intérêt de conjuguer le RBC avec la logique floue réside justement dans son aptitude à manipuler des grandeurs de satisfactions imprécises utilisées notamment dans le langage de l'architecte. Nous préconisons, dans ce sens, d'exploiter la méthode de l'index de vulnérabilité sismique pour assister l'acte de l'architecte en génie parasismique, afin d'y remédier aux limites observées dans les différents types de RBC classiques.

Cependant, l'implémentation d'un système de RBC intégral pour assister la conception architecturale parasismique nécessite la résolution de trois exigences majeures, chaque exigence présente tout seul, un axe de travail plein de pistes de recherche, à savoir :

4. La représentation des cas dans la base de références ;
5. La recherche des cas similaires à partir la base de références ;
6. Et la création de la fonction d'adaptation et d'apprentissage.

Pour cette raison, et vues les difficultés qui nous ont entravé d'avoir réuni et acquis tous les moyens scientifiques nécessaires, nous avons bien focalisé dans la présente contribution de résoudre une exigence primordiale d'un système de RBC pertinent qui est bien celle de l'identification des caractéristiques de la situation de problème rencontré.

A cet égard, les entrées employées pour implémenter notre SIF proposé sont les valeurs de démarrage liées à la configuration géométrique préliminaire du bâtiment qui influencent sur la réponse sismique du projet, tel que l'endroit du projet, la régularité en plan, la régularité en élévation et la période fondamentale. Ces entrées sont aisément disponibles, et leurs valeurs sont typiquement considérées quand un architecte développe son plan durant les phases de conception architecturale précoce. Il est clair que d'autres attributs cruciaux puissent être considérés par le concepteur pendant la conception architecturale parasismique du projet. Les toits, le pourcentage d'ouvertures, les détails architecturaux, éléments non-structuraux, et même l'environnement bâti adjacent sont décisifs dans l'étude de la réponse sismique des bâtiments. Cependant, le but dans le cadre de notre travail est de démontrer l'efficacité de la méthode proposée dans un cas général.

L'originalité de ce travail consiste à appliquer un modèle d'évaluation de vulnérabilité sismique dès la phase précoce du projet architectural. Elle donne aux concepteurs et aux différents intervenants, une estimation fragmentée permettant à la fois de clarifier les différentes situations d'analyse et du développement du projet, mais aussi, de stimuler la compréhension des concepts architecturaux vis-à-vis de l'aléa sismique. De plus, il donne une illustration concrète aux acteurs afin de cerner, au mieux, les

relations formelles entre les différents attributs influant sur la réponse sismique de la structure.

La validation scientifique du modèle caractérise la justification des hypothèses et du choix des paramètres sur lesquels le modèle s'appuie (facteurs de vulnérabilité considérés, la robustesse des règles floues, la correspondance du niveau de vulnérabilité et le soutien proposé... etc.). Il rend compte aussi de la validation de l'approche suggérée par des experts reconnus ou sur la base de résultats comparatifs avec le retour d'expérience sur un nombre significatif de bâtiments ou d'autres méthodes...etc.

La validation d'une telle méthode est difficile à établir. Elle nécessite énormément des moyens humains (experts) et matériels, et même spatiaux et temporels. En effet pour tester ce modèle, l'idéal est de l'appliquer à des situations réelles et évaluer ensuite la vulnérabilité du bâtiment conçu et réalisé par le même modèle avant un séisme et de comparer après le séisme si le comportement des bâtiments est conforme aux estimations faites par la méthode. Or ce cas de figure est vraiment théorique, car l'approche proposée n'est pas issue d'une volonté nationale. En revanche, elle est élaborée dans un cadre très limité en termes du temps, moyens et objectifs issus de la recherche scientifique. L'évaluation du modèle proposée basée sur l'acquisition d'information, savoir et expertise fournies et sur les caractères du répertoire des intervenants. De ce fait, l'application peut à peine être évaluée en dehors de ce cadre de recherche. Cependant, et pour des raisons scientifiques et des moyens mis à notre disposition, un tel scénario n'était pas possible à achever.

Le but principal des expérimentations était de contribuer à la validation de notre réflexion par la supervision de deux points essentiels:

- D'abord, pour vérifier que l'association de 'Concept/Cas' permet une interprétation correcte et une bonne appropriation des concepts parasismiques ;
- En second lieu, pour valider les avantages pratiques, économiques et créatifs de l'aide proposée, afin de perfectionner les compétences de communication et de conception de l'architecte algérien pour prendre en compte l'aspect

parasismique dès les premières phases de la conception architecturale parasismique.

Le comportement de l'outil développé a été analysé et son exécution a été comparée à celle des résultats d'évaluation obtenus par la méthode d'index de vulnérabilité sismique. Les résultats prouvent que le système d'inférence flou développé réalise une corrélation remarquable avec la connaissance experte et des résultats obtenus par l'index de vulnérabilité sismiques. Des résultats encourageants sont obtenus par l'SeVA-Tool. Ces résultats sont 100% inclus entre la Max-référence et Min-référence de la connaissance experte (voir Tableau 10 et figure54), qui indique une excellente corrélation entre la procédure conçue et la connaissance experte, vu les quatre attributs prédéfinis. La tolérance d'inexactitude est due aux erreurs de mesure des attributs influençant la réponse sismique de bâtiment.

Aussi proposerons-nous d'aider les concepteurs par l'utilisation d'un système de sélection et de recherche d'informations basées sur la logique floue, basée à son tour sur la notion d'expertise, qui permet de clarifier et quantifier le flou à partir des connaissances parasismiques acquises antérieurement. Nous ne voyons pas l'apport de l'informatique uniquement comme étant un nouveau moyen pour améliorer les constructions existantes ou déjà conçues, mais plutôt comme un moyen d'apporter une aide à la décision, et d'assister le processus de conception en lui-même. Ce système a pour but d'assister le concepteur dans sa phase de sélection des alternatives diverses qu'il imagine ou propose pour résoudre son problème de conception.

Notre contribution révèle deux types d'information structurant la représentation et l'avancement du projet architectural; la première sémantique qui répond à la question : qu'est-ce qu'il faut faire? Et la deuxième esthétique qui répond à la question : comment faut-il faire ? Elle peut s'envisager comme un outil d'études permettant de simuler les différentes hypothèses parasismiques comme un moyen d'anticipation, de description, d'information, de concertation, d'aide à la décision, de contrôle et de validation durant le processus d'élaboration du projet architectural, et aussi un outil de communication vers un public non spécialisé.

Le sujet ciblé par notre recherche concerne l'intégration des exigences de sécurité et de prévention aux risques sismiques en architecture. Si la conception architecturale est un objet complexe qu'en est-il alors du transfert du savoir parasismique en architecture ? Ce dernier et afin qu'il soit accessible et maîtrisable à l'architecte durant les phases préliminaires de la conception architecturale, doit participer à la génération de la forme architecturale.

Nous nous sommes inscrits dans cet axe de recherche, où nous nous voulons proposer de fournir à l'architecte une assistance adaptée à l'acte de concevoir qui puisse véhiculer une multitude de solutions de formes architecturales grâce à un langage formel qui se base sur la notion des précédents familiers à l'architecte.

Notre recherche vient donc, compléter l'ensemble des travaux menés dans le domaine de la conception face aux risques sismiques. Elle vise aussi à stimuler la créativité architecturale dans le domaine de prévention face aux risques sismiques, afin de simplifier l'information et de la rendre utilisable et mieux maîtrisable durant le processus de conception architecturale.

La validation d'un tel système exige du temps et des ressources humaines et matérielles, l'évaluation du système proposé est basée sur l'acquisition d'information, savoir et expertise et sur les caractères du répertoire des concepteurs. De ce fait, l'application peut à peine être évaluée en dehors de ce cadre de recherche. Cependant, et pour des raisons scientifiques et des moyens mis à notre disposition, un tel scénario n'était pas possible à achever. Enfin, nous souhaitons, que cette recherche suscitera des discussions pouvant contribuer à l'élaboration de mesures nouvelles susceptibles de sauver des vies humaines inestimables.

Bibliographie

Abed, H. and Rezoug, N. (2009) 'Intégration de la logique floue dans le raisonnement à base de cas : application dans le domaine du bâtiment', in Université de M'sila (ed.) *STIC'09*. Algérie, pp. 1–6. Available at: <http://www.univ-msila.dz>.

Afps (2003) *LE SÉISME DU 21 MAI 2003 EN ALGÉRIE*. France. Available at: [http://www.afps_seisme.org/content/download/34399/740260/file/AFPS_Rapport_mission_2003_Seisme_Boumerdes_\(Algerie\)_2.pdf](http://www.afps_seisme.org/content/download/34399/740260/file/AFPS_Rapport_mission_2003_Seisme_Boumerdes_(Algerie)_2.pdf).

AFPS (2004) *Guide de la conception parasismique des bâtiments*. 2nd edn. France: Eyrolles. Available at: www.editions-eyrolles.com.

Agnar, A. and Plaza, E. (1994) 'Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations and System Approaches.', *AI Communications*, 7(1), pp. 39–59.

Alexander, C. (1971) *De la synthèse de forme, essai*. Edited by Dunad. Paris : France.

Aloui, A. (2007) 'L ' Analyse Morphologique comme méthode d ' aide à la créativité en conception L ' Analyse Morphologique comme méthode d ' aide à la créativité en conception', in Université Jean Moulin Lyon III and Institut d'Administration des Entreprises (eds). France: Centre de Recherche MAGELLAN, pp. 1–15.

Altinok, Y. *et al.* (2005) '1881 and 1949 earthquakes at the Chios-Cesme Strait (Aegean Sea) and their relation to tsunamis', *Natural Hazards Earth System Science*, 5(5), pp. 717–725.

Ambraseys, N. (1997) 'Thoughts on the Concepts of Seismic Hazards, Vulnerability and Seismic Risk', in *9th European Conference on Earthquake Engineering*. Moscow, pp. 77–86.

Ayadi, A. *et al.* (2002) 'Seismotectonics and seismic quietness of the Oranie region (western Algeria): The Mascara earthquake of August 18th 1994, Mw = 5.7, Ms = 6.0', *Journal of Seismology*, 6(1), pp. 13–23.

Ayadi, A. and Bezzeghoud, M. (2015) 'Seismicity of Algeria from 1365 to 2013: Maximum observed intensity map (MOI2014)', *Seismological Research Letters*, 86(1), pp. 1–9.

Badra, F. (2009) Extraction de connaissances d'adaptation en raisonnement à partir de cas. L'Ecole doctorale IAEM Lorraine UFR STMIA.

Balandier, P. (1999) Le seisme et les sites constructibles. Guadeloupe.

Béguin, P. (1997) 'L'activité de travail : facteur d'intégration durant les processus de conception', in Bossard, P., C., C., and P., L. (eds) *Ingénierie concourante : de la technique au social*. Economica.

Benabdefattah, M. (2010) Contribution méthodologique : L'intégration des exigences parasismiques architecturales dans le processus de conception du projet architectural. EPAU D'Alger.

Benabdefattah, M. *et al.* (2018) 'L'intégration du " RBC" a la prise de décision pour assister l'architecture parasismique ; contribution méthodologique', *African Review of Science, Technology and Development*, 3(1), pp. 7–17.

Benabdefattah, M. and Kehila, Y. (2016) 'The applicability of "Seismic vulnerability index" to assist the architect during the conceptual phases', in 2nd International Conference on Integrated Environmental Management for Sustainable Development (ed.) *Environmental and Health Risk Assessment*. Sousse, Tunisia: Springer Cham, pp. 441–442. Available at: ISSN 1737-3638.

Benabdefattah, M., Kehila, Y. and Makhloufi, A. (2018) 'Meeting Paraseismic Knowledge Needs of Algerian Architects', in Kalle, A. *et al.* (eds) *Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions*. EMCEI 2017. Tunisie: Springer, Cham, pp. 1903–1906. Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-70548-4_549.

- Beneddouch, A. (1998) *Le processus d'élaboration d'un projet d'architecture*. 1st edn. Montréal, Paris: L'Harmattan.
- Benedetti, D., Benzoni, G. and Parisi, M. A. (1988) 'Seismic Vulnerability and Risk Evaluation for Old Urban Nuclei', *Earthquake Engineering and Structural Engineering and Structural Dynamics*, 16(1), pp. 103–201.
- Benouar, D. (1994) 'Material for the investigation of the seismicity of Algeria and adjacent region during the twentieth century', *Annals of Geophysics*, 37(4), p. 860.
- Bensaïbi, M. (2000) 'Estimation de la Qualité Sismique des Constructions en Maçonnerie', in *Deuxième Colloque National de Génie Parasismique*. Alger, Algerie.
- Berthold, M. R. (2007) 'Fuzzy Logic', in Data Analysis Research Lab (ed.) *Intelligent Data Analysis*. USA: Tripos Inc, pp. 321–350. Available at: https://link.springer.com/content/pdf/10.../978-3-540-48625-1_9.pdf.
- Bertrand, E. *et al.* (2001) *Le petit Larousse illustré*. Edited by Collectif. Paris : France: Larousse.
- Berwick, R. (2017) 'ENDS / MEANS SPECIFICATION', in *Univ. of Sussex Library*. Sussex UK: cambridge, pp. 48–62. doi: [file:///www.cambridge.org/core/terms.https://doi.org/10.1017/CBO9781139524520.006](https://doi.org/10.1017/CBO9781139524520.006).
- Bichindaritz, I. (1995) 'Incremental concept learning and case-based reasoning: for a cooperative approach', in I.D. Watson (ed.) *Progress in case-based reasoning*. Berlin: Springer, pp. 91–106.
- Bignon, J.-C. *et al.* (1998) 'Extraction et indexation d'images appliquées au domaine de la conception architecturale et technique', *CRAI*, 1(01/1998), pp. 1–13.
- Boudon, P. *et al.* (1992) *Enseigner la conception architecturale, cours d'architecturologie*. Première. Paris : France: Les éditions de la Villette.
- Boukri, M. (2003) Determination of the Vulnerability Index of Algiers Masonry Buildings. Université Saad Dahleb de Blida.
- Boukri, M. (2014) Vulnérabilité sismique du bâti algérien : développement d'un outil d'aide à la décision. Saad Dahleb de Blida.

- Bozinovski, Z. and Gavrilovic, P. (1993) *Static, Dynamic and Ultimate State of Masonry Buildings Subjected to Vertical and Horizontal Loads*. SDUAMB. Edited by Institute of Earthquake engineering and Engineering Seismology. Republic of Macedonia: IEEEES.
- Bret, M. (1988) *Image de synthèse : méthodes et algorithmes pour la réalisation d'images numériques*. Bo-Pré. Edited by St-Jean/Richelieu. France: Dunod.
- Broadbent, G. (1988) *Design in architecture, architecture and human sciences*. London UK: Wiley and sons.
- Buist, E. (2004) *Processus de raisonnement à base de cas*. Montréal. Available at: www.iro.umontreal.ca/~aimeur/cours/ift6261/.../cbr-presentation.pdf.
- Celliers, P. (1998) *Complexity and postmodernism*. London UK: Rout Ledge.
- CGS (Centre national de Génie Parasismique) (2003) *Règles Parasismiques Algériennes*. Ministère de l'habitat : Algérie: DTR.
- Chebance, M. (2001) *Les méthodologies d'évaluation de l'aléa sismique , période 1995-2001*. Lyon France.
- CNOA (2017) *Tableau national des architectes*. Algérie.
- Cochrane, S. W. and Schaad, W. . (1992) 'Assessment of Earthquake Vulnerability of Buildings', in *The 10th World Conference on Earthquake Engineering (ed.) Proceedings of the 10th World Conference on Earthquake Engineering*. Madrid, Spain.
- Conan, M. (1990) *Concevoir un projet d'architecture*. Paris : France: L'Harmattan.
- Cox, E. (1994) *The fuzzy systems*. Cambridge. UK: Academic Press.
- Daniel, S. (1997) *Proposition pour une approche déclarative des ambiances dans le projet architectural, application à l'ensoleillement*. L'Ecole Centrale de Nantes.
- Denis, M. (1989) *Image et cognition*. France: Presses universitaires de France.
- Depecker, P. *et al.* (2000) 'Aide à la décision et structure d'outils pour la conception thermique des bâtiments, typologie, modes d'usage, incertitude', in *2eme Conférence*

Internationale sur l'Aide à la Décision dans le Domaine Génie Civil et Urbain. Lyon: France, pp. 869–884.

Djaalali, F. (1997) *Etude de la Vulnérabilité Sismique des Structures en Maçonnerie*. L'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Algérie.

Djafi, F. (2005) L'apport du réalisme visuel à la représentation de l'image de synthèse dans un contexte de conception architecturale assistée par ordinateur (CAAO) Résumé. L'université Laval QUÉBEC : Faculté des études supérieures.

Dubois, D. and Prade, H. (1991) *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*. Georgia In, *Mathematics in science and engineering*. Georgia In. Edited by F. A. William. London : UK: ACADEMIC PRESS, INC.

Duplay, C. and Duplay, M. (1982) *Méthode illustrée de création architecturale*. Paris : France: Le Moniteur.

Ebrahimi, A. M. and Shojaeezand, A. (2016) 'A critical study of fuzzy logic as a scientific method in social sciences', *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 8(2S), pp. 68–98. Available at: <http://www.jfas.info>.

Eduardo Breviglieri, P. de C. (2005) Méthode d'aide à la conception architecturale basée sur l'analyse multicritère et sur des données simulées des comportements des bâtiments. l'Université Fédérale de Juiz de Fora.

EERI (Earthquake Engineering Research Institute) (1992) *The Cairo, Egypt, earthquake of October 12, 1992*. Available at: https://www.eeri.org/lfe/pdf/egypt_cairo_1992_newsletter_1.pdf.

EERI (Earthquake Engineering Research Institute) (1998) *Turkish earthquakes: Two reports; lessons from Adana-Ceyhan quake and Dinar aftershock*. Available at: https://www.eeri.org/lfe/pdf/Turkey_Adana_Ceyhan_Insert_Sep98.pdf.

EERI (Earthquake Engineering Research Institute) (1999) 'The Athens, Greece, earthquake of September 7, 1999', *EERI newsletter*. Available at: https://www.eeri.org/lfe/pdf/greece_athens_eeri_preliminary_report.pdf.

EERI (Earthquake Engineering Research Institute) (2003a) 'Learning from Earthquakes Preliminary Observations on the August 14, 2003, Lefkada Island

(Western Greece) Earthquake’, *EERI newsletter*. Available at: https://www.eeri.org/lfe/pdf/greece_lefkada_eeri_preliminary_rpt.pdf.

EERI (Earthquake Engineering Research Institute) (2003b) *Preliminary observations on the October 31–November 1, 2002 Molise, Italy, earthquake sequence*. Available at: https://www.eeri.org/lfe/pdf/italy_molise_eeri_report.pdf.

EERI (Earthquake Engineering Research Institute) (2004) *Learning from Earthquakes Preliminary Observations on the Al Hoceima, Morocco, Earthquake of February 24, 2004*. Available at: https://www.eeri.org/lfe/pdf/morocco_alhoceima_eeri_preliminary_report.pdf.

EERI (Earthquake Engineering Research Institute) (2006) The kythira (greece) earthquake of January 8, 2006: preliminary report on strong motion data, geotechnical and structural damage. Available at: https://www.eeri.org/lfe/pdf/greece_kythira_ITSAK.pdf.

EERI (Earthquake Engineering Research Institute) (2012) *The Mw 7.1 Ercis, -Van, Turkey earthquake of October 23, 2011*. Available at: <https://www.eeri.org/wp-content/uploads/Oct-11.pdf>.

‘EERI egypt_cairo_1992_newsletter_1.pdf’ (no date).

Elandaloussi, S. (2013) Développement d’un WEB-MAS pour la conception et fabrication assistées par ordinateur : application à un atelier de pièces mécaniques. Université d’Oran.

Elmasri, M. (2002) ‘العولمة او التعولم من خلال نعمتي الامن من الخوف و الجوع’, *Revue Elhakika: Université d’Adrar*, 1(1), pp. 43–58.

Epron, J. P. (1992) ‘Le travail de projet, La théorie de la correction’, in *Les architectes et le projet*. Liège : France: Pierre Mardaga, pp. 143–246.

Fernandez, P. (1996a) ‘Modalités d’intégration des contraintes énergétiques dans le processus de conception’, in *3ème rencontre des doctorants des écoles d’architecture*. Toulouse : France.

Fernandez, P. (1996b) Stratégie d’intégration de la composante énergétique dans la pédagogie du projet d’architecture. L’Ecole des mines.

Fernini-Hafif, A. (2008) *Evaluation méthodologique de la vulnérabilité urbaine face aux risques majeurs naturels*. L'Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme EPAU d'Alger.

Foufa, A. (2001) 'La vulnérabilité sismique du patrimoine bâti et le future urbain des grandes villes Algériennes', in SIEPA (ed.) *Enseignement et pratique de l'architecture, quelles perspectives ?* Alger, Algeria: EPAU d'Alger.

Fustier, M. (1989) *La résolution de problèmes : méthodologie de l'action*. ESF et Librairies techniques.

GNU (2018) 'Scientific Programming Language : Octave'. USA. Available at: <https://www.gnu.org/software/octave/>.

Guettiche, A., Guéguen, P. and Mimoune, M. (2017) 'Seismic vulnerability assessment of a typical Algerian urbanization using association rule learning—Application to the city of Constantine, Algeria', *Natural Hazards*, 86(3), pp. 1223–1245.

Guillerme, L. (1998) *Analyse du role des références dans la conception, éléments pour une dynamique de representation du projetd'ambiance lumineuse en architecture*. Université de Nantes : France.

Gupta, K. (2007) *A Practical Guide to Needs Assessment*. Second Edi. Edited by Updated and expanded by Catherine M. Sleezer and Darlene F. Russ-Eft. USA: Pfeiffer. John Wiley & Sons, Inc.

Halin, G., Chaabouni, S. and Bignon, J. (2007) 'Recherche de références par l'image dédiée à l'assistance à la conception architecturale', in *La conception Architecturale Numérique*. France: SCAN'07, pp. 1–13. Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00188793/document>.

Heylighen, A. (2000) *In case of architectural design, critique and praise of case based design in architecture*. katholieke universiteit leuven.

EL HOR, A. (1994) *Le parasismique vers une meilleure sécurité et plus d'économie*. Agadir: Maroco: Rotary club Agadir vallée du Souss.

JAEE (Japan Association of Earthquake Engineering) (2003) *Boumerdes earthquake, May 21, 2003. Japanese Reconnaissance Team, JAEE report*. Japan. Available at: http://www.jsce.or.jp/library/eq_repo/Vol2/04/algeriareport.pdf.

Jones, C. (1980) *design methods, seeds of human futures*. New York: John Wiley and sons.

JORADP (2004) Loi n° 04-20 du 13 Dhou El Kaada 1425 correspondant au 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable. Algerie: Loi. Available at: <https://www.joradp.dz/jo2000/2004/084/FP13.pdf>.

Jungmann, J. P. (1996) *L'image en architecture : de la représentation et de son empreinte utopique*. Paris : France: Éditions de la Villette.

Kacher, S. (2005) Proposition d'une méthode de référencement d'images pour assister la conception architecturale : Application à la recherche d'ouvrages. L'Institut National Polytechnique de Lorrain.

Kamble, S. J., Singh, A. and Kharat, M. G. (2017) 'A hybrid life cycle assessment based fuzzy multi-criteria decision making approach for evaluation and selection of an appropriate municipal wastewater treatment technology', *Euro-Mediterr J Environ Integr*, 2(9). doi: doi.org/10.1007/s41207-017-0019-8.

Kaufmann, A. and Gupta, M. M. (1985) *Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications*. New York: NY: Van Nostrand Reinhold.

Kedroussi, B. (2007) 'Séisme d'Alger / Boumerdès du 21 Mai 2003" Analyses et commentaires', in JTLDVO (ed.) *La qualité et la durée de vie des ouvrages : vers des bétons de hautes performances*. Algerie: Université Saad Dahleb de Blida.

Kert, C. M. (1995) Les techniques de prévision et de prévention des risques naturels : séismes et mouvements de terrain. Rapport de l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifique et technologiques Tome 1 : conclusions du rapporteur. France. Available at: <http://www.assemblee-nationale.fr/rap-oecst/risque95/somseism.asp>.

- Khelifi, L. (2006) Contribution méthodologique à la conception bioclimatique en architecture. Développement de modèles génériques. L'école polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme EPAU d'Alger: Algérie.
- Kolodner, J. L. (1993) *Case-Based Reasoning*. Edited by M. Kaufmann. Institute for the Learning Sciences, Northwestern University: San Mateo, CA.
- Laaroussi, A. (2007) Assister la conduite de la conception en architecture: vers un système d'information orienté pilotage des processus. Institut National Polytechnique de Lorraine.
- Lawson, B. (1990) *How design in mind*. Oxford : Butterworth.
- Lebahar, J. C. (1983) le dessin d'architecte simulation graphique et réduction d'incertitude. Roquevaire: Parenthèses.
- Leplat, J. (2002) 'De l'étude de cas à l'analyse de l'activité', *OpenEdition Journals*, 4(2), pp. 0–34. doi: 10.4000/pistes.3658.
- Louati, A. *et al.* (2016) 'A Case-Based Reasoning System to Control Traffic at Signalized Intersections', *IFAC, Science Direct*. Elsevier B.V., 49(5), pp. 149–154. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.07.105.
- Madelaigue, C. (1987) Renforcement du Bâtiment Existant en Zone Sismique. L'université de Paris.
- Mamdani, E. H. (1997) 'Applications of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis', *IEEE Transactions on computers*, 26(12), pp. 1182–1191.
- Mangin, N. (2010) 'Les sciences de l'artificiel, Herbert A. SIMON (1969), Fiche de lecture', in *Philosophie, Ethique, comptabilité et contrôle*, p. 21.
- Math Works (2009) 'Matlab, the Language of Technical Computing. Inc.'
- Mazouz, S. (2004) *Eléments de conception architecturale*. Alger, Algérie: OPU.
- Mazouz, S. and Zeouala, M. S. (2001) 'The integration of environmental variables in the process of architectural design; the contribution of expert systems', *Elsevier, J. Energy and Buildings*, 33(1), pp. 699–710.

- McLeod, S. (2007) *Maslow's Hierarchy of Needs*. Highgate Counselling Centre, CT2 Paper 1. Available at: <http://www.simplypsychology.org/maslow.htm> (Accessed: 2 January 2013).
- Moghtadai, B., Gholipour-Kanani, Y. and Rezaeian, J. (2016) 'Evaluating contractors using fuzzy inference systems', *J. Fundam. Appl. Sci*, 8(2S), pp. 1013–1023. doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v8i2s.525>.
- Mohamed, B. *et al.* (2018) 'Towards an Algerian earthquake-resistant BIM software used during the very early schematic design phase of an architectural project', *IEEEEXPLORE*, 1(1), pp. 01–08. doi: [Doi: 10.1109/ICOA.2018.8370553](https://doi.org/10.1109/ICOA.2018.8370553).
- Moles, A. and Zetmann, C. (1971) *La communication : Le dictionnaire du savoir moderne*. Edited by C. Shannon and M. M. Luhan. Paris : France: De Noel.
- Newell, A. and Simon, H. (1972) *Human problem solving*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall.
- NI, L. (2018) 'Software for next test, measurement, or control project'. National Instruments. Available at: <http://www.ni.com/en-lb/shop/labview/download.html>.
- NOAA (2016) *The Significant earthquake database*. Available at: <https://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/form?t=101650&s=1&d=1>.
- Nouas, Z. (2006) 'Vulnérabilité Sismique Urbaine', in *ville et risque*. Constantine : Algérie, pp. 1–8.
- Olin, N. (2005) Vue générale sur la gestion de catastrophes, programme de formation à la gestion des catastrophes, PNUD-DHA-UNDOR : Programme National de Prévention du Risque Sismique. France.
- ONS (Office National des Statistiques) (2018) *démographie, 2018*. Available at: <http://www.ons.dz/-Demographie-.html> (Accessed: 15 June 2018).
- Payany, M. (1983) *Le Séisme de 1909 d'après les documents de l'époque. Document technique A: Simulation du séisme provençal de 1909*. Aix-en-Provence : France. Available at: http://observatoire-regional-risques-paca.fr/sites/default/files/biblio/SEI_EVT_1909_SEISME_DOSSIER_TECH_A.pdf.

Perrin, N. (2004) *Approche inverse Approche inverse pour la résolution de contraintes pour la résolution de contraintes structurelles dans le projet architectural*. L'université Henri Poincaré.

Petrovski, J. and Milutovic, Z. (1990) 'Development of vulnerability function based en Empirical data from September 19, 1985 Micheacan Mexico Earthquake.', in *Proceedings of the 9th European Conference on Earthquake Engineering*. Moscow, pp. 258–268.

Prost, R. (1992) *Conception architecturale une investigation méthodologique*. Paris : France: L'Harmattan.

Prost, R. (2002) 'Enjeux contemporains pour l'actualisation des stratégies de formation en architecture', in Sous la direction de Ali Chikrouhou et André Sauvage (ed.) *Conception d'Architecture, Le projet à l'épreuve de l'enseignement*. L'Harmattan, pp. 41–55.

Ragon, M. (1985) *L'homme et les villes*. Berger-Levrault : Paris.

Raynaud, D. (2002) *Cinq essais sur l'architecture, étude sur la conception de projets de l'atelier Zô, Scarpa. Le Corbusier, Pei, Harmattan*.

Riesbeck, C. K. and Schank, R. C. (1989) *Inside Case-Based Reasoning*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc. : Hillsdale.

Ristic, D., Petrovski, J. and Nocevski, N. (1990) 'Theoretical Vulnerability Function of Existing Buildings for Damage Prediction and Earthquake Risk Mitigation', in 9(01) (ed.) *Proceedings of the 9th European Conference on Earthquake Engineering*. Moscow, pp. 268–277.

RMS (Risk Management Solutions) (2008) *The 1908 Messina earthquake: 100-year retrospective*. Available at: http://forms2.rms.com/rs/729-DJX-565/images/eq_1908_messina_eq.pdf.

Rowe, P. . (1987) *Design Thinking*. MIT press : Cambridge.

Sandi, H. (1990) 'Vulnerability and Risk Analysis', in *Proceedings of the 9th conference on Earthquake Engineering*. Moscow, pp. 88–107.

Sankar, S. and Simon, C. (2004) *Foundation of soft case-based-reasoning*.

- Scaletsky, C. (2003) Rôles des références dans la conception initiale en architecture: contribution au développement d'un Système Ouvert de Références au Projet d'Architecture - le système 'Kaleidoscope'. Nancy: France: L'Institut National Polytechnique de Lorraine.
- Schön, D. A. and Wiggins, G. (1992) 'Kinds of seeing and their functions in designing', *Design Studies*, 13(2), pp. 135–156.
- Senouci, A. *et al.* (2012) 'Comparison of vulnerability methods at urban scale in view of their application to the city of Oran (Algeria)', in *15ième WCEE, LISBO'2012*, pp. 1–10. Available at: https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_1794.pdf.
- Shadkhou, S. (2007) Morphogenèse architecturale, proposition d'un opérateur morphosémantique « bomber ». Université Henri Poincaré.
- Simon, H. (2004) *Les sciences de l'artificiel*. United States: Gallimard.
- Sless, D. (1978) 'A definition of design', *Design methods and theories*, 12(2).
- Storchak, D. . (2013) 'Public release of the ISC-GEM global instrumental earthquake catalogue (1900–2009)', *Seismological Research Letters*, 84(5), pp. 810–815.
- Timothy, J. R. (2010) *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. Third Edit. New York: John Wiley and sons.
- Tric, O. (1999) Conception et projet en architecture: articulation des composantes enveloppe, structure, usage et coût dans la conception et au sein du système d'acteurs. Paris : France: L'Harmattan.
- Verrhiest, G., Aufret, C. and Roussillon, P. (2008) *Comparaison de méthodes qualitatives d'évaluation de la vulnérabilité des constructions aux séismes*. Edited by CETE Méditerranée (DREC/SVGC-SIG). France: BRGM. Available at: www.planseisme.fr/IMG/pdf/comparaison_methodes_vulnerabilite_sommaire.pdf.
- Verrhiest, G. and Winter, T. (2007) 'Séisme, Aléa Sismique, Vulnérabilité Sismique et Risque Sismique', in *journée d'étude, CETE Méditerranée*. France: BRGM, pp. 1–79.

- Visser, W. (2002) 'Conception individuelle et collective. Approche de l'ergonomie cognitive', in Borillo, M. and Goulette, J. P. (eds) *Cognition et création. Explorations cognitives des processus de conception*. Paris : France: Mardaga, pp. 311–339.
- Yelles-Chaouche, A. (2004) 'The Ain Temouchent (Algeria) earthquake of December 22nd, 1999', *Pure and Applied Geophysics*, 161(3), pp. 607–621.
- Yelles, A. (2010) 'La sismicité de la région Nord Algérienne', in CRAAG (ed.) *RNRPA, Rencontre Nationale Sur la Révision des Règles Parasismiques Algériennes RPA Alger*. Alger: Algérie.
- Zacek, M. (1996) *Construire parasismique, risque sismique, conception parasismique des bâtiments, réglementation*. Paris : France: Parenthèses.
- Zacek, M. (2010) 'Conception parasismique conception parasismique des bâtiments', in *3CP, Conférence « Concevoir et construire parasismique »*. Lyon: France, pp. 1–31.
- Zadeh, L. A. (1965) 'Fuzzy Sets', *Information and control*, 26(12), pp. 338–353.
- Zadeh, L. A. (1973) 'Outline of a new approach to analysis of complex systems and decision process', *IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics*, 3(1), pp. 28–44.
- Zadeh, L. A. (1984) 'Making computers think like people', *IEEE Spectrum*, 8(1), pp. 26–32.
- Zeisel, J. (1981) *Inquiry by Design: Tools Environmental Behavior Research*. Monterey.
- Zemmouri, N. (2005) *Daylight availability integrated modelling and evaluation: A fuzzy logic based approach*. Université Ferhat Abbas de Setif: Algérie.
- Zemmouri, N. and Schiller, M. E. (2005) 'Application of Fuzzy Logic in Interior Daylight Estimation', *Rev. Energ. Ren*, 8(1), pp. 55–62.

ANNEXE

Towards an Algerian earthquake-resistant BIM software used during the very early schematic design phase of an architectural project

Benabdelfattah Mohamed
*Ecole polytechnique
d'architecture et d'urbanisme,
EPAU d'Alger, Laboratoire
Architecture et Environnement,
LAE/EPAU, Algérie.
Algiers, Algeria
ATarchimed@gmail.com*

Kehila Youcef
*Ecole polytechnique
d'architecture et d'urbanisme,
EPAU d'Alger, Laboratoire
Architecture et Environnement,
LAE/EPAU, Algérie.
Algiers, Algeria
Kehilayoucef@yahoo.fr*

Makhloufi Abdelkrim
*Laboratory on African Studies,
Social and Human Sciences,
University of Adrar, Algeria
Algiers, Algeria
amakhloufi22@gmail.com*

Bouhania Bachir
*Laboratory on Linguistics,
Language Dynamics and
Didactics, University of Oran,
Algeria
Algiers, Algeria
bouhania@yahoo.fr*

Abstract—The lesson brought by the last seismic events demonstrates that a building can be parasismic only if it is the product of a close cooperation between an architect and a civil engineer as of the early phases of the design. However, in the Algerian context neither cooperation is provided nor device tools are used by architects during the earthquake designing process. And this is mainly due to the inadequacy of these tools to designers, especially architects. They often encounter situations in which they have to find the most suitable solutions in terms of design. Their basic task is to get hold of the maximum amount of information concerning the constraints that serve in backing the designing process. Hence, architects' experimental skills as well as know-how are essential. Here, we aim to provide the various actors with practical Algerian earthquake-resistant BIM (building information modeling) software to understand and integrate safety concepts regarding seismic risks. We propose integrating fuzzy logic to the case based reasoning and to exploit the seismic vulnerability index so as to assist the architect in his/her architectural parasismic design. This tool is based on applying a model of seismic vulnerability assessment from the very early schematic design phase of an architectural project. It gives the designer and the various actors a fragmented estimate in order to distinguish the different analysis/development situations of the project, as well as an overall understanding of the architectural concepts regarding the seismic hazard. Moreover, it offers the actors a concrete illustration so that to better identify the formal relationship between the different attributes that influence the seismic response of the building.

Keywords— *architectural design process, earthquake-resistant design, needs analysis, case based reasoning, fuzzy logic, seismic vulnerability index.*

I. INTRODUCTION

Earthquakes are natural phenomena whose occurrence can be known only in terms of probability; they are highly unpredictable. People can protect themselves from them only in a passive way i.e. through the reduction of the risks at stake. The relationship between the two traditional components (hazard and vulnerability) is considered by various approaches aiming at reducing the seismic risk, such as: (1) Actions concerning the seismic risk knowledge. (2) Crisis management

preparation. (3) Actions on town planning management (specific urban planning). (4) Acting on the hazard (impossibility of acting on the seismic hazard). (5) Actions on vulnerable elements (Earthquake-resistant codes of construction).

The northern part of the country is the area of concentration of the population and of economic and social activities; it is also a tectonically complex space, with a very high seismic vulnerability [1]. The recent disasters that the country witnessed emphasized the perception of this strong seismic vulnerability. This last is accentuated by the architectural and urban planning practices which still consider seismic safety risks as a matter of engineering only.

The need to catch up with the international architectural quality in terms of earthquake-resistant design has been neglected for a long time in the Algerian higher education and scientific research field [2]. Since 1954, the code for earthquake-resistant design was one of the priorities of the public authorities in order to take into account the seismic risks. This is clearly stated in the various promulgated legislative decrees (laws: N0 04-20; N0 90-29; N0 04-05; N0 01-20; N0 90-08; Executive decree number 04-181), the founded institutional bodies (CGS; CRAAG; CTC; CNERIB; LNHC), and the numerous amendments to the parasismic codes in particular.

Despite the fact that the parasismic rules have steadily evolved, yet the buildings conceived with regard to old codes have demonstrated a high degree of vulnerability if compared to those which comply with the recent rules (AS, PS 69, RPA 1983, RPA 1988, RPA 1999, RPA 2003) [12]. In fact those rules do not dictate any architectural prerequisites. All what they offer is just literary guidelines answering the question: « what is it to be done? ». But they do not answer the esthetics question: « how to be done? ».

The architect can reduce the seismic disaster through the conception of earthquake resistant projects, and consequently reduces the vulnerability of the other threatened challenges (people, activities, etc.) the following example is significant for

it shows how an identical risk can generate different disasters. In December 2003, three earthquakes of the same magnitude of 6.5 (MW) hit Taiwan, California (USA) and Bam (Iran) [3]. Yet, the consequences were as follows: (1) Taiwan: 0 damage, 0 victims ; (2) California: 0 damage, 1 victim ; (3) Iran (Bam): 80% of the city was destroyed, 38 000 victims.

This example confirms that the vulnerability of buildings is the field in which one can act to decrease the outcomes of seismic risk. For this reason, a reasoned and adopted parasismic design strategy is required. This work endeavors to develop a model of seismic vulnerability estimation to be used in the architectural stage of the design process. It is dedicated as a help tool during project elaboration. Following this line of thought, this paper concerns itself with:

- Collecting and conceiving a set of different conceptual strategies related to earthquake resistance design.
- Finding a way to take them into account during the designing process.
- Finally, developing a support tool to assist designers during the early conceptual stages based on the seismic vulnerability index method combined with fuzzy logic.

II. SEISMIC VULNERABILITY OF BUILDINGS

In the English literature, Birkmann presented 25 definitions, concepts and methods to systematize vulnerability [4]. Although there is no universal definition of vulnerability, various disciplines developed their own definitions and analytical visions about the meaning of vulnerability. The definition of seismic vulnerability of constructions varies from one author to another. For Benedetti, Benzoni and Parisi, the seismic vulnerability of constructions is accounted for by the degree of loss of the elements concerned with the specific results caused by well-defined factors [5]. It is defined as the degree of damage which a given earthquake of parameter X (magnitude, intensity, amplitude...) would inflict to a construction or its base [6].

In this paper, we adhere to the vision of H. Sandi (1990), who acknowledges that it is necessary to distinguish between observed vulnerability, 'Vo', and predicted vulnerability, 'Vp', [18]. The first one is evaluated starting from the observed effects of the earthquake on the building. However, the second one is estimated starting from the prediction of the effect that would be induced by a future earthquake on the construction.

III. THE SEISMIC VULNERABILITY INDEX

Among the most used methods to estimate the damage on the buildings, there is 'GNDT level II'; a method developed in Italy by the National Group for Defense from Earthquakes [7] based on the approach of GNDT 1994 [5]. It collects the same typological and constructive information for each building "unpublished" [8]. This information is combined with coefficients to define an index of vulnerability 'Iv' which characterizes the rate of damage a building undergoes when an earthquake occurs.

The vulnerability index, (Iv), indicates the state of the structure before and after the seismic event occurs. It represents

the balanced sum of the numerical values expressing the seismic quality of the structural and nonstructural elements [9].

$$Iv = \sum_{i=0}^n Ki Wi \quad (1)$$

Each parameter may have only one value estimated by observable or calculated data. Once obtained, it must be related to one vulnerability class (A, B or C). Class "A" represents constructions realized according to the actual code and presenting good resistance to earthquakes. Class "C" stands for constructions with bad resistance. "B" refers to the intermediate class which is characterized by a middling vulnerability. A distinctive coefficient is affected to each class.

S.W. Cochrane and W.H. Schaad, defined the parameters influencing the vulnerability of constructions; these include the following principal elements ([10]:

- General data (address, age, etc.....)
- Geometrical characteristics
- Structural system
- State of the ground
- State of the nonstructural elements.
- State of the various systems
- Maintenance.

The influence of the geometrical characteristics is not well-known because of its difficult quantification. Yet, Tiedmann (as cited in [10]) states that, in accordance with the seismic experience, the building vulnerability is higher - approximately four times - for moderately irregular and asymmetrical constructions compared to regular and symmetrical constructions.

IV. METHODOLOGY

The methodology for this research involved three main steps: (1) Analysing the current parasismic designing practice; (2) Integrating fuzzy case based reasoning system; and (3) Evaluate the proposed tool performance.

A. Step (1): Current condition analyze

Several tools and methods were developed to tackle the needs analysis investigation such as: questionnaires, prototypes' analysis, structured interviews, observations, informal consultations, assessment results...etc [11]. Hutchinson and Waters see that "In view of the complexity of needs which we have seen, it is desirable to use more than one of these methods. The choice will obviously depend on the time and resources available." Among those methods, it was opted for: Questionnaire survey, structured interviews, and some unstructured interviews. Triangulation of methods in collecting data was used in order to get more reliable results.

In this stage, the questionnaire survey was the main tool. It was conceived after carrying out an interview with Mazouz S. (Associate Professor at the university of Oum El bouaghi, Algeria, 2013), Zemmouri N. (Associate Professor at the university of Biskra, Algeria, 2013), Boukri M. (researcher at Algerian National Centre for Applied Research on Earthquake

Engineering, CGS, 2016), Balegh B. (Assistant Professor at African university of Adrar, Algeria, 2016) and, Lazrag A. (the head of local council of the architects order, CLOA-Adrar, Algeria, 2017). This helped to get general understanding of what designers want and suffer from. Unstructured interviews were also carried out with some architects and engineers in informal settings.

The questionnaire is made up of twenty six questions and items divided into six subcategories. These last cover three main aspects: personal information, lacks and wants, in addition to suggestions for desired architectural practice. The first category of information is about: gender, age, job, dividing of work. The second one deals with professional life and designing actors' behaviors, while the third and fourth set of questions inquire about the knowledge and scientific training level. Yet the fifth and sixth ones are devoted to the reliability of current helper software used.

B. Step (2): Fuzzy case based reasoning system

In the design process, the architect always calls upon the references and the preceding cases to back and feed his activities. He/she does not have predetermined ways of resolution. Yet they know a certain number of procedures and useful methods, and can rely on previously treated projects or existing prototypes. The case based reasoning (CBR) seems to be the closest resolution approach adapted to the problems in the act of designing. Indeed, it implies the artificial intelligence "AI" which can be used to help the architect in the parasismic design and to find optimal solutions.

The gain behind combining CBR with fuzzy logic lies precisely in its aptitude to handle imprecise sizes of satisfactions used particularly in the language of architects. In this regard, we recommend exploiting the seismic vulnerability index method to assist architects while developing their schemes, in order to make up the deficiencies witnessed in the traditional types of CBR.

C. Step (3): Evaluate the proposed tool performance

The aim of the experiments is to check two crucial points. First, verify that association concept-case allows a correct interpretation and an appropriate performance of the earthquake-resistant concepts; second, validate the practical, economic and creative benefit of the developed SeVA-Tool (seismic vulnerability assessment tool).

The experiments are supported by three defined samples. Work proceeds in exercise form of designing before and after the use of the developed tool. The drawn and written traces produced during the experimentation are also reserved. Through these experiments we could enhance our proposal, determine specific knowledge that architects need, and also define the main features of the desired teamwork approach. Additional technical validation of the proposed tool is done by comparing expert knowledge to those obtained by designed tool.

V. SAMPLE DESCRIPTION

This research targeted the Algerian architects, which was made up of 7808 Architects registered as physical persons in the national table of the Architects [12]. Their geographic

distribution regarding province seismicity is concentrate at 70,02% in the areas of high seismicity as shown in table 01.

TABLE I. GEOGRAPHIC DISTRIBUTION OF THE ALGERIAN ARCHITECTS REGARDING PROVINCE SEISMICITY

Zone	Provinces	Archi.	Z/total
Z. III, very high Seismicity	Chlef, Tipaza, and Ain defla	395	5.06 %
Z. II, Average seismicity	Bejaia, Blida Bouira, Tizi-ouzou, Alger, Jijel, Setif, Sekikda, Annaba, Guelma, Constantine, Media, Mostaghanem, M'sila, Mascara, Oran, Bourdj bou areridj, Boumerdes, El taref, Tissimsilet, Mila, Ain timouchent, Ghelizan	5072	64,96 %
Z. I, Weak seismicity	Laghouat, Oum Elbouaghi, Batna, Biskra, Tebessa, Telemcen, Tiaret, Djelfa, Saida, Sidi bel-abbes, El bayadh, Khenchla, Soukahras, Naama	1897	24,30%
Zone 0 Negligible seismicity	Adrar, Bechar, Tamanrasset, Ouargla, Ilizi, Tindouf, El ouad, Ghardaia	444	5,69%
Total.	Algeria	7808	100%

The sample is made up of 341 informants (retrieved questionnaires). Their ages varie between 25 and 61 years old, but only 15% of the participants were more than 50 years old. Approximately all of them studied only architecture, and only 19 participants have studied civil engineering as an additional formation.

VI. MEETING PARASISMIC KNOWLEDGE NEEDS OF ALGERIAN ARCHITECTS

Through questionnaires, interviews and the remarks collected during discussions with architects, we tried to understand the practices of architects and engineers with regard to the seismic vulnerability of the buildings, and their respective glances concerning the tools available at their disposal. The opening questions investigated participants' professional habits and teamwork relationships, in other terms the adopted method of collaboration and information exchange between architect/engineer.

A. Current Practices

From the data collected, we noticed that two major attitudes which the actors of the architectural parasismic design adopt. The obtained results were as follows:

93. 55% of the informants stated that they adopt the "in series practice", in which engineers intervene as amenders, being satisfied to check the feasibility of forms and structures with regard to the current standards [26]. They intervene only when the architectural part is already finished, as confirmed by Mr. Bada A., a civil engineer: « *We intervene after the achievement of the architectural designing phase* ». In fact, many architects rely entirely on civil engineers to conceive their structures and make their constructions parasismic. This habit, sometimes leads to a contradiction between the two parts of the project; the architectural part and the structural one. Yet, only 6.45% among the whole participants affirmed that they proceed the design simultaneously with the civil engineer. This practice allows a kind of reconciliation between the architect and the technical designer, Mr. Foudou A. stresses that: « *...the tight cooperation with the architect allows a wide architectural*

freedom and the project will be more interesting...»; as also confirmed by Slimani Youcef (a civil engineer in APC Adrar) «...When the work is done independently, the architect sometimes gets stuck because the structural provisions must be validated from a technical point of view...». The two actors can proceed by a common and simultaneous design of the form which allows a great creativity and a larger territory of exploration by mixing the both know-how.

B. Vis-a-vis Architects

The division between the aesthetic and mechanical aspects of architecture is gradually institutionalized particularly in Algeria in which architecture is taught in special schools such as EPAU (Architecture and Urbanism Polytechnic School) or university departments of architecture whereas completely distinct institutions are devoted to teaching civil engineering and construction industries.

The following set of questions tackled the knowledge and parasismic scientific training level. Three levels were cited in each column: good, average, and weak. The obtained results were as follows: 9.10% of the informants stated that they are good in earthquake engineering, 35.19% of the participants affirmed having an average level, and 55.71% had a weak level. 84.43% affirm that they have not had any training in the field, and they have not read any specialized books. Consequently, many architects seem rather reticent to address the question of constructions stability in a very thorough way, as shown by the head of CLOA-Adrar (local council of the architects order), Mr. Lazrag A. by saying: « *the majority of architects conceive their projects independently of the structural aspect, and in best cases, they integrate it in the corpus of idea as a system of architectural expression* ». As the large majority, they do not master structural design tools. This last is due to various factors: they are just correction tools rather than designing one, the need in terms of training, the weak master of prerequisite notions, the high complexity of software interface, and the legal requirement of involving a civil engineering study for the stability insurance encourage the negligence of the safety concept on behalf of the architects.

The participants were asked if they had any desire for learning earthquake-resistant engineering, 85% of them answer positively toward learning this field. When seeking to figure out the reasons behind this desire, the investigation unveiled that the need to finish work on time, and also economic reasons which have the same degree of importance. It is worth mentioning that only 10% of them said that they want to upgrade the architectural designing level by using safety concepts as designing materials.

The Civil engineer contributes in the satisfaction of the specific performances of the building, by designing and checking certain parts as it is mentioned by Mr. Foudou A., civil engineer in an architectural office: « *...the current practices which separate between the architectural design and the technical phase put us as insurance agents of the project stability...* ». As a result, engineers have, thus, only one focused intervention but very essential for the project.

C. Vis-a-vis the Used Software Tools

The participants were asked if they use any simulation tools, and of course, their responses were entirely negative toward existing software programmes (100%).

The current simulation tools of behavior of structure available form part of the specialized codes, and they are not usually employed in architectural practice. Their disregard by architects stems from the inadequacy of these tools for the architectural design and conception. During the early designing phases, architects do not need any validation but rather an enriching and assistant tool; as affirmed by Mr. Chirifi R. the vice head of CLOA-Adrar: « *...when conceiving we always seek nutritive sources for the project and which stimulates the architectural creativity...* »

Additionally, the majority of the architects do not use any device tools during the earthquake designing process. This is mainly due to the inadequacy of these tools to the professionals implied in the designing process, especially architects. This absence can be accounted for:

- The gap regarding their needs in the design process
- The lack of training in terms of using these tools
- The limited knowledge about earthquake designing concepts
- Architects see that the seismic resistance of buildings can be treated easily by using technical devices. Another issue is that the fact that since the civil engineering study is compulsory makes architects lazy in considering earthquake effects during early architectural design.
- The current software technical tools are out of the mastery of architects because of their extremely specialized character which requires a long period of training; this discourages their use by architects.

According to the mode of implication of the engineer in the parasismic architectural design, the use of these tools differs: (1) In case of amendment, they serve as control or sanction tools and the rectification is limited because of planning and budget reasons. Indeed, huge rectifications during advanced steps of the project imply remaking a considerable design work and at various scales. (2) In case of an early engagement with the architect, as of the draft, the engineer uses them as help and assistance tools in the technical design.

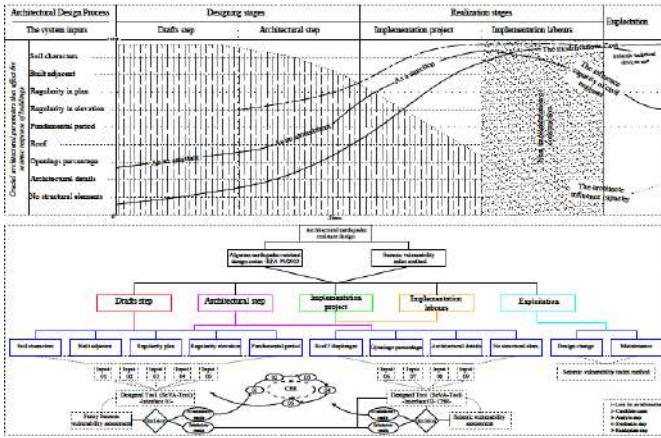
However, it should be mentioned that these codes do not provide all the necessary detailed procedures that cover all the types of constructions as well as all the possible conceptual cases that the designer can face. Therefore, the designer's experience has to be up to the level to interpret suitably the spirit of the code, without which a contrary result might occur especially in case of misinterpretation.

VII. PROPOSED ARCHITECTURAL DESIGNING APPROACH

A. Description of the suggested procedure

In the present proposal, reference carries information. CBR assists the architect in the early phases of the design by providing him/her with a method based on fuzzy logic. The first stage estimates the vulnerability of the geometrical form outlined. The results obtained are used to find new conceptual ideas to solve the problems encountered through the creative methods adopted by the architects as a reference, these projects enable the designer to identify the decisions and devices which will help him/her take conceptual choices. Accordingly, project references are to be used to deduce the conceptual decisions "Fig. 1". The method suggested consists of two different structures: a linear structure and a loop one.

Fig. 1. The proposed process diagram



The vertical linear structure defines the requirements, the earthquake design concerns, as well as the various developing phases of the project. The loop structure generates alternative solutions and allows the repetition of all activities and phases of linear structure in an iterative way. The loop structure divides the vertical linear one into loops of five successive stages. The first one estimates the vulnerability of the project conceived by the developed fuzzy system in this research. The second stage selects parasismic references from the given data. Next, an analysis phase takes place in order to suggest possible solutions. Then a synthesis step generates a candidate solution through the exploration of various combinations of the primitive elements. And finally at a later stage the obtained results are evaluated and possibly readjusted and reused. These phases are repeated until a satisfactory solution is obtained.

B. Fuzzy logic application in seismic vulnerability index assessment

Within the context of the current example of seismic vulnerability assessment, general terms associated with fuzzy logic will be introduced. In general, the problem to be solved is referred to as a system [14]. System inputs are those geometrical variables that are thought to completely determine the solution(s) to the problem, or system outputs. In the present

model the system output is seismic vulnerability assessment adopted for early phase of architectural design process.

In our case, the system inputs to be used are the values associated with geometrically influenced attributes in seismic response to the project, such as project location, regularity in plan, regularity in elevation and fundamental period which is a function of project height.

These system inputs are readily available, and their values are typically considered when an architect develops his/her scheme during draft phase. The main goal is to decrease the seismic force given by the following formula (based on the equivalent static method):

$$A = \frac{ADQ}{R} W \quad (2)$$

A: acceleration coefficient of the zone. It depends on the seismic zone.

D: average dynamic amplification.

Q: quality factor.

R: global behavior coefficient of the structure in regard to the wind-bracing system.

W: the weight of the structure.

It is clear that other attributes may be considered crucial by the designer during the earthquake resistant design of the project. Roofs, openings percentage, architectural details, non-structural elements, and even adjacent built environment are crucial to the seismic response of buildings. However, the purpose, here, is to demonstrate the method in a general case. Our focus, in this paper, is only on the early phases of the architectural design process. Based on the previous formula, the objective of our contribution is to decrease the penalties caused by the architectural part as of the draft phase. The seismic force is as follows:

$$V = f(DQW) \quad (3)$$

Where D is obtained from the following formula:

$$D = \begin{cases} 1 \\ (T_2/T)^{\frac{2}{3}} \\ (T_2/3)^{\frac{2}{3}}(3/T)^{\frac{5}{3}} \end{cases} \text{ if } T = \begin{cases} 0 \leq T \leq T_2 \\ T_2 \leq T \leq 3sec \\ T \geq 3sec \end{cases} \quad (4)$$

And Q is a quality factor. It is calculated on the basis of the following formula:

$$Q = 1 + \sum_1^n P_q \quad (5)$$

Where T_2 is the characteristic period associated with the site category (table 02).

T is the characteristic period associated with the project form.

P_q is the penalty value, it is obtained through table 03.

TABLE II. THE CHARACTERISTICS PERIODS ASSOCIATED TO THE SITE CATEGORY

Site	Values of T_1 and T_2			
	S1	S2	S3	S4
$T1(sec)$	0,15	0,15	0,15	0,15
$T2(sec)$	0,30	0,4	0,50	0,70

TABLE III. THE PENALTIES VALUES P_q

$Q = 1 + \sum_1^n P_q$		Penalties values P_q		
		Q : quality factor		
	Criteria q	observed	S/observed	N/observed
1	minimal Condition on wire of wind-bracing	0	0.025	0.05
2	plan Redundancy	0	0.025	0.05
3	Regularity in plan	0	0.025	0.05
4	Regularity in elevation	0	0.025	0.05
5	Quality control of materials	0	0.025	0.05
6	Quality control of the execution	0	0.05	0.10

The system inputs are categorized into physically significant domains called *fuzzy sets*. Fuzzy sets are simply qualitative descriptions of the chosen domains of the inputs, each of which is thought to have a specific effect on the output. Table 04 shows the fuzzy sets.

TABLE IV. FUZZY SETS IN THE SEISMIC VULNERABILITY INDEX EVALUATION EXAMPLE

Project situation	Regularity in plan	Regularity in elevation	Fundamental period
Stony	Regular	Regular	Very short
Tough	Slightly irregular	Slightly irregular	Short
Loose	irregular	irregular	Medium
Very loose			Long

According to the Algerian parasismic code, the interpretation of the qualitative description of these fuzzy sets, and the physical effect on the seismic vulnerability should be obvious. The bind value to project location is categorized according to the mechanical proprieties into one of four fuzzy sets: stony if $V_s \geq 800$ m/s, tough if $800 > V_s \geq 400$ m/s, loose if $400 > V_s \geq 200$ m/s and very loose if $200 > V_s \geq 100$ m/s [26]. Similarly, the value of fundamental period of structure is described as very short if $T < 0.3$ s, short if $0.7 \text{ s} \geq T > 0.3$ s, medium if $1.5 \text{ s} \geq T > 0.7$ s and long if $T > 1.5$ s. Knowing that the period T is calculated according to the following formulas:

$$T = C_T h_N^{\frac{3}{4}} \quad (6)$$

$$T_N = 0.09 \frac{h_N}{\sqrt{L}} \quad (7)$$

$$T_{Final} = \text{Min}(T; T_{Nxx}; T_{Nyy}) \quad (8)$$

$$T_{admiss} = 1.3 * T_{Final} \quad (9)$$

C_T : this coefficient is a function of the system of wind-bracing and the type of filling, its value is reported in the table 5.

h_N : the height of structure in meter

L : the dimension of the building, it is measured at its base in the considered calculation direction

T_{Nxx} : the fundamental period of the structure according to xx axis

T_{Nyy} : the fundamental period of the structure according to yy axis.

TABLE V. THE C_T COEFFICIENT VALUES

Case n0	The wind-bracing system	CT
01	Self-stabilizing concrete reinforced gantries without masonry filling	0.075
02	Self-stabilizing steel gantries without masonry filling	0.085
03	Self-stabilizing steel or reinforced concrete gantries with masonry filling	0.050
04	Wind-bracing ensured partially or completely by veils in reinforced concrete, triangulated sheet pilings and masonry walls	0.050

The regularity in plan and the regularity in elevation are only characterized by one of three categories; regular, slightly irregular or irregular. The plan is regular if $1 \geq L_x/L_y \geq 0.75$, slightly irregular if $0.75 > L_x/L_y \geq 0.25$, irregular if $0.25 > L_x/L_y > 0$. Similarly, the value of regularity in elevation is regarded as regular if $0.25 > 2B_m/3B \geq 0.75$, slightly irregular if $0.25 \geq 2B_m/3B \geq 0$, irregular if $1 \geq 2B_m/3B > 0.75$ [26].

Fuzzy systems are knowledge-based or rule based-systems. The determination of the fuzzy sets results exclusively from expert knowledge or knowledge of study field. We must judiciously choose these classes such that reasonable systems outputs will be found. This is the critical process of tuning, or calibrating, the system. It is here where the experience of the system developer becomes very important.

The fuzzy sets are quantitatively defined by membership functions. These functions are exact mathematical functions. They are typically very simple functions that cover a specified domain of the value of the system input.

The heart of a fuzzy system is a rules based-system. This part defines some rules for formulating the existing conditions between inputs and outputs so that the seismic vulnerability index could be evaluated using these rules and criteria. The rule base is a set of rules of the *If-Then* form. The *If* portion of a rule refers to the degree of membership in one of the fuzzy sets. The *Then* portion refers to the consequence, or the associated system output fuzzy set [15]. For example, one rule could be stated:

If (project situation is stony and plan is regular and elevation is regular and fundamental period of project is long) then (low seismic vulnerability rank).

The total number of rules equals all possible permutations of categorized system inputs. Here, there are four sets associated with the project situation and fundamental period. And three sets associated with regularity in plan and regularity in elevation. The total number of rules that completely define the set then is $4*3*3*4=144$ rules. After some simplification, this number is reduced to 65 rules.

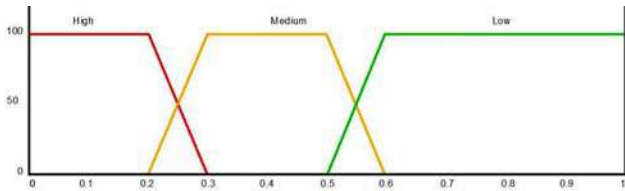
It is easy to see how the number of rules rapidly expands with each system input and related fuzzy sets. The strength of a rule is the value of its least true antecedent, or *If* portion, which is simply the degree of membership of each system input in the corresponding fuzzy set(s) [14].

C. System outputs

The variables comprising the results are called *outputs*. They are defined by membership functions similar to the inputs. The determination of seismic vulnerability index of

project (system outputs) follows from the evaluation of a set of predefined rules. Defuzzification is possible through different methods. Here, the method employed is referred to as the centroid calculation, which returns the center of area under the curve. The sets for the present example are given in “Fig. 2”.

Fig. 2. Output membership functions associated with the project seismic vulnerability



VIII. VALIDATION

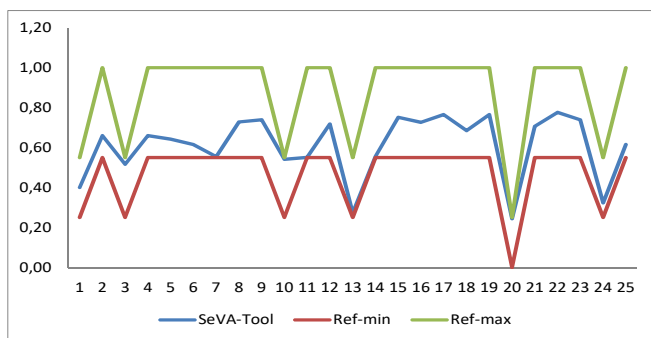
A. Technical validation

Numerous analyses have been completed to date using MATLAB Fuzzy Tool Box [16]. The following case study is presented in order to demonstrate the accuracy of the proposed seismic vulnerability assessment procedure and give the readers a direct reference for future use. A Diagram for designed SeVA system is shown in “Fig. 1”.

The validation sample is some buildings located in 80 0 houses city and Ibn Khaldoun city in Boumerdes - Algiers. The height of buildings is average, about 14m to 28m (from five to ten floors).

The validation was carried out by comparing the assessment results (function of the four exposed parameters) obtained by the experts of the CGS (National Centre for Applied Research on Earthquake Engineering) and CTC (Buildings’ technical control) of Algeria and those obtained through the proposed fuzzy inference system. The expertise is based on the estimation of the economic repercussion by estimating the penalty coefficient, and the experiment lived and/or acquired by experts of both organizations responsible for the approval, development and observation of the application of the parasismic codes in Algeria.

Fig. 3. The Seismic vulnerability assessment: obtained results (bleu), referential expertise (max, green, min, red).



The behavior of the developed tool was analyzed and its performance was compared with that of assessment results obtained by the seismic vulnerability index method. The results show that the developed fuzzy inference system achieves a

remarkable correlation with expert knowledge and seismic vulnerability index results. Encouraging results are obtained by the designed SeVA-Tool. The results are included 100% between Max-reference and Min-reference of expert knowledge “Fig. 3”. This finding indicates an excellent correlation between the designed procedure and expert knowledge, considering the four predefined attributes. The inaccuracy tolerance is due to the mistakes in measuring the attributes influencing the building seismic answer.

B. Experimental validation

The aim of the experiments was to supervise two essential features. First is to check that association Concept-Cases allows a correct interpretation and a performance appropriation of the parasismic concepts; second is to validate the practical, economic and creative benefit of the proposed help of information exchange and assessment during the early stages of parasismic architectural design. The experimentation is maintained by three categories of samples:

The first test is supported by 32 informants, fourth year students of architecture, studying at Blida university during 2008-2009, in which, I was stand-in assistant teacher; The same experiment is supported also by 210 second year architecture students at Biskra university during 2011-2012, in which, I was assistant teacher. The experiments were carried out in form of design exercise, and the main task was how to use the stability/instability concepts as designing material. These experiments unveiled three kinds of behavior: (1) 55% of the informants adopted the stability / instability concept as a main generator of the project conceptual idea (creative jump). The conceptual idea was to conceive a stable project from every angle, but each separate element is unstable. (2) 36% of the participants interpreted the safety requirements in the external aspect as an architectural language, i.e. by adding and/or creating forms which convey the feeling of safety and robustness. (3) 14% of the students keep on safe style by conceiving a very stable composition and simple forms as like the pyramid, the cube, truncated cone ... etc.

The third experiment is supported by 42 architects members of CLOA-Adrar (Local Council of Architects) who have had a master training in architecture at Adrar university, in which, I was the head of the department of science and technology during 2016-2017. The experiments were done as a design exercise in two phases; before and after the use of the developed SeVA-Tool. All drawn and written traces produced during the experimentation are also reserved.

Thanks to these experiments that we succeeded to improve our suggested procedure, determine the main parasismic knowledge that architects need, and also the main features of the suggested approach. They enabled us to check our assumption: (1) The presence of several loops of feedback makes it possible to return back in order to take into account the new information generated during the designing process; (2) The distinction between the various phases of the design process, a beginning and an end with loops between them, implies the existence of objective criteria; (3) The recourse to the CBR concept and to the graphic demonstrations at each level of the design situation gives the possibility to express the

idea of the project that one wishes to carry out, and communicate. The present experiments help improve four aspects of the parasismic designing practices:

Practical aspect: 86% of the participants appreciated the aptitude to handle the two types of information, namely; the objective part of the design and its subjective one, from where; it plays a role of mediator between the various actors. During the draft stage, the proposed tool enables users to know to what extent the conceived form complies with the seismic risks, knowing that the information available do not allow the use of the Robot (a software program used by 98% of the engineers).

Economic aspect : taking into consideration the fact of rising awareness of Architects with regard to the parasismic concept, the cost of revising and modifying after consultation of the engineer decreased to 75%, and we noted only 2 out of 42 cases which require modification of the design. This performance also reflected on the time span of finalizing a designing work which became noticeably shorter.

Architectural aspect: architects finally found a means of enriching their creativity and remaining always preventive with regard to the seismic risks [17]. They also demonstrated the three attitudes of design and passive insertion of safety concepts previously presented.

Training aspect: we have noted the didactic character of the proposed tool. It allows us to contribute in the training of architects in terms of earthquake-resistant engineering in an indirect way; meanwhile, keeping the business aspect of the architects which preclude them from devoting time to learn this crucial field which helps preserve the human life.

IX. CONCLUSION

A fuzzy logic-based seismic vulnerability assessment to assist the architect during very early schematic design phase of an architectural project has been presented. The behavior of the designed tool, called SeVA-Tool, was analyzed and its performance was compared with that of assessment results obtained by the experts of the CGS and CTC (Buildings' technical control) of Algeria. The results show that the proposed fuzzy inference system achieves an excellent correlation with expert knowledge, considering the four predefined attributes (project situation, regularity plan, regularity elevation, and fundamental period).

Our model reveals two types of information structuring the representation and the progress of the architectural project; the first answers the semantic question: « *what is to be done?* ». The answer could be considered as a source of parasismic conceptual ideas. And the second is an esthetic answer to the question: « *how will it be look like?* ». Its role is to seek conceivable solution forms. Among the advantages of the proposed design tool, founded on the fuzzy references-based reasoning, we can cite: (1) It is attached to the model conjecture-analyzes because it proposes stereotypes and solutions taken as references in parasismic architecture; (2) This assistance allows for use during all the designing situations (site, built-up areas...), to forward and feed their architectural activities following clear and understandable steps for the architects who do not have any notions of parasismic engineering.

The proposed method can be considered as a tool of anticipation, description, information, dialogue, decision-making aid, control and validation during the development process of the architectural project, and even a tool of communication with the common public.

REFERENCES

- [1] CGS, National Center for Applied Research in Earthquake Engineering, "The 1999/12/22 Ain-Temouchent earthquake," CGS., Algiers, Algeria, Rep. 02, 2000.
- [2] Benabdelfattah M., Kehila Y., Makhloufi A. (2018) Meeting Parasismic Knowledge Needs of Algerian Architects. In: Kallel A., Ksibi M., Ben Dhia H., Khélifi N. (eds) Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions. EMCEI 2017. Advances in Science, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development). Springer, Cham.
- [3] G. Verrhiest and Th. Winter, "séisme, Aléa Sismique, Vulnérabilité Sismique et Risque Sismique," presented at journée d'étude, CETE Méditerranée, BRGM, 2007.
- [4] J. Birkmann, eds., Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: conceptual frameworks and definitions. In Birkmann J. (ed.), Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies. Tokyo, Japan: United Nations University Press, 2006, pp. 9-54, Accessed on: Feb. 28, 2017, [Online].
- [5] D. Benedetti, G. Benzoni, and M. A. Parisi, "Seismic Vulnerability and Risk Evaluation for Old Urban Nuclei," *Department of Structural Engineering, Politecnico ai Milano, Earthquake Engineering and Structural Engineering and Structural Dynamics*, vol. 16, pp. 103-201, 1988.
- [6] N. Akkas, "Thoughts on the Concepts of Seismic Hazards, Vulnerability and Seismic Risk," in *Proc. 9th European Conference on Earthquake Engineering*, Moscow, 1997, Vol. 10 A, pp 77-86.
- [7] S. Giovinazzi, and S. Logomarsino, A Methodology for the Vulnerability of Built-Up Areas, Department of Structural and Geotechnical Engineering, University of Analysis Genoa. 2001.
- [8] M. Boukri, "Determination of the Vulnerability Index of Algiers Masonry Buildings," M.S. thesis, Saad Dahleb University, USDB, Blida, Algeria, 2003. Unpublished.
- [9] H. Abed and N. Rezoug. (2009). Intégration de la logique floue dans le raisonnement à base de cas : application dans le domaine du bâtiment. presented at STIC'09. Université de M'sila, Algérie. [Paper 65-1]. Available: <http://www.univ-msila.dz>
- [10] F. Bensaïbi, and M. Bensaïbi, "Estimation de la Qualité Sismique des Constructions en Maçonnerie," presented at *Deuxième Colloque National de Génie Parasismique*, Algiers, Algeria, 2000.
- [11] K. Gupta, "A Practical Guide to Needs Assessment," in *Pfeiffer, updated and expanded by Catherine M. Sleezer and Darlene F. Russ-Eft*. 2nd ed., p. 335, John Wiley & Sons, Inc., Ed., USA, 2007.
- [12] CNOA, Conseil National de l'Ordre des Architectes, "Tableau national des architectes," CNOA., Algiers, Algeria, 2017.
- [13] RPA 99, *Règles parasismiques algériennes*, DTR b c 2 48, CGS, ministère de l'habitat, Algeria, version 2003.
- [14] N. Zemmouri and M. E. Schiller, "Application of Fuzzy Logic in Interior Daylight Estimation," *Rev. Energ. Ren.*, vol. 08, pp 55-62, 2005.
- [15] A. M. Ebrahimi and A. Shojaezand, "A critical study of fuzzy logic as a scientific method in social sciences," *J. Fundam. Appl. Sci.*, vol. 8, no. 2S, pp. 68-98, 2016.
- [16] Math Works, inc.. Version 7.9.0.529 (R2009b), Copyright 1984-2009, *Matlab, the Language of Technical Computing*, 2009.
- [17] M. Benabdelfattah, Y. Kehila, H. Khelafi, N. Djarfour "L'intégration du "RBC" à la prise de décision pour assister l'architecture parasismique; contribution méthodologique," *African Review of Science, Technology and Development*, vol. 3, no. 1, pp. 7-17, 2018.



www.iciem-conference.com



Proceedings

Volume 3: Environmental and Health Risk Assessment



2nd International Conference on Integrated Environmental Management for Sustainable Development

October 27-30, 2016 Sousse - Tunisia

The applicability of * seismic vulnerability index * to assist the architect during the conceptual phase

BEN ABD ELFATTAH Mohammed ¹, KEHILA Youcef ²

¹ Université Africaine Ahmed draia ADRAR
Atarchimed@gmail.com

² Laboratoire Architecture et Environnement EPAU d'Alger-Algérie
kehilayoucef@yahoo.fr

Keywords: seismic design, tool of assistance, vulnerability index, RBC, fuzzy logic.

Introduction

In Algeria, the area of concentration of the populations and the activities is in the northern territory which is a complex tectoniquement space with very high seismic vulnerability. The recent disasters which the country recorded put at the day a perception of this strong vulnerability, accentuated by the architectural and planning practices that still consider safety from seismic risk, in the field of building is only a matter of engineering!

The architectural project is regarded as an activity of the resolution of the problem. It is the result of a long and complex **multidisciplinary process** of planning. **The architect** must orchestrate it in the most effective way by making sure that all the constraints are taken into account and satisfied. He is confronted, daily, with problems or situations to which He must bring solutions, the best possible ones. With this intention, He must have the maximum of information on the problem or the situation, and draw, especially, in his experiment, to know and know-how. Several approaches were proposed to implement this established fact in a machine and to make it possible this one to find solutions to these problems, by providing him with necessary experiment and knowledge. Among these approaches, the reasoning based case (RBC) seems closest to the human reasoning of satisfaction more adopted in the everyday life in general and the act of design in particular. Indeed, it can be used to help the architect, because he has few knowledge and information on the problems of genius seismic to solve for which an optimal solution is a prior unknown.

The interest to combine the RBC with fuzzy logic lies in its aptitude to handle sizes of vague satisfactions used in particular in the language of the architect. The integration of these tools in the process of the reasoning based case could cure the limits observed in the various types of traditional RBC. We recommend in this work to exploit the method of the seismic vulnerability index to assist the designer in the earthquake resist design by integrating fuzzy logic in the RBC.

In this research, We Were interested as a first course in the determination of the place of the concept of the reduction of the vulnerability of the new buildings and the feat of art of the seismic design in the seismic risk management as a guaranteed means of seismic protection. Our ambition is therefore to build a theoretical and methodological framework to take into account the notion of earthquake safety in the design phase of the development of the architectural project, and translate knowledge of earthquake engineering in architecture, in elements of design of the architectural project.

For this, the main line of thought implies the following concerns:

- Make a collecting and formatting the different concepts and strategies related to seismic design;
- Define a way to take into account the different approaches and strategies to prevent the earthquake during the conceptual phases
- And develop the seismic design support tool in architecture based on the seismic vulnerability index method and the reference based reasoning combined with fuzzy logic.

Méthode

Our proposal goes through three main phases: the first step is to describe and classify parameters considered necessary for the estimation of seismic vulnerability according to conceptual progress. During the second phase, we evaluated the similarity between the new design and historical cases. The third phase of the process is to use vulnerabilities of historic buildings to derive an estimate of its vulnerability in its conceptual form. We validated our system using the case of CTC and CGS Algeria.



Findings and Argument

The architectural form is incontestably one of the architectonic elements most significant in the stability of the building. The requirements of earthquake resist design can appear, during a first examination, like an architecturally impoverishing constraint. Indeed, in the seismic areas, we should seek the shape of building as simple and symmetrical as possible, as well as in the plan of rise. Many successful achievements on the **aesthetic level** prove however that earthquake resist architecture with architectural quality is possible. Therefore, beyond the aspect "mechanical behavior" by integrating the earthquake resists concerns in the architectural intention, it is possible to use the concept earthquake resist as an element of architectural expression.

Generally, as architects, It is necessary always to keep present at the spirit that we must conceive forms also ductile which offers to the buildings the aptitude to become deformed without ruptures and "digest" the energy transmitted to construction by the earth tremor.

In this case, the act to conceive earthquake resist form is also difficult, because even in the case of too flexible constructions which can become deformed in a way as such, and even if equipped with a sufficient capacity of resistance that produces the rupture, which returns the task of designer is to find a compromise to obtain the optimal combination between resistance and deformability, which is not an easything.

The originality of our work consists of applying a model of estimate in the case of estimate of the partial seismic vulnerability of the architectural projects. It is dedicated to the advance and support of the project of its conceptual, architectural and economic interests. It provides the designer with, just as with the various actors, fragmented estimates making it possible at the same time to clarify the various situations of analysis and development of the project, but also to stimulate the comprehension of the architectural earthquake resist concepts. Moreover, it gives a **concrete illustration** to the actors so that they can include/understand, unambiguous, the formal relations between the various attributes influencing the seismic answer of the structure.

Our contribution reveals two types of information structuring the representation and the advance of the architectural project: the first semantics which answers the question: **what is it necessary to make?** And the second esthetics which answers the question: **how is it necessary to make?**

It can be considered like a tool of studies making it possible **to simulate** the various earthquake resist assumptions, a means of **anticipation, description, information, dialogue, decision-making aid**, of **control** and **validation** during the process of development of the architectural project, and also a tool of **communication** towards a public not specialized.

The validation was done by comparing the results obtained by the experts of the CTC and CGS-Algeria and the results of our system. The conclusions showed that a catalyzing precision is noted in the estimates obtained and that the tolerance of the inaccuracies is dealt with at the time of the errors of measuring of the attributes influencing the seismic answer of building.

Transposition of the Genius Paraseismic Knowledge at Elements of Architectural Design; Case of Algerian Architects

Conference of the Arabian Journal of Geosciences

CAJG 2018: Recent Advances in Geo-Environmental Engineering, Geomechanics and Geotechnics, and Geohazards pp 503-505 | Cite as

- Mohamed Benabdelfattah (1) (2) Email author (benabdelfattah_med@univ-adrar.dz)
- Youcef Kehila (1)

1. Laboratoire LAE, Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme EPAU d'Alger, , Oued Smar, Algeria
2. Université Africaine Ahmed Draia, , Adrar, Algeria

Conference paper

First Online: 31 December 2018

- 643 Downloads

Part of the Advances in Science, Technology & Innovation book series (ASTI)

Abstract

Since 1954, the code for earthquake-resistant design was one of the priorities of the public authorities in order to take into account the seismic risks. The earthquake-resistant rules have steadily evolved (AS, PS 69, RPA 1983, RPA 1988, RPA 1999, RPA 2003). In fact those rules do not dictate any architectural prerequisites. All they offer is just literary guidelines answering the question: «what is it to be done?». But they do not answer the esthetic question: «how to do it?». The aim of this study was to establish a methodological framework that enables the transposition of the genius earthquake-resistant knowledge in architecture at elements of design for the project. In this work, usage needs assessment method is recommended to assist the architect in the earthquake-resistant design project. This last consists in applying a model of seismic vulnerability assessment throughout the different design stages of the architectural project. The Validation of utilized tool was achieved to check its practical, economic and creative benefits in terms of exchanging information and seismic vulnerability assessment during the early stages of architectural design.

Keywords

Design process Paraseismic design Needs analysis Vulnerability index

Algerian context

This is a preview of subscription content, [log in](#) to check access.

References

1. Benabdelfattah, M., Kehila, Y., Makhloufi, A.: Meeting paraseismic knowledge needs of Algerian architects. In: Kallel, A., Ksibi, M., Ben Dhia, H., Khélifi, N. (eds) Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions. EMCEI 2017. Advances in Science, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development). Springer, Cham (2018)
[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar?q=Benabdelfattah%2C%20M.%2C%20Kehila%2C%20Y.%2C%20Makhloufi%2C%20A.%2C%20Meeting%20paraseismic%20knowledge%20needs%20of%20Algerian%20architects.%20In%20Kallel%2C%20A.%2C%20Ksibi%2C%20M.%2C%20Ben%20Dhia%2C%20H.%2C%20Kh%2C%20Aglifi%2C%20N.%20%28Recent%20Advances%20in%20Environmental%20Science%20from%20the%20Euro-Mediterranean%20and%20Surrounding%20Regions.%20EMCEI%202017.%20Advances%20in%20Science%2C%20Technology%20%26%20Innovation%20%28IEREK%20Interdisciplinary%20Series%20for%20Sustainable%20Development%29.%20Springer%2C%20Cham%20%282018%29) (https://scholar.google.com/scholar?q=Benabdelfattah%2C%20M.%2C%20Kehila%2C%20Y.%2C%20Makhloufi%2C%20A.%2C%20Meeting%20paraseismic%20knowledge%20needs%20of%20Algerian%20architects.%20In%20Kallel%2C%20A.%2C%20Ksibi%2C%20M.%2C%20Ben%20Dhia%2C%20H.%2C%20Kh%2C%20Aglifi%2C%20N.%20%28Recent%20Advances%20in%20Environmental%20Science%20from%20the%20Euro-Mediterranean%20and%20Surrounding%20Regions.%20EMCEI%202017.%20Advances%20in%20Science%2C%20Technology%20%26%20Innovation%20%28IEREK%20Interdisciplinary%20Series%20for%20Sustainable%20Development%29.%20Springer%2C%20Cham%20%282018%29)
2. Guide de la conception parasismique des bâtiments, Association Française de Génie Parasismique, AFPS, publié avec le soutien du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD/ DPPR/ SDPRM). (2002). ISBN n° 2-911709-13-6
[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar?q=Guide%20de%20la%20conception%20parasismique%20des%20b%C3%A2timents%2C%20Association%20Fran%C3%A7aise%20de%20G%C3%A9nie%20Parasismique%2C%20AFPS%2C%20publi%C3%A9%20avec%20le%20soutien%20du%20Minist%C3%A8re%20de%20l'E2%80%99Ecologie%20et%20du%20D%C3%A9veloppement%20Durable%20%28MEDD%2F%20DPPR%2F%20SDPRM%29.%20%282002%29.%20ISBN%20n%C2%B0%202-911709-13-6) (https://scholar.google.com/scholar?q=Guide%20de%20la%20conception%20parasismique%20des%20b%C3%A2timents%2C%20Association%20Fran%C3%A7aise%20de%20G%C3%A9nie%20Parasismique%2C%20AFPS%2C%20publi%C3%A9%20avec%20le%20soutien%20du%20Minist%C3%A8re%20de%20l'E2%80%99Ecologie%20et%20du%20D%C3%A9veloppement%20Durable%20%28MEDD%2F%20DPPR%2F%20SDPRM%29.%20%282002%29.%20ISBN%20n%C2%B0%202-911709-13-6)
3. Abdelkrim, Y.: La sismicité de la région Nord Algérienne. Presented at Rencontre Nationale Sur la Révision des Règles Parasismiques Algériennes RPA, CRAAG, Alger, 10 Oct 2010
[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar?q=Abdelkrim%2C%20Y.%2C%20La%20sismicit%C3%A9%20de%20la%20r%C3%A9gion%20Nord%20Alg%C3%A9rienne.%20Presented%20at%20Rencontre%20Nationale%20Sur%20la%20R%C3%A9vision%20des%20R%C3%A8gles%20Parasismiques%20Alg%C3%A9riennes%20RPA%2C%20CRAAG%2C%20Alger%2C%2010%20Oct%202010) (https://scholar.google.com/scholar?q=Abdelkrim%2C%20Y.%2C%20La%20sismicit%C3%A9%20de%20la%20r%C3%A9gion%20Nord%20Alg%C3%A9rienne.%20Presented%20at%20Rencontre%20Nationale%20Sur%20la%20R%C3%A9vision%20des%20R%C3%A8gles%20Parasismiques%20Alg%C3%A9riennes%20RPA%2C%20CRAAG%2C%20Alger%2C%2010%20Oct%202010)
4. Benabdelfattah, M., Kehila, Y., Makhloufi, A., Bouhania, B.: Towards an Algerian earthquake-resistant BIM software used during the very early schematic design phase of an architectural project. In: IEEE—The 4th International Conference on Optimization and Applications (ICOA 2018), Morocco (2018)
[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar?q=Benabdelfattah%2C%20M.%2C%20Kehila%2C%20Y.%2C%20Makhloufi%2C%20A.%2C%20Bouhania%2C%20B.%2C%20Towards%20an%20Algerian%20earthquake-resistant%20BIM%20software%20used%20during%20the%20very%20early%20schematic%20design%20phase%20of%20an%20architectural%20project.%20In%20IEEE%20E2%80%94The%204th%20International%20Conference) (https://scholar.google.com/scholar?q=Benabdelfattah%2C%20M.%2C%20Kehila%2C%20Y.%2C%20Makhloufi%2C%20A.%2C%20Bouhania%2C%20B.%2C%20Towards%20an%20Algerian%20earthquake-resistant%20BIM%20software%20used%20during%20the%20very%20early%20schematic%20design%20phase%20of%20an%20architectural%20project.%20In%20IEEE%20E2%80%94The%204th%20International%20Conference)

%20on%20Optimization%20and%20Applications%20%28ICOA%202018%29
%2C%20Morocco%20%282018%29)

5. CNOA, Conseil National de l'Ordre des Architectes: Tableau national des architectes. CNOA., Algiers, Algeria (2017)
Google Scholar (<https://scholar.google.com/scholar?q=CNOA%2C%20Conseil%20National%20de%20l%27E2%80%99Ordre%20des%20Architectes%3A%20Tableau%20national%20des%20architectes.%20CNOA.%2C%20Algiers%2C%20Algeria%20%282017%29>)
6. Abed, H., Rezoug, N.: Intégration de la logique floue dans le raisonnement à base de cas: application dans le domaine du bâtiment, Online. (2009)
http://www.univ-msila.dz/ar/wp-content/uploads/2009/12/STIC09/articles/paper_65-1.pdf (http://www.univ-msila.dz/ar/wp-content/uploads/2009/12/STIC09/articles/paper_65-1.pdf)

Copyright information

© Springer Nature Switzerland AG 2019

About this paper

Cite this paper as:

Benabdelfattah M., Kehila Y. (2019) Transposition of the Genius Paraseismic Knowledge at Elements of Architectural Design; Case of Algerian Architects. In: Kallel A. et al. (eds) Recent Advances in Geo-Environmental Engineering, Geomechanics and Geotechnics, and Geohazards. CAJG 2018. Advances in Science, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01665-4_116

- First Online 31 December 2018
- DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-01665-4_116
- Publisher Name Springer, Cham
- Print ISBN 978-3-030-01664-7
- Online ISBN 978-3-030-01665-4
- eBook Packages [Earth and Environmental Science](#) [Earth and Environmental Science \(RO\)](#)
- [Buy this book on publisher's site](#)
- [Reprints and Permissions](#)

Personalised recommendations

SPRINGER NATURE

© 2020 Springer Nature Switzerland AG. Part of [Springer Nature](#).

Not logged in Not affiliated 41.101.157.42

INTEGRATION DU " RBC " A LA PRISE DE DECISION POUR ASSISTER L'ARCHITECTURE PARASISMIQUE; CONTRIBUTION METHODOLOGIQUE

M. Benabdelfattah ¹, Y. ¹Kehila, H. Khelafi ², N. Djarfour. ³

¹ Ecole polytechnique d'Architecture et d'urbanisme, EPAU d'Alger, laboratoire LAE, Algérie

² Université Ahmed Draya, Adrar, Laboratoire LDDI, Algérie.

³ Physics of earth laboratory, Faculty of hydrocarbons and chemistry,
University of M'hamed Bougara, Boumerdes, Algeria.

E-mail: benabdelfattah_med@univ-adrar.dz

Résumé - Le projet architectural est la résultante d'un long et complexe processus de planification de nature multidisciplinaire. Les décisions sont ordinairement prises une à une, chacune des phases du processus décisionnel étant plus ou moins conditionnée par celle qui la précède. Dans cette activité considérée comme un acte de résolution de problème, l'architecte est confronté au quotidien à des situations auxquelles, il doit apporter des solutions, les meilleurs possibles. Pour ce faire, il doit avoir un maximum d'informations sur le projet et puiser surtout, dans son expérience et son savoir-faire. Le raisonnement à base de référence (RBC) semble, le plus proche comme démarche de résolution des problèmes adoptée dans l'acte de concevoir. En effet, cette démarche peut être utilisée pour aider l'architecte dans la conception parasismique et trouver des solutions optimales. Notre ambition est donc de vouloir construire un cadre théorique et méthodologique permettant de transposer les connaissances du génie parasismique en architecture, en éléments de conception du projet architectural.

Mots clés : concevoir, forme parasismique, aide à la décision, RBC.

Summary - The elaboration of the architectural project including successive phases, is the result of a long and complex planning process of multidisciplinary nature. The decisions are usually made one by one, each phase of the decision-making process being more or less conditioned by its predecessor. In this activity, considered as an act of problem resolution, the architect always encounters problems and situations in which he has to find the best suitable solutions in terms of design. Consequently, his/their basic mission is to acquire the maximum amount of information concerning the actual constraints that will serve in facilitating the designing process. Therefore, the architect's experimental skills as well as his know-how are very important in doing so. The Reasoning Based Case (CBR) can be considered as the closest one to the human reasoning based satisfaction, which is the more adopted in the daily life and even in the act of designing in particular. Indeed, it can be used to help architects in abating the gap of lack of knowledge and information related to earthquake engineering issues and problems and for which optimal solutions are required. So our ambition is to build a theoretical and methodological framework making it possible to transpose knowledge of the parasismic genius in architecture, at elements of design of the architectural project.

Keywords: resistant-earthquake shape, architectural design, tool of assistance, Case Based Reasoning.

INTRODUCTION

Parmi les catastrophes naturelles qui affectent la surface de la terre, les tremblements de terre, qui sont sans doute celles qui ont le plus d'effets destructeurs dans les zones urbanisées. Ils ne sont pas un phénomène rare. Tous les ans, il se produit sur notre globe en moyenne vingt séismes violents. Heureusement, ils ne touchent pas toutes les zones peuplées [1]. C'est pour cela, que parmi ces milliers de tremblements de terre qui se produisent chaque année dans le monde, quelques-uns sont parfois à l'origine d'une catastrophe.

Particulièrement, le Nord de notre pays a connu dans le passé et connaît toujours une activité sismique dense ayant parfois des effets dévastateurs sur les personnes et leurs biens, à l'instar du séisme du 21 mai 2003 d'Alger- Boumerdès qui a touché la zone la plus sensible du territoire national et y a laissé des traces marquantes sur le bâti ancien et même les nouvelles constructions. L'ampleur du désastre est grande. Environ 2300 victimes et 5 milliards de dinars de dommages causés au parc immobilier [2]. Il est estimé que 98% des pertes en vies humaines sont le résultat direct de l'effondrement des constructions [3]. Ces tremblements de terre sont toujours produits, il s'en produira d'autres à l'avenir. Faute de pouvoir les éviter, on doit chercher à limiter leurs dommages graves causés aux constructions ou leur effondrement total, aux villes et même à des régions entièrement exposées à ce risque, autrement dit 'réduire le risque sismique'.

Les caractéristiques d'un séisme, comme de toute force naturelle sont décrites par les réponses à cinq questions : Quelle est la cause du phénomène? Quand et où se réalise-t-il? Qu'elle est l'intensité du phénomène ? Et quelles sont ses conséquences ? L'Homme étudie donc les phénomènes naturels, afin de prédire leurs caractéristiques et d'en prévenir (tenter d'éviter) les dommages.

La prédiction du moment où va se réaliser un phénomène naturel surtout les séismes est complexe, voire toujours inaccessible à l'Homme. Les tremblements de terre sont en effet des aléas naturels, c'est-à-dire des phénomènes naturels dont la réalisation peut être connue en termes de probabilité. Par exemple, un aléa est la probabilité qu'en un lieu et au cours d'une période donnée, une gravité d'amplitude donnée se réalise (**fig. 1(a)**). C'est la compréhension de ce phénomène naturel, réalisée par la recherche fondamentale en premier lieu, qui permet par la suite de prévenir les catastrophes.



Fig 1. : (a) : Aléa, (b) : Intérêts menacés par l'aléa, (c) : Risque Majeur

L'APPORT DU CONCEPT DE SECURITE DANS LA VIE HUMAINE

Dans le Petit Larousse illustré, la nature est définie selon deux approches :

- 1) "ensemble des êtres et des choses qui constituent l'univers", l'Homme en fait donc partie;
- 2) "l'ensemble du monde physique considéré en dehors de l'homme", une définition qui restreint la nature aux éléments biotiques et abiotiques qui entourent l'être humain, qui agissent sur lui et sur lesquels il agit en interaction. Elle s'oppose alors aux choses artificielles, c'est-à-dire créées par l'Homme, et à l'Homme qui en est exclu.

Selon cette seconde acception, les “forces naturelles” et particulièrement les “tremblements de terre” caractérisent les phénomènes naturels que l’Homme ne maîtrise pas, ne peut empêcher ou reproduire. Un séisme est un mouvement sur une faille qui engendre des secousses plus ou moins violents et destructrices à la surface du sol, (sans ignorer les petites secousses d’origine volcanique, effondrement des cavités ou autres). Ils sont parmi les catastrophes naturelles les plus destructrice pour l’humanité. Ils sont certes inévitables et presque toujours surprenants, ils entraînent trop souvent des Pertes de vies humaines ; Destruction du patrimoine bâti ; Arrêt ou ralentissement de l’activité économique.

Les individus ont toujours recherché la sécurité qui fait partie des besoins fondamentaux des hommes et des sociétés entières, et la satisfaction de ce besoin nous assure un épanouissement et un équilibre social. Dans le coran, on trouve plusieurs versets précisent que le besoin de sécurité est avant tout, le facteur primordial de chaque épanouissement que ce soit dans notre vie sur terre ou dans la vie éternel et même pour faire persuader les gens pour accéder à l’islam [4].

Pareillement, dans son pyramide, le psychologue américain MASLOW [5] établit une représentation hiérarchique des besoins de l’homme, dans lequel le besoin de sécurité succède immédiatement aux besoins physiologiques. L’insatisfaction de ce besoin entrave la satisfaction des couches supérieures de la pyramide et par conséquent nuit inévitablement à l’épanouissement des individus.

LE CADRE REGLEMENTAIRE DE LA PROTECTION AU RISQUE SISMIQUE

En Algérie, la région de concentration des populations et des activités est le territoire tellien qui est un espace tectoniquement complexe à vulnérabilité sismique très élevée. Les récentes catastrophes qu’a enregistrées le pays ont mis au jour une perception de cette forte vulnérabilité, accentuée par les pratiques architecturales et urbanistiques qui considèrent encore que la sécurité face au risque sismique, dans le domaine de bâtiment est uniquement une question d’ingénierie. Pourtant la prise en compte de la vulnérabilité offre en aval une opportunité certaine de limitation des effets des catastrophes naturelles en générale et sismiques en particulière.

En Algérie, la production des règlements de constructions parasismiques a fait l’objet d’une importante préoccupation¹ des pouvoirs publics pour la prise en compte du risque sismique depuis 1954[3]. Toutefois, Il faut noter que les codes parasismiques ne fournissent pas de prescriptions détaillées couvrant tous les types de constructions ou toutes les situations de site que l’on peut rencontrer. Donc c’est l’expérience des concepteurs qui doit être aussi suffisante pour interpréter convenablement *l’esprit des codes* qui peut parfois conduire à un résultat contraire au résultat recherché dans le cas de la mauvaise interprétation [6].

L’architecte peut jouer son rôle par la conception des ouvrages aptes à résister aux tremblements de terre qui permettent de réduire la vulnérabilité des autres enjeux menacés (personnes, activités,...etc.) , **fig. 1-(b),(c)**, et par conséquence réduire le risque sismique

¹ Cette préoccupation est illustrée par les nombreux dispositifs législatifs promulgués (lois : 04-20 ; 90-29 ; 04-05 ; 01-20 ; 90-08, décrit exécutifs n° 91-75 ; décret n° 04-181), les cadres institutionnels fondés (CGS ; CRAAG ; CTC ; CNERIB ; LNHC), et les amendements apportés aux codes parasismiques en particulier

qui est aggravé par l'augmentation de la vulnérabilité du cadre bâti et ces occupants. Un exemple significatif nous montre comment un aléa identique peut engendrer un risque différent. Le décembre 2003, trois séismes de même magnitude de 6.5 (Mw) à Taiwan, Californie et à Bam (Iran) [7] : à (Taiwan : 0 dommage, 0 victime), en (Californie : 0 dommage, 1 victime) et à Iran (Bam) : 80% de la ville détruite, 38 000 victimes.

Un exemple nous confirme que la vulnérabilité des enjeux présente jusqu'à maintenant le seul domaine où on peut agir pour diminuer le risque sismique. La vulnérabilité d'une construction (un enjeu) définit la sensibilité d'une construction à l'action de l'aléa; on la caractérise par un indice lié à la géométrie (dimensions, hauteur, forme en plan, caractéristiques architecturales) et aux matériaux de la construction. Cette notion de vulnérabilité inclut l'importance des bâtiments en termes de 'coût', mais aussi en termes de 'valeur immatérielle' et de 'vies humaines menacées'.

LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

La conception architecturale est un domaine complexe qui a fait l'objet d'investigations dans plusieurs champs scientifique, techniques et artistiques. Elle est une activité durant laquelle les concepteurs manipulent des données nombreuses et hétérogènes. Celles-ci sont nécessaires pour conduire un processus qui se caractérise à la fois par un enrichissement sémantique et par une réduction des incertitudes.

Dans cet acte de concevoir qui est à la fois complexe et les problèmes sont mal défini [8], chaque décision prise par l'architecte a des répercussions sur plusieurs aspects à travers le processus de conception. Agrandir le niveau de transparence par exemple, procure plus d'éclairage, esthétique et une meilleure vue, mais en même temps, la présence de niveaux transparents et flexible est une cause très fréquente d'effondrement des bâtiments. De ce fait, le processus de conception se présente comme un processus non linéaire mais dynamique. La solution qui émerge est le résultat d'une démarche comportant de nombreux bouclages entre les registres de problèmes et les acteurs qui en assurent la résolution, **fig.2.** [9].

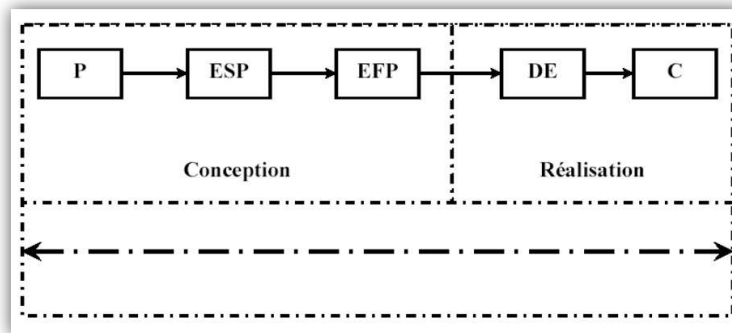


Fig 2. : Conduite des phases de conception et réalisation (Conan, 1990)

Ce n'est qu'à la fin du XV^{ème} siècle que l'architecture est devenue le support d'un discours. A cette époque, Alberti après Vitruve définit l'architecture « comme une chose mentale » dont l'objet est l'art de la vie sociale, les critères de cet art étant la « necessitas », « la

commoditas», et la « voluptas » [10]. La notion de conception est enfin introduite par Alberti à travers ce qu'il appelle l'édification dans le but de la « concinnitas » ou l'harmonie des divers critères à tous les niveaux de l'édification.

Aujourd'hui, la notion de conception est devenue un objet privilégié de recherche, elle s'applique dans un vaste domaine composé de diverses disciplines. Elle exige un niveau élevé de ressources cognitives que le concepteur emmagasine dans sa mémoire. En effet, de nombreux chercheurs et concepteurs se sont intéressés durant la deuxième moitié du 20^{ième} siècle au problème de la méthodologie et à la conception architecturale. Le nombre et la diversité des publications sur ce thème depuis une dizaine d'années en témoignent.

En se basant sur la définition du mot « conception » chez Philippe Boudon, nous constatons que la première phase de conception révèle l'existence de deux éléments : l'idée de départ ou *générateur primaire* (la « saute d'intuition » pour C. Alexander et la « boîte noire » pour J.C. Jones), et le processus (l'enchaînement des travaux) par lequel cette idée évolue, se développe et se transforme en un objet ayant le potentiel d'exister dans l'espace réelle. Le résultat de ce premier processus passe ensuite à une deuxième phase (la phase de production) qui mènent à l'élaboration des détails d'exécution et la construction finale.

D'après Philippe Fernandez, le caractère majeur qui rend difficile de modéliser ce processus réside dans la diversité des modes d'élaboration du projet. Cette diversité se traduit par des façons différentes de concilier la part objective de la conception (programme, site, réglementation,...), et sa part subjective (composition, référence,...) » [11]. C'est également une activité durant laquelle les concepteurs manipulent des données nombreuses et hétérogènes. Celles-ci sont nécessaires pour conduire un processus qui se caractérise à la fois par un enrichissement sémantique et par une réduction d'incertitudes relatives à la formulation / résolution du problème de conception.

La qualité complexe et itérative de la conception architecturale est décrite par Édith Girard : « L'architecte doit, à la fois inventer et contrôler en permanence la manière dont il invente, en sachant précisément où il en est dans l'évolution de son projet, par quelles étapes il est passé, en gardant présent à l'esprit les principales bifurcations de son itinéraire et le chemin qui lui reste à parcourir. ».

Ajoutant à ça, la diversité d'approches à suivre, l'imprécision de la demande ce sont les principaux caractères qui mettent le concepteur dans une position particulière qui libère l'espace de créativité et génère des approches multiples. Elle ne relève ni la rationalité pure, ni de l'intuition pure, et par des dosages différents de ces variables, tout semble indiquer qu'il existe autant de modèles de conduite du processus de conception architecturale que les architectes [11].

D'autre part, Celliers P. (1998) définit la conception architecturale comme un système complexe contenant un grand nombre de composants qui peuvent être simple et qui interagissent dans une dynamique favorisant l'échange de l'énergie et de l'information [12]. C'est le cas de la conception architecturale qu'actuellement plusieurs domaines la relèvent, tel que : l'acoustique, l'écologie, la science des matériaux, la mécanique des sols, le management du projet, la physique, la physiologie et la sociologie. Ces domaines sont très interconnectés, ce qui fait de la conception architecturale une activité très complexe.

Pour faire face à cette complexité, plusieurs méthodes de conception ont été créées et mises en œuvre de manière opportuniste par le concepteur afin d'extérioriser le processus de conception.

LE RAISONNEMENT A BASE DE CAS DANS L'ACTE DE CONCEVOIR

Certes, l'acte de concevoir est une activité assez complexe, c'est à la fois technique et sensible. Elle sollicite souvent une recherche d'idées et d'informations qui peuvent assister le concepteur dans l'élaboration de son projet. Cette idée a été développée par nombreux chercheurs et concepteurs, tel que Bignon, Halin, et Kacher (2004) dans leur article « *A method to index images in the wooden architecture domain* » [13], et S. Kacher (2005) dans sa thèse de doctorat [11] et autre..., ils expliquent que durant le processus de conception architecturale, le recours aux images (schémas, photos,... etc.) est essentiel. Ils considèrent que l'information transmise par l'image est plus facile à comprendre que celle transmise par le texte. Ceci résulte probablement du fait que l'image nécessite moins d'interprétations que le texte. L'image présente aussi des informations qui peuvent être directement intégrées dans le corpus des idées, des contraintes ou encore des solutions d'un projet.

Le processus d'élaboration du projet architectural est considéré comme une chaîne composée de plusieurs couples de formulations problème/solution dont chacun fait appel à des représentations spécifiques, **fig.3**. Le besoin de représentations est une nécessité qui se manifeste au niveau de l'articulation dynamique de ce couple. Elle donne la possibilité d'exprimer l'idée du projet que l'on souhaite réaliser, et de le communiquer. C'est une étape indispensable à laquelle a recours le concepteur durant les phases d'élaboration du projet. En architecture la représentation peut s'envisager comme un outil d'études permettant de simuler les différentes hypothèses, un moyen d'anticipation, de description, d'information, de concertation, d'aide à la décision, de contrôle et de validation durant le processus d'élaboration du projet architectural, et aussi un outil de communication vers un public non spécialisé.

Et comme le souligne Denis (1989) : « Il y a activité de représentation lorsqu'un objet ou lorsque les éléments d'un ensemble d'objets se trouvent exprimés, traduits, figurés, sous la forme d'un nouvel ensemble d'éléments, et qu'une correspondance systématique se trouve réalisée entre l'ensemble de départ et l'ensemble d'arrivée » [14].

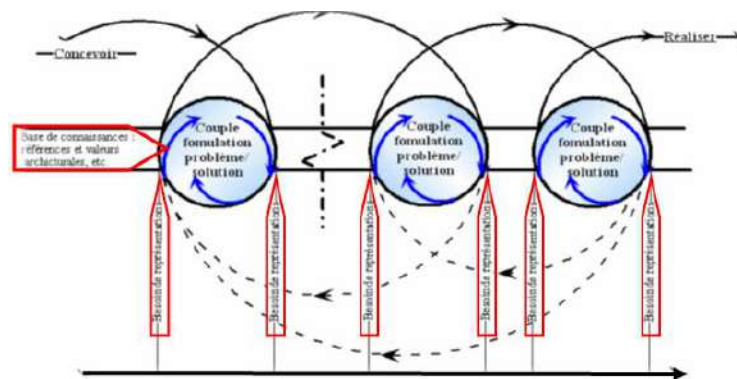


Fig 3. : Le processus d'élaboration du projet architectural DJAFI F. (2005).

L'image peut être distinguée selon deux niveaux : une représentation mentale ou graphique (physique) d'une idée ou d'un objet, apte à révéler les informations nécessaires à la progression du processus d'élaboration du projet architectural. L'image mentale désigne

toutes représentations issues d'une perception antérieure permettent au concepteur, seul, de s'en servir comme référence pour l'élaboration du projet. Elle représente un ensemble plus vaste comprenant toutes les figurations et les références architecturales acquises par le biais de la formation et de l'expérience. À ce niveau, l'image participe directement et culturellement au mode de création et d'usage de l'architecture.

Autrement dit, l'image est ici celle qui soutient la création architecturale en amont et en aval du processus d'élaboration du projet architectural. Elle est vouée ici à l'avancement du projet et au soutien de ses intérêts d'ordre conceptuels, architecturaux et notamment économiques. Elle donne au concepteur, de même qu'aux différents acteurs (maître d'œuvre, maître d'ouvrage, etc.), un ensemble de références visuelles permettant à la fois de clarifier les différentes situations d'analyse et de développement du projet, mais aussi de stimuler la compréhension du résultat architectural. De plus, ce type d'image a non seulement pour but de refléter et transmettre l'information entre les différents acteurs de la conception, mais également de donner une illustration concrète à l'utilisateur pour qu'il puisse comprendre, sans équivoque, les relations formelles entre les différents éléments constituant le projet architectural [15, 16]. **Fig.4.**

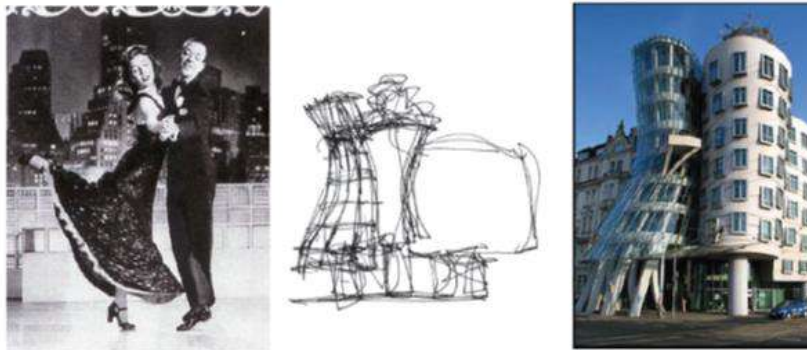


Fig 4. : Fred Astaire et Ginger Rogers / « Tancicky Dum» ou « l'immeuble qui danse », Prague, Frank O. Gehry, 1995.

Dans son ouvrage «-théorie de l'information et perception esthétique » (1972), Abraham Moles révèle deux types d'information structurant la représentation architecturale; la première sémantique qui répond à la question : qu'est-ce qu'il faut faire? Et la deuxième esthétique qui répond à la question : comment faut-il faire ?

LES FONDEMENTS DE NOTRE DEMARCHE

Parmi les actions qui émergent dans le contexte d'aide à la décision, une approche considère la notion de référence comme une voie d'aide à la résolution du problème notamment en architecture à travers l'univers culturel propre à celui-ci. La valeur cognitive de l'outil référentiel dans le processus de conception constitue aujourd'hui un présupposé commun à des actions de recherche pourtant plurielles. Cette pluralité s'explique par le caractère polyvalent du terme « référence » lui-même. Ainsi, la notion de référence, en tant

que « repère », prendra l'apparence d'un fondement, d'un principe sur lequel repose un raisonnement [17].

Particulièrement, les références imagées se construisent en amont du travail de conception par une recherche cognitive à travers une analyse des dispositifs et procédés existants. Ces références ne sont pas entendues comme un ensemble d'images seulement visuelles. Ils participent à l'appréhension de la forme architecturale par différents niveaux typologiques et topologiques ainsi que par un ensemble de concepts qui peuvent élargir la créativité architecturale [7].

L'analyse morphologique constitue un exercice clef dans le programme d'initiation du projet d'architecture et pour la constitution des références architecturales, ainsi la méthodologie proposée ici est basé sur cette idée, à savoir qu'une analyse morphologique interroge un certain nombre de références issues des exemples d'architecture parasismique. Les études montrent le besoin de pré-structurer la conception grâce à une mémoire architecturale qui rassemble, sélectionne et classe les solutions déjà développées proches du problème rencontré. Pour cela, nous avons opté pour une démarche formulée à travers des concepts tangibles véhiculant des connaissances physiques et architecturales et qui guideront notre proposition de mémoire visuel (bibliothèque de formes parasismiques, thésaurus parasismique imagé,...). **Fig.5.**

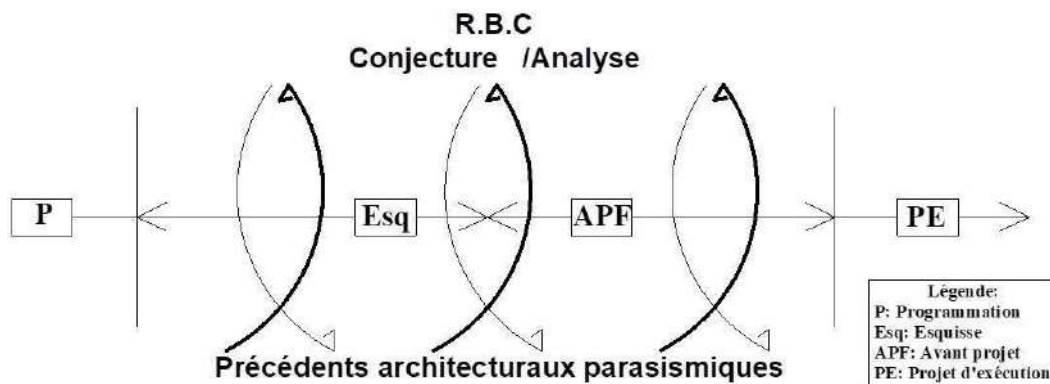


Fig 5. : Démarche proposée d'intégration des préoccupations parasismiques dans le processus de conceptions architecturale

Parmi les avantages du développement d'une mémoire de modèles et références parasismiques imagées nous citons :

1. Ils se rattachent au modèle conjecture-analyse car ils développent des stéréotypes et des solutions prises comme références en architecture parasismique;
2. Cette forme de présentation permet son utilisation à toutes les situations (site, environnement construit,...) et selon une démarche claire et intelligible pour les

architectes sans notions pointues de génie parasismique. Elle intervient même dans les phases précoces de conception et aide à la génération de la forme architecturale car l'architecte fait toujours appel aux références imagées pour avancer et alimenter leurs activités architecturales ;

3. Les références imagées, de part son caractère abstrait conceptuel peut aider l'architecte à générer une multitude de connaissances, de solutions et modèles possibles de génie parasismique du bâtiment peuvent enrichir la mémoire de l'architecte et sa créativité;
4. Ces modèles permettent une classification exhaustive des solutions logiques parasismiques en ayant des possibilités étendues de créativité architecturale et d'association de l'outil informatique;
5. Halin et al. (2007) ont identifié trois grandes fonctions différentes que l'image utilisée comme référence peut les jouer en rapport avec les moments ou la situation du concepteur, à savoir:
 - **L'image-idée** : considérée comme un support à la recherche d'idées dans les phases amont de la conception par copie ou interprétation d'une image physique.
 - **L'image-analogue** : d'après Kacher (2005), le concepteur cherche et identifier des solutions par correspondance formelle entre l'image d'un ouvrage et la situation imaginée dans un projet.
 - **L'image-modèle** : elle fonctionne comme modèle de l'ouvrage conçu. Aujourd'hui, cette fonction est supportée par les images de synthèses ou les images de réalité augmentée, qui est utilisée pour la communication du projet.
 -

CONCLUSION

La forme architecturale est incontestablement l'un des éléments architectoniques les plus importants dans la stabilité du bâtiment. Les impératifs de conception parasismique peuvent paraître, lors d'un premier examen, comme une contrainte architecturalement appauvrissant. En effet, dans les régions sismiques, on devrait rechercher des forme de bâtiment aussi simples et symétriques que possible, tant en plan qu'en élévation. Des nombreuses réalisations réussies sur le plan esthétique prouvent toutefois qu'une architecture parasismique de qualité est possible. Donc, au-delà de l'aspect "comportement mécanique" en intégrant les préoccupations parasismiques dans l'intention architecturale, il est possible d'utiliser le concept parasismique en tant qu'élément d'expression architecturale.

A partir de notre investigation, nous retenons les conclusions suivantes :

Tout d'abord, nous ne pouvons procéder à une bonne intégration des préoccupations parasismiques dans la conception architecturale sans posséder les connaissances de base. Ainsi, la connaissance des différentes stratégies de conception parasismique et les principes qui en découlent nous paraissent indispensables dans une méthodologie d'aide à la conception architecturale parasismique.

Nous constatons aussi que l'art de concevoir parasismique en architecture n'est pas une science exacte, c'est plutôt un champ d'application de connaissances d'expériences, de retour d'informations post-catastrophe et d'expérimentation des erreurs. Il est un domaine

très complexe. Il demande de prendre en compte une somme de facteurs à gérer simultanément : l'historique du lieu, le ou les types de menaces, la destination finale de l'ouvrage à projeter et à exécuter, la nature des sols, la typologie de la construction, le choix des matériaux et systèmes constructifs, l'aspect architectural ...etc.

Après analyse, nous avons constaté que la plus part de solutions architecturales parasismiques sont stéréotypées, ce qui nous offre la possibilité de les cataloguer et de les répertorier selon des logiques structurelles et formelles qui facilitent leur maîtrise par l'architecte. Ce caractère nous permet de proposer un outil d'aide destiné aux architectes et qui utilise la notion de stéréotype, les solutions prise comme des références à l'architecte pour alimenter sa base de connaissance technique et scientifique et, de simplifier l'information et de la rendre accessible et mieux maîtrisable durant le processus de conception architecturale. Un outil vise à la fois de mettre en valeur le patrimoine bâti des précédents bâtis dits parasismiques et de préserver et faire transmettre le savoir faire aux générations à venir.

REFERENCES

- [1]. M. ZACEK, " construire parasismique, risque sismique, conception parasismique des bâtiments, réglementation," *Parenthèses ed.* French, 1996.
- [2]. B. Kedroussi, " Séisme d'Alger / Boumerdès du 21 Mai 2003"Analyses et commentaires," presented at Journée technique, La qualité et la durée de vie des ouvrages : vers des bétons de hautes performances, Université Saad Dahleb, Blida, Algeria, 2007.
- [3]. A. Foufa, " la vulnérabilité sismique du patrimoine bâti et le future urbain des grandes villes Algériennes," presented at séminaire international, enseignement et pratique de l'architecture, quelles perspectives ?, EPAU, Algiers, Algeria, Apr. 23-26, 2001.
- [4]. Benabdelfattah M., Kehila Y., Makhloufi A. (2018) Meeting Paraseismic Knowledge Needs of Algerian Architects. In: Kallel A., Ksibi M., Ben Dhia H., Khélifi N. (eds) Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions. EMCEI 2017. Advances in Science, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development). Springer, Cham [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-70548-4_549
- [5]. Maslow A., (1980-1970), psychologue américain, Accessed on: Mai. 28, 2014, [Online] Available: www.quesaco.org/etude/etude-pyramide-maslow.php.
- [6]. C. Alexander, " De la synthèse de forme, essai," Dunad (ed), French, 1971.
- [7]. Bendridi H, L, 2001, les référents formels dans le processus de conception. L'appréhension de l'espace par typologie, in "conception architecturale", Ecole d'architecture de Marseille.
- [8]. B. Lawson, "How design in mind," Oxford (ed), Butterworth, 1990.
- [9].R. Prost, " conception architecturale une investigation méthodologique," l'Harmattan (ed), French, 1992.
- [10]. P. Fernandez, " stratégie d'intégration de composante énergétique dans la pédagogie du projet d'architecture," Ph.D. dissertation, école des mines de Paris, French, 1996.
- [11]. S. Kacher, " proposition d'une méthode de référencement d'images pour assister la conception architecturale : Application à la recherche d'ouvrages," Ph.D. dissertation, L'institut national polytechnique de lorraine, French, 2005.

- [12]. P. Celliers, “ complexity and postmodernism,” Rout Ledge (ed), London, UK, 1998.
- [13]. J. C. Bignon, G. Halin, S. Kacher, “A method to index images in the wooden architecture domain, Terms hierarchy and weight given to terms,” presented at the *7th International Conference on Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning*, Netherlands, Holland, jul. 2004.
- [14]. M. Denis, “ Image et cognition,” Presses universitaires de France (ed), French, 1989.
- [15]. M. Bret, “ Image de synthèse : méthodes et algorithmes pour la réalisation d’images numériques,” St-Jean/Richelieu : Bo-Pré, Dunod (ed), French, 1988.
- [16]. J. P. Jungmann, “L’image en architecture : de la représentation et de son empreinte utopique,” La Villette (ed), Paris, French, 1996.
- [17]. L. Guillaume, “ les configurations référentielles,” les cahiers de la recherche architecturale, no 42/43, p37.