
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil

Mémoire de Magister

Spécialité: Génie Civil

Option: Gestion des risques majeurs

Titre :

**Application de la méthode
RISK-UE sur les constructions
Mostaganémoise.**

Présenté par: **M. SABEUR BENDEHIBA**

Membres du jury

| | | |
|----------------------------------|--|--------------------------------|
| M. MISSOUM Hanifi | Professeur, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem | <i>Président du jury</i> |
| M. NAILI MOUNIR | Maître de Recherche –A- Centre de Recherche en Génie Parasismique | <i>Directeur de mémoire</i> |
| M. FERHAT MADANI | Maître Assistant -Université Abdelhamid Ibn Badis- Mostaganem- | <i>Co-directeur de mémoire</i> |
| M. FARSI MOHAMED NABOUSSI | Directeur de Recherche, CGS, Alger | <i>Examineur</i> |
| M. MAUCHE Said | Maitre de Recherche, CRAAG, Alger | <i>Examineur</i> |

Soutenu publiquement le 04/06/2013 à 10h00

Remerciements

Mes remerciements à ALLAH qui a éclairé mon chemin afin de compléter cette recherche
«الحمد لله»

C'est un devoir de remercier toutes les personnes qui m'ont soutenue et encouragée durant mes études de maîtrise contribuant ainsi à la réussite de ce retour aux études.

Mes plus sincères remerciements vont à mes encadreurs Mr. MOUNIR NAILI et Mr. FERHAT MADANI qui m'ont soutenu pendant toute la durée de la recherche, pour leurs suivis, encouragement et relectures.

J'adresse mes vifs remerciements à Mr. HANIFI MISSOUM, Maître de Conférences à l'Université de Mostaganem qui a accepté de présider ce jury.

J'adresse mes remerciements aux membres du jury; Mr. MAUCHE SAID, Maître de Recherche, au CRAAG, Alger et Mr. FARSI MOHAMMED NABOUSSI Directeur de Recherche au CGS, Alger, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Je remercie Mr BENDANI KARIM, Maître de Conférences à l'Université de Mostaganem et directeur de notre poste graduation, d'avoir autorisé ma soutenance.

Mes remerciements s'adressent également à mes collègues de la promotion de magistère en gestion des risques majeurs notamment : Mr. T. SALAH pour toutes les discussions, enrichissement et échange des idées dans son bureau ou bien au niveau de la DLEP de Mostaganem, Mr C. NAZIH, Mr F. BACHIR, Mr H. MOURAD, Melle M.ZOUBIDA, Mr S.MILOUD pour les nombreuses discussions.

Je tiens à remercier sincèrement Mlle MOSTEFA FOUZIA, Melle B. LYNDA et Melle B. SALIMA pour leurs encadrements et leurs aides.

Merci à tous mes collègues de la direction de la DLEP qui j'ai partagé au quotidien des moments heureux mais aussi le stress de faire avancer ma recherches. Un remerciement particulier à B.Ilham, Liazid, L.Farid, B.Mansour, M.Ahmed, M. Chrif ; B.hafid.

Enfin, je remercie ma mère, K. Djamia, Mes frères Mr S. Sadam, Mr S. mohamed et mes sœurs Mme S. Amina et Mlle S. Yamna pour leur soutien moral, leur encouragement et leur dévouement.

Résumé

La réponse des bâtiments aux sollicitations sismiques auxquelles ils sont soumis est fonction de leurs caractéristiques structurales, donc des qualités et des déficiences qui leur sont associées. Si les nouvelles structures édifiées en Algérie répondent en grande partie aux différentes versions des Règles Parasismiques Algériennes en vigueur dès 1980, le patrimoine bâti des principales villes de la marge nord d'Algérie est constitué d'un nombre important de bâtiments conçus avant l'avènement des premières règles parasismiques Algériennes. De ce fait, il est généralement admis que ces structures présentent une vulnérabilité assez élevée. Cette recherche se focalise sur l'analyse de la vulnérabilité sismique des constructions de différentes typologies et groupes d'usage, construites avant et après l'adoption des Règles Parasismiques Algérienne version 1980, dont une importante proportion possède une valeur patrimoniale ou présente un intérêt patrimonial avéré.

L'expérience acquise en Europe, particulièrement en Italie et en Suisse, dans la conservation et la préservation de bâtiments patrimoniaux et l'observation du comportement de ces structures lors de séismes ont mené au développement de différentes méthodes d'analyse. Parmi ces méthodes, on trouve l'approche RISK-UE par macroéléments, adoptée dans le cadre de cette étude. Celle-ci s'appuie sur l'hypothèse principale que les structures en maçonnerie sont constituées d'éléments structuraux «libres» qui agissent d'une manière quasi-autonome les uns par rapport aux autres.

Sur la base d'un inventaire de 51 édifices qui se trouve dans un îlot du chef lieu de la ville de Mostaganem, la méthode macrosismique RISK-UE (niveau 1) repose sur l'évaluation d'un indice de vulnérabilité pour un bâtiment donné ; indice qui est fonction de la typologie constructive du bâtiment ainsi que des différents facteurs susceptibles de modifier son comportement. A partir de cet indice, il est possible de définir, en fonction de l'intensité macrosismique de l'EMS-98, des courbes de vulnérabilité qui permettent d'évaluer la répartition des probabilités de dommages sur le bâtiment.

L'élaboration d'un formulaire permettant une évaluation rapide de la vulnérabilité des constructions est également un extrait de cette recherche. Celui-ci pourra être utilisé comme outil de gestion par les autorités locales pour le suivi du parc immobilier.

Mots-clés: vulnérabilité sismique, typologie, intensité macrosismique, probabilité de dommages, macroéléments..

Abstract

The response of buildings under seismic loads is a function of their structural characteristics, therefore the qualities and deficiencies associated with them. If the new structures meet the Algerian Earthquake Design standards established, since 1980 in Algeria, the built heritage of the major cities of the northern part of the country built before this date, consists of a large number of old buildings, characterised by a high vulnerability.

This research focuses on the vulnerability assessment of some building having different typology and structural importance erected before the endorsement of the Algerian Earthquake Design Code.

The experience gained in Europe, especially in Italy and Switzerland, in the conservation and the preservation of heritage buildings and the observation of their behaviour during earthquakes have led to the development of different methods of analysis. Among these methods, the macroelements approach was chosen. It relies on the assumption that these structures are composed of free structural elements acting in quasi-independence to each other.

On the basis of an inventory of 51 buildings built in the downtown of Mostaganem city, the main structural and nonstructural parameters modeling their seismic behavior were analyzed. The vulnerability index was assessed for each structure and the corresponding fragility curves for were derived. In order to mitigate the earthquake losses that might happen during an earthquake, a risk scenario was investigated in terms of different values of the EMS intensity scale.

Key words: Vulnerability, typology, macro seismic intensity, damage probability, macro elements.

ترتبط استجابة المباني للزلازل الارتباط وثيقا بخصائصها الهيكلية و من ثم من السـمـزايـا و النقاـص المتعلقة بها. إذا سلمنا أن المباني المنشئة منذ 1980 تخضع للمعايير المضادة للزلازل ، فإن الأمر يختلف في ما يتعلق بالتراث المبني شمال الجزائر حيث تضم مباني أقل حداثة و بالتالي فهي تمثل هشاشة مرتفعة خاصة فيما يتعلق بالمباني ذات الطابع المعماري. من هذا المنطلق ، يعتمد بحثنا أساسا في تحليل الهشاشة الزلزالية لمختلف البنايات المنجزة قبل و بعد 1980

و التي يصل عددها إلى 51 بناية مختلفة الاستعمال و تمثل في معظمها موروثا مهما. لقد أدت مختلف التجارب المتعلقة بالمحافظة و صيانة المباني التراثية في أوروبا على وجه العموم و في إيطاليا و سويسرا على وجه الخصوص إلى تطوير مختلف الطرق التحليلية نذكر منها طريقة RISK-UE و التي استعملناها في دراستنا تعتمد هذه الطريقة على أن هيكلية المباني المعمارية التي تتميز عن غيرها بأنها تحتوي على عناصر تتمتع "بحرية" عناصرها و التي لكل منها سلوك يستقل عن العنصر الآخر . و من خلال تجريد 51 بناية الموجودة على شـسـطـر من وسط مدينة مستغانم ، ارتكزت هذه الطريقة RISK UE المستوى الأول على تقييم مؤشر هشاشة بناية مرتبط أساسا بالنوع البنائي للمبنى و بمختلف العوامل المؤثرة على سلوكه و من خلال ذات المؤشر ، يمكن وضع منحنيات هشاشة من خلال الكثافة الزلزالية و التي تساعد في تقييم توزيع احتمالات الخسائر الناتجة عن المبنى إن وضع استمـسـارة تساهم في تقييم سريع لهشاشة المباني هو جزء من بحثنا حيث نعتقد إمكانية استعماله كأداة تسيير فعالة من طرف الهيئات الحكومية . من خلال ما ذكرنا ونظرا للأهمية التي يكتسبها التقييم الزلزالي لمختلف المباني الموجودة. نقتـرـح توصيات من شأنها تطوير المعلومات حول هشاشة المباني المنتشرة في الشمال الجزائري

الكلمات المفتاحية: هشاشة ، أنواع، كثافة ماكرو زلزالية، احتمال الخسائر، ماكرو عناصر

Table des matières

| | |
|---------------------|-----|
| Remerciements | III |
| Résumé | IV |
| Abstract | VI |
| ملخص..... | VII |

TABLES

| | |
|-------------------------------|----|
| Table des matières | 1 |
| Table des figures..... | 6 |
| Liste des tableaux | 10 |
| Table des photographies | 15 |
| Introduction générale | 16 |

Chapitre 1- Séismes et sismologie–notions de base

| | |
|---|----|
| 1 Evaluation de l'aléa sismique en Algérie | 22 |
| 1.1 Contexte géodynamique | 22 |
| 1.1.1 Généralités..... | 22 |
| 1.1.2 Géodynamique | 22 |
| 1.2 Sismotectonique | 24 |
| 1.2.1 Tectonique régionale et failles actives | 24 |
| 1.3 Activité sismique historique et instrumentale | 25 |
| 2 l'action sismique dans le règlement algérien R.P.A. 99 V 2003..... | 28 |
| 2.1 Le mouvement sismique de dimensionnement | 28 |
| 2.2 Classification des sites..... | 28 |
| 2.3 Classification des ouvrages | 30 |
| 3 Comportements des bâtiments | 32 |
| 3.1 Bâtiments d'habitation | 32 |
| 3.1.1 Types ossature poteaux-poutres récents en béton armé | 32 |
| 3.1.2 Type maçonnerie très ancienne sans liant du 18 ^{ème} siècle | 35 |
| 3.1.3 Type maçonnerie liée au mortier fin 19 ^{ème} et début 20 ^{ème} siècle | 37 |
| 3.2 Etablissement hospitalier | 38 |

| | | |
|-----|---|----|
| 3.3 | Etablissement religieux..... | 39 |
| 4 | Victimes et dommages | 41 |
| 4.1 | Bilan des différents séismes | 41 |
| 4.2 | Bilan séisme de 21 mai 2003 (Zemmouri) | 42 |
| 6 | Aperçu historique et sismique de la ville de Mostaganem. | 45 |
| 6.1 | Aperçu historique..... | 45 |
| 6.2 | Sismologie de la ville de Mostaganem | 48 |
| 6.3 | Evaluation du parc logement de la ville de Mostaganem (chef lieu) | 48 |
| 6.4 | Habitat ancien : problématique et actions | 49 |
| 6.5 | Estimation du volume du patrimoine ancien | 50 |
| 5 | Conclusion..... | 51 |

Chapitre 2 Méthodologie d'estimation de la vulnérabilité des bâtis existants

| | | |
|--------|--|----|
| 1 | Présentation des méthodes d'estimation de la vulnérabilité des bâtis existants. | 53 |
| 1.1 | Introduction..... | 53 |
| 1.2 | Présentation des méthodes..... | 53 |
| 1.2.1 | Méthode du CETE Méditerranée (fin des années 1990) | 54 |
| 1.2.2 | Méthode de Milan Zacek (1993) | 55 |
| 1.2.3 | Méthode de Milan Zacek, bâtiments de classe D de la ville de Nice (1997) | 56 |
| 1.2.4 | Méthode BATTIER (2002)..... | 57 |
| 1.2.5 | Méthode VULNERALP (2005) | 59 |
| 1.2.6 | Méthode du projet européen RISK-UE(2003)..... | 61 |
| 1.2.7 | Méthode Canadienne (1992) | 63 |
| 1.2.8 | Méthode du CETE de Lyon (2001) | 65 |
| 1.2.9 | Méthode Américaine FEMA-154..... | 65 |
| 1.2.10 | Grille d'évaluation suisse (2003)..... | 66 |
| 1.2.11 | Méthode néo-zélandaise (2006) : | 67 |
| 1.2.12 | Méthode japonaise (2001) | 69 |

| | | |
|--------|---|----|
| 1.2.13 | Méthode Italienne GNDT | 71 |
| 1.3 | Comparaison des différentes méthodes | 73 |
| 1.4 | Conclusions | 73 |
| 2 | Classification des dégâts aux bâtiments selon l'échelle EMS 98..... | 75 |
| 3 | Etude de critère de vulnérabilité..... | 78 |
| 3.1 | Approche du projet européen RISK-UE(2003) Im1 | 78 |
| 3.1.1 | Description | 78 |
| 3.1.2 | Évaluation qualitative de la présomption de vulnérabilité | 81 |

Chapitre 3 Étude des scénarios sismiques

| | | |
|-------|--|-----|
| 1 | Scénario du risque sismique sur les constructions de la ville de Mostaganem | 88 |
| 2 | Zone de couverture d'étude des bâtiments | 89 |
| 3 | Missions d'enquête sur le terrain d'étude..... | 94 |
| 4 | Estimation de l'indice de vulnérabilité pour les bâtiments interrogés..... | 99 |
| 4 | Estimation de degrés des dommages moyens et présentation des courbes de vulnérabilité..... | 100 |
| 4.2 | Estimation de degrés des dommages moyens pour les constructions en béton armé | 101 |
| 5 | Distribution des dommages et scénarios sismique de différentes intensités..... | 102 |
| 5.1 | Scénario sismique pour Intensité I=5 | 102 |
| 5.1.1 | Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie (date<1980) | 102 |
| 5.1.2 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé(Date <1980) | 103 |
| 5.1.3 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé(Date >1980) | 103 |
| 5.1.4 | Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique(Date >1980).... | 104 |
| 5.2 | Scénario sismique pour l'intensité I=6 | 105 |
| 5.2.1 | Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie(Date <1980)..... | 105 |
| 5.2.2 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé(Date <1980) | 106 |
| 5.2.3 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé(Date >1980)..... | 106 |
| 5.2.4 | Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique(Date >1980).... | 107 |
| 5.3 | Scénario sismique pour intensité I=7..... | 108 |
| 5.3.1 | Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie(Date <1980)..... | 108 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 5.3.2 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé(Date <1980) | 108 |
| 5.3.3 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé(Date >1980) | 109 |
| 5.3.4 | Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique(Date >1980) | 109 |
| 5.4 | Scénario sismique pour intensité I=8 | 111 |
| 5.4.1 | Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie(Date <1980)..... | 111 |
| 5.4.2 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé(Date <1980) | 112 |
| 5.4.3 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé(Date >1980) | 112 |
| 5.4.4 | Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique(Date >1980) | 113 |
| 5.5 | Scénario sismique pour intensité I=9 | 114 |
| 5.5.1 | Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie(Date <1980)..... | 114 |
| 5.5.2 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé(Date <1980) | 115 |
| 5.5.3 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé(Date >1980) | 115 |
| 5.5.4 | Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique(Date >1980) | 116 |
| 5.6 | Scénarios sismique pour intensité I=10 | 117 |
| 5.6.1 | Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie(Date <1980)..... | 117 |
| 5.6.2 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé(Date <1980) | 118 |
| 5.6.3 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé(Date >1980) | 118 |
| 5.6.4 | Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique(Date >1980) | 119 |
| 5.7 | Scénarios sismique pour intensité I=11 | 120 |
| 5.7.1 | Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie(Date <1980)..... | 120 |
| 5.7.2 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé(Date <1980) | 121 |
| 5.7.3 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé(Date >1980)..... | 121 |
| 5.7.4 | Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique(Date >1980) | 122 |
| 5.8 | Scénarios sismique pour intensité I=12 | 123 |
| 5.8.1 | Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie(Date <1980)..... | 123 |
| 5.8.2 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé(Date <1980)..... | 124 |
| 5.8.3 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé(Date >1980)..... | 124 |
| 5.8.4 | Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique(Date >1980).... | 125 |
| 6 | Cartographie de distribution des dommages..... | 126 |

| | |
|---|-----|
| 7 Exemples de scénarios sismique de certains cas de bâtiments | 131 |
| 7.1 Scénarios sismique des dommages pour la structure 14 | 131 |
| 7.2 Scénarios sismique des dommages pour la structure 7 | 134 |
| Conclusion..... | 137 |
| Bibliographie | 139 |

LES ANNEXES

| | |
|---|-----|
| Annexe 1: Sigles utilisés | 142 |
| Annexe 2: Symbole utilisé | 143 |
| Annexe 3 : Méthodologie de BASILI | 144 |
| Annexe 4 : Valeur de la vulnérabilité..... | 147 |
| Annexe 5 : Estimation des dommages moyens | 149 |
| Annexe 6 : Estimation du paramètre (r) | 151 |
| Annexe 7 : Estimation de la distribution des dommages | 153 |

Table des figures

| | | |
|--------------------|---|----|
| Figure 1.1 | Contexte géodynamique de la marge Nord-Africaine. | 23 |
| Figure 1.2 | Géographie et Géologie de l'Algérie..... | 23 |
| Figure 1.3 | Carte sismotectonique de l'Algérie du Nord..... | 24 |
| Figure 1.4 | Faille de Thénia et localisation du séisme du 21 mai 2003..... | 25 |
| Figure 1.5 | Mécanismes au foyer de séismes Nord Algériens..... | 25 |
| Figure 1.6 | Sismicité au XXème siècle en Algérie..... | 26 |
| Figure 1.7 | Intensités maximales observées en Algérie du Nord..... | 27 |
| Figure 1.8 | Cartes d'aléa sismique..... | 27 |
| Figure 1.9 | Spectres de réponse élastique normalisée pour les 4 types de sites..... | 31 |
| Figure 1.10 | Présentation des valeurs des victimes arrêtés au 17 juin 2003..... | 43 |
| Figure 1.11 | Carte du zonage sismique de la ville de Mostaganem..... | 48 |
| Figure 1.12 | Répartition globale du foncier selon les fonctions urbaines..... | 49 |
| Figure 2.1 | Typologies EMS-98 associées à une classe de vulnérabilité..... | 75 |
| Figure 2.2 | Classification des dommages du bâti en maçonnerie selon EMS-98..... | 76 |
| Figure 2.3 | Classification des dommages du bâti en béton armé selon EMS-98..... | 77 |
| Figure 2.4 | Répartition des dommages moyens en fonction des intensités..... | 85 |
| Figure 3.1 | Carte de la wilaya de Mostaganem (format Mapp info)..... | 89 |
| Figure 3.2 | Carte de la ville de Mostaganem..... | 90 |
| Figure 3.3 | Localisation de la zone d'étude dans la carte de Mostaganem..... | 91 |
| Figure 3.4 | Carte de la ville de Mostaganem (PDAU du Mostaganem)..... | 91 |
| Figure 3.5 | La zone d'étude contenant 51 constructions des différentes typologies..... | 91 |
| Figure 3.6 | Localisation de la zone d'étude par l'utilisation de Google earth (Image satellitaire)..... | 92 |
| Figure 3.7 | Catégories des constructions existantes et leurs distributions dans la zone d'étude..... | 92 |

| | | |
|--------------------|--|-----|
| Figure 3.8 | Catégories des constructions existantes et leurs distributions dans la zone d'étude..... | 93 |
| Figure 3.9 | Informations collectées des données à partir de missions d'enquête..... | 95 |
| Figure 3.10 | Date et type des constructions surveillées..... | 96 |
| Figure 3.11 | Date et type des constructions surveillées..... | 96 |
| Figure 3.12 | Typologies des constructions existantes et leurs distributions dans la zone d'étude..... | 97 |
| Figure 3.13 | Date de constructions existantes et leurs distributions dans la zone d'étude..... | 97 |
| Figure.3.14 | Date et type des constructions existants et leurs distributions dans la zone d'étude..... | 98 |
| Figure 3.15 | Distributions des indices de vulnérabilité des constructions existants dans la zone d'étude..... | 99 |
| Figure.3.16 | Distributions des indices de vulnérabilité des constructions existant..... | 99 |
| Figure 3.17 | Estimation des dommages moyens pour les constructions en maçonnerie..... | 100 |
| Figure 3.18 | Estimation des dommages moyens pour les constructions en béton armé..... | 101 |
| Figure 3.19 | Estimation des dommages moyens pour les constructions en charpente métallique..... | 101 |
| Figure 3.20 | Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie..... | 102 |
| Figure 3.21 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date <1980)..... | 103 |
| Figure 3.22 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date >1980)..... | 103 |
| Figure 3.23 | Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (date >1980)..... | 104 |
| Figure 3.24 | Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie | 105 |
| Figure 3.25 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date <1980)..... | 106 |
| Figure 3.26 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date >1980)..... | 106 |
| Figure 3.27 | Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (date >1980)..... | 107 |
| Figure 3.28 | Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie..... | 108 |
| Figure 3.29 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date <1980)..... | 108 |
| Figure 3.30 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date >1980)..... | 109 |
| Figure 3.31 | Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (date >1980)..... | 109 |
| Figure 3.32 | Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie | 111 |

| | | |
|--------------------|--|-----|
| Figure 3.33 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date <1980)..... | 112 |
| Figure 3.34 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date >1980)..... | 112 |
| Figure 3.35 | Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (date >1980)..... | 113 |
| Figure 3.36 | Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie | 114 |
| Figure 3.37 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date <1980)..... | 115 |
| Figure 3.38 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date >1980)..... | 115 |
| Figure 3.39 | Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (date >1980)..... | 116 |
| Figure 3.40 | Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie..... | 117 |
| Figure 3.41 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date <1980)..... | 118 |
| Figure 3.42 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date >1980)..... | 118 |
| Figure 3.43 | Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (date >1980)..... | 119 |
| Figure 3.44 | Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie..... | 120 |
| Figure 3.45 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date <1980)..... | 121 |
| Figure 3.46 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date >1980)..... | 121 |
| Figure 3.47 | Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (date >1980)..... | 122 |
| Figure 3.48 | Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie..... | 123 |
| Figure 3.49 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date <1980)..... | 124 |
| Figure 3.50 | Distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date >1980)..... | 124 |
| Figure 3.51 | Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (date >1980)..... | 125 |
| Figure 3.52 | Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=5..... | 126 |
| Figure 3.53 | Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=6..... | 126 |
| Figure 3.54 | Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=7..... | 127 |
| Figure 3.55 | Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=8..... | 127 |
| Figure 3.56 | Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=9..... | 128 |
| Figure 3.57 | Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=10..... | 128 |

| | | |
|--------------------|--|-----|
| Figure 3.58 | Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=11..... | 129 |
| Figure 3.59 | Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=12..... | 129 |
| Figure 3.60 | Synthèse des scénarios des différents dommages globaux selon EMS 98 de différentes intensités..... | 130 |
| Figure 3.61 | Localisation et de détection des Dommages pour la structure 14..... | 131 |
| Figure 3.62 | Scénarios des dommages pour le renforcement de la structure 14..... | 132 |
| Figure 3.59 | Localisation et de détection des Dommages pour la structure 7..... | 134 |
| Figure.3.64 | Scénarios des dommages pour le renforcement de la structure 7..... | 135 |
| Figure 1-A | Image satellitaire pour la distribution des structures dans la zone d'étude..... | 148 |

Liste des tableaux

| | | |
|---------------------|---|-----|
| Tableau 1.1 | Coefficient d'accélération, en rouge les valeurs pour Alger et Boumerdès. | 30 |
| Tableau 1.2 | Paramètre des spectres de réponse en accélération | 31 |
| Tableau 1.3 | Bilan des valeurs des victimes des différents séismes destructeur en Algérie | 42 |
| Tableau 1.4 | Le bilan officiel des victimes du 17 juin 2003..... | 42 |
| Tableau 1.5 | Chiffres officiels donnés par Mr BELAZOUGUI, le 28 juin 2003..... | 43 |
| Tableau 1.6 | Bilan des dommages arrêté au 24.06.2003..... | 44 |
| Tableau 1.7 | Répartition globale du foncier selon les fonctions urbaines | 48 |
| Tableau 1.8 | Evaluation de typologie des bâtis du chef-lieu | 49 |
| Tableau 1.9 | Estimation du volume du patrimoine ancien du chef-lieu (DUC)..... | 50 |
| Tableau 2.1 | Détermination de l'indice V_I^* fonction de la typologie du bâtiment..... | 82 |
| Tableau 2.2 | Détermination de l'indice V_m fonction de la typologie du bâtiment..... | 83 |
| Tableau 2.3 | Valeurs des facteurs V_m pour les bâtiments en béton armé..... | 84 |
| Tableau 3.1 | Catégories de constructions existantes et leurs distributions dans la zone d'étude..... | 92 |
| Tableau 3.2 | Date et type des constructions surveillées..... | 95 |
| Tableau 3.3 | Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=5..... | 104 |
| Tableau 3.4 | Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=6..... | 107 |
| Tableau 3.5 | Synthèse de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=7..... | 110 |
| Tableau 3.6 | Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=8..... | 113 |
| Tableau 3.7 | Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=9..... | 116 |
| Tableau 3.8 | Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=10..... | 119 |
| Tableau 3.9 | Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=11 | 122 |
| Tableau 3.10 | Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=12..... | 125 |

| | | |
|---------------------|--|-----|
| Tableau 3.11 | Distribution des dommages pour le renforcement de la structure 14..... | 132 |
| Tableau.3.12 | Distribution des dommages pour le renforcement de la structure 14..... | 135 |
| Tableau 1.A | les valeurs de la vulnérabilité pour les constructions en maçonnerie..... | 147 |
| Tableau 2.A | les valeurs de la vulnérabilité pour les constructions en béton armé..... | 147 |
| Tableau 3.A | les valeurs de la vulnérabilité pour les constructions en charpente métallique..... | 148 |
| Tableau 4.A | Estimation des dommages moyens (μ_D) pour les constructions en maçonnerie (date <1980)..... | 149 |
| Tableau 5.A | Estimation des dommages moyens (μ_D) pour les constructions en béton armé (date <1980)..... | 150 |
| Tableau 6.A | Estimation des dommages moyens (μ_D) pour les constructions en béton armé (date >1980)..... | 150 |
| Tableau.7.A | Estimation des dommages moyens (μ_D) pour les constructions en charpente métallique (date >1980)..... | 150 |
| Tableau 8.A | Estimation du coefficient (r) pour les constructions en maçonnerie (Date <1980)..... | 151 |
| Tableau .9.A | Estimation du coefficient (r) pour les constructions en béton armé (Date <1980)..... | 152 |
| Tableau.10.A | Estimation du coefficient (r) pour les constructions en béton armé (Date >1980)..... | 152 |
| Tableau.11.A | Estimation du coefficient (r) pour les constructions en charpente métallique (date >1980)..... | 152 |
| Tableau.12.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie..... | 153 |
| Tableau.13.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date <1980). | 154 |
| Tableau.14.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date>1980) | 154 |
| Tableau.15.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (date >1980)..... | 155 |
| Tableau.16.A | Calcule La probabilité p_k pour les constructions en maçonnerie (date < 1980)..... | 155 |
| Tableau.17.A | Calcule La probabilité p_k pour les constructions en béton armé (date < 1980)..... | 156 |
| Tableau.18.A | Calcule La probabilité p_k pour les constructions en béton armé (date > 1980)..... | 157 |
| Tableau.19.A | Calcule La probabilité p_k pour les constructions en charpente métallique (date >1980)... | 157 |
| Tableau.20.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie..... | 157 |
| Tableau.21.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date <1980). | 159 |
| Tableau.22.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date>1980) | 159 |

| | | |
|---------------------|--|-----|
| Tableau.23.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (date>1980)..... | 159 |
| Tableau.24.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en maçonnerie (date < 1980)..... | 160 |
| Tableau.25.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en béton armé (date < 1980)..... | 161 |
| Tableau.26.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en béton armé (date > 1980)..... | 161 |
| Tableau.27.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en charpente métallique (date >1980)... | 161 |
| Tableau.28.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie..... | 162 |
| Tableau.29.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date <1980).. | 163 |
| Tableau.30.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date>1980)... | 163 |
| Tableau.31.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (date>1980)..... | 164 |
| Tableau.32.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en maçonnerie (date < 1980)..... | 164 |
| Tableau.33.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en béton armé (date < 1980)..... | 165 |
| Tableau.34.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en béton armé (date > 1980)..... | 165 |
| Tableau.35.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en charpente métallique (date >1980)... | 166 |
| Tableau.36.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie..... | 167 |
| Tableau.37.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date <1980)... | 168 |
| Tableau.38.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date>1980)... | 168 |
| Tableau.39.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique. (date >1980)..... | 169 |
| Tableau.40.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en maçonnerie (date < 1980)..... | 169 |
| Tableau.41.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en béton armé (date < 1980)..... | 170 |
| Tableau.42.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en béton armé (date > 1980)..... | 170 |
| Tableau.43.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en charpente métallique (date >1980)... | 171 |
| Tableau.44.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie..... | 171 |
| Tableau.45.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date <1980). | 172 |
| Tableau.46.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date>1980)... | 173 |

| | | |
|---------------------|---|-----|
| Tableau.47.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (date >1980)..... | 173 |
| Tableau.48.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en maçonnerie (date < 1980)..... | 173 |
| Tableau.49.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en béton armé (date < 1980)..... | 174 |
| Tableau.50.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en béton armé (date > 1980)..... | 175 |
| Tableau.51.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en charpente métallique (date >1980)... | 175 |
| Tableau.52.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie..... | 175 |
| Tableau.53.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date <1980). | 177 |
| Tableau.54.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date>1980)... | 177 |
| Tableau.55.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique..... (date >1980). | 177 |
| Tableau.56.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en maçonnerie (date < 1980)..... | 178 |
| Tableau.57.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en béton armé (date < 1980)..... | 179 |
| Tableau.58.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en béton armé (date > 1980)..... | 179 |
| Tableau.59.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en charpente métallique (date >1980)... | 179 |
| Tableau.60.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie..... | 180 |
| Tableau.61.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date <1980). | 181 |
| Tableau.62.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date>1980)... | 181 |
| Tableau.63.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (date >1980)..... | 181 |
| Tableau.64.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en maçonnerie (date < 1980)..... | 182 |
| Tableau.65.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en béton armé (date < 1980)..... | 183 |
| Tableau.66.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en béton armé (date > 1980)..... | 183 |
| Tableau.67.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en charpente métallique (date >1980)... | 184 |
| Tableau.68.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie..... | 184 |
| Tableau.69.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date <1980). | 185 |
| Tableau.70.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date>1980)... | 186 |

| | | |
|---------------------|--|-----|
| Tableau.71.A | Estimation de la distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (date>1980)..... | 186 |
| Tableau.72.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en maçonnerie (date < 1980)..... | 186 |
| Tableau.73.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en béton armé (date < 1980)..... | 188 |
| Tableau.74.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en béton armé (date > 1980)..... | 188 |
| Tableau.75.A | Calcule La probabilité pk pour les constructions en charpente métallique (date >1980).... | 188 |

Table des photographies

| | | |
|-----------------|---|----|
| Photo 1 | Plastification des nœuds en tête en pied (BOUMERDES)..... | 32 |
| Photo 2 | Absence des cadres à mi-poteau et au niveau des nœuds (ZEMOURI)..... | 33 |
| Photo 3 | Poteau fort –poutre faible (DELLYS)..... | 33 |
| Photo 4 | L’effondrement total en mille feuilles (BOUMERDES)..... | 34 |
| Photo 5 | Transparence du réez de chaussée (DELLYS)..... | 35 |
| Photo 6 | Planchers de faible intégrité (DELLYS)..... | 35 |
| Photo 7 | Les plancher en tronc d’arbre et les arcs faibles (DELLYS)..... | 36 |
| Photo 8 | Les murs d’origine moellon (DELLYS)..... | 36 |
| Photo 9 | les angles en maçonnerie sont très vulnérable (DELLYS)..... | 37 |
| Photo 10 | construction en ferme en bois et murs épais (ZEMMOURI)..... | 38 |
| Photo 11 | Les ouvrages en maçonnerie de l’hôpital (DELLYS)..... | 38 |
| Photo 12 | l’effondrement des pignons faible (THENIA)..... | 39 |
| Photo 13 | l’endommagement des minarets (CAP GINET)..... | 40 |
| Photo 14 | construction a usage commerciale (SAMPAC)..... | 94 |
| Photo 15 | construction a usage administrative (Banque BNA)..... | 94 |

Introduction générale

Depuis 1980, les Règles Parasismiques Algérienne RPA 80, RPA80 version 83, RPA88, RPA99 et enfin les RPA99/version 2003 ont été rendues obligatoires pour tous les bâtiments neufs situés en zone sismique. Si pour le bâti courant, la réglementation technique peut encore être améliorée, il n'en demeure pas moins que le faible taux de renouvellement estimé en Algérie généralement à 1% par an, fait que l'essentiel de la vulnérabilité sismique vient de l'existant.

Partout dans le monde, on constate, depuis quelques décennies, une augmentation sensible des pertes matérielles, économiques et humaines à la suite d'un séisme. Cette situation met en évidence la vulnérabilité de nombreuses régions accentuées par une densité croissante de la population dans les zones urbaines exposées au danger sismique. La préoccupation des autorités pour la gestion du risque lié aux séismes est donc justifiée.

De nos jours, malgré une sismicité élevée de la région Ouest de l'Algérie, les grandes villes situées à l'ouest comme la ville de Mostaganem, sont soumises à des contraintes particulières qui augmentant potentiellement ce risque. La forte concentration d'anciens bâtiments construits avant l'application de normes parasismiques et l'exode rural important vers les grandes villes en sont les principales causes. La conservation du patrimoine immobilier de ces sites passe obligatoirement par l'évaluation de sa vulnérabilité sismique.

Problématique de la vulnérabilité sismique

La vulnérabilité sismique exprime et mesure le niveau de dommage et de conséquences prévisibles d'un séisme sur des infrastructures. Elle peut se définir comme la capacité d'une structure à résister à une sollicitation sismique donnée. Cette mesure dépend ainsi des caractéristiques structurales et des déficiences qui leur sont associées. Dans le cadre de l'élaboration de plans stratégiques de prévention, l'analyse de la vulnérabilité aux séismes a pour but de développer la connaissance du bâti existant dans une région.

La recherche relative à la vulnérabilité sismique de structures traditionnelles de différentes typologies est relativement récente en Algérie. L'évaluation de la vulnérabilité aux séismes des bâtiments traditionnels et anciens de l'ancienne ville de Mostaganem peut être entreprise en recourant à des méthodes simple telles que la méthode RISK-UE.

Parallèlement, on retrouve en Europe de nombreuses études sur la conservation des bâtiments historiques de différentes typologies et l'évaluation de leur vulnérabilité sismique. Parmi

ces structures, les constructions à grande d'importance (trésor, banque, mairie ...) sont considérées comme les plus exposées au risque et ceci pour des évènements sismiques de différents intensité ayant peu d'effets sur les bâtiments ordinaires. Cette vulnérabilité est liée principalement à leur conception architecturale et à leurs éléments constitutifs tels : 1) **Conception technique du bâtiment**, 2) **Condition topographique** ; 3) **Type de construction** ; 4) **L'âge de l'immeuble**. 5) **Nombre d'étages** ; 6) **Nombre des sous-sols** ; 7) **l'histoire des bâtiments, dommages, réparation** ; 7) **Travaux d'extension, ...etc.**

Cette situation a mené au développement de procédures spécifiques d'évaluation de la vulnérabilité des constructions.

Objectif du mémoire

Dans la perspective d'approfondir l'étude du comportement des structures pour la région de la wilaya de Mostaganem, cette recherche se penche sur un échantillon de 51 structures de différentes typologies et groupe d'usage, construites avant et après 1980. Il s'agit de fournir l'information sur leur capacité à résister aux forces sismiques (mesurer l'endommagement de chaque structure) par la constitution des scénarios sismiques. De manière spécifique, les objectifs sont les suivants :

- Classer les structures selon leur indice de vulnérabilité
- Identifier les éléments structuraux influençant sur la vulnérabilité sismique des structures ;
- Définir la distribution des dommages dans le site d'étude.
- Proposer une méthode d'évaluation rapide de la vulnérabilité sismique adaptée au contexte Mostaganémois.

Méthodologie

La démarche méthodologique utilisée est basée sur le cadre de Basili¹. Cet outil, conçu à l'origine, pour la recherche liée au génie logiciel, fournit un protocole simple d'utilisation et adapté également à d'autres types d'études.

Le cadre comprend quatre grandes phases de déroulement de toute recherche : la définition, la planification, l'exécution et l'interprétation. Ceci se traduit concrètement par la prise en compte logique de la stratégie, du processus, des résultats et de l'adaptation de ces derniers au contexte de recherche, dès le début de cette dernière et de manière itérative tout au long de l'étude. Les étapes de recherche sont présentées sous forme de tableau (*Voir annexe I*)

¹ Ce modèle de Bazili est sous une référence (Abran, Laframboise et Bourque, 1999)

1- La définition

La phase de la définition nous a permis d'appréhender le projet de recherche et les objectifs assignés. Cette première étape nous a également permis de fixer les limites de l'étude et d'évaluer les avantages et les contraintes. Nous pouvons citer :

- L'existence de méthode d'évaluation de la vulnérabilité sismique basée sur l'approche par macroélément;(la méthode **RISQUE-UE niveau 1** retenue pour ce projet)
- Le nombre important de bâtiments à analyser;
- La difficulté de collecter l'information des structures existantes (plans, fonctionnement du système structural, qualité des matériaux...) et de rendre un diagnostic adéquat;
- Le faible retour d'expériences sur les dommages enregistrés, pour la wilaya.

Dans le cadre de cette étude, l'analyse sera faite sur des modèles génériques reprenant les caractéristiques globales des constructions de l'inventaire ou des macroéléments. L'accent est alors mis sur la capacité des structures à résister à un tremblement de terre par des méthodes simplifiées existantes et non la détermination des sollicitations auxquelles elles sont soumises

2- La Planification

C'est la phase d'identification des différentes étapes de recherche à partir de l'information recueillie d'une revue de littérature que nous avons voulu exhaustive.

3- L'exécution ou la réalisation

Un cycle d'activités, de préparation et d'analyse des données a été suivi pour chacune des étapes identifiées précédemment. Un effort particulier a été mis sur la collecte et l'analyse des données par : 1) la visite des édifices à inventorier et expertiser, 2) l'étude de plans et 3) les échanges avec les maîtres de l'ouvrage. Les visites et les rencontres ont permis, entre autres, de compléter l'information bibliographique, d'identifier les éléments typologiques et d'illustrer des cas concrets de dégradation des structures. La modélisation et l'analyse du comportement des structures et des éléments de structure ainsi que le développement du formulaire d'évaluation rapide complètent l'étape d'exécution.

4- L'interprétation

C'est la phase de validation du processus, dans laquelle nous examinons la conformité de la méthode retenue au contexte de la ville de Mostaganem et aux objectifs de l'étude.

Organisation et contenu du mémoire

Le premier chapitre est consacré à l'état des connaissances sur les séismes et la sismologie. Une présentation de l'histoire des phénomènes sismiques qui ont secoué l'Algérie de façon générale et la ville de Mostaganem en particulier est entreprise.

L'information de base de cette recherche est complétée par la revue de la littérature présentée au chapitre 2 qui concerne les méthodes empiriques d'évaluation de la vulnérabilité sismique des constructions. Ces méthodes proviennent principalement des différents pays du monde, notamment de l'Italie, Suisse, France, Japon, Canada, Etats-Unis. Elles sont comparées aux recommandations des normes et des guides techniques Algériens

Au chapitre 3, nous proposons une méthode rapide d'évaluation de la vulnérabilité des constructions avec le tracé de courbes de vulnérabilité, notamment des courbes des dommages moyens, courbes des distributions des dommages. La méthode s'inspire de l'échelle macrosismique européenne (EMS-98), du mode de pointage de l'approche de gestion du risque appliquée aux villes européennes (RISK-UE). Un formulaire d'évaluation rapide de la vulnérabilité est proposé. Compte tenu de l'intérêt, à l'échelle de la ville de Mostaganem, apporté aux structures construites avant et après 1980, une présentation des résultats de la méthode précédente sous forme de cartographies et des tableaux qui a pour objet de présenter le niveau des dommages selon l'échelle EMS 98 afin de compléter ce chapitre.

Chapitre 1

Evaluation de l'aléa sismique en Algérie

1 Evaluation de l'aléa sismique en Algérie

1.1 Contexte géodynamique

1.1.1 Généralités

Les limites naturelles de l'Algérie sont la Mer Méditerranée au Nord (1200 km de côtes), le Maroc à l'Ouest, la Tunisie et la Libye à l'Est, la Mauritanie et le Sahara Occidental au Sud-ouest et finalement le Mali et le Niger au Sud. Par sa superficie (2 381 741 km²), l'Algérie est le plus grand pays d'Afrique et du monde arabe.

Le pays comprend quatre grands domaines du Nord au Sud (Askri et al.2002) : l'Atlas Tellien, constitué de reliefs escarpés et de plaines littorales dont les plus riches d'Algérie sont la Mitidja au centre, le Chélif à l'Ouest et le Seybouse à l'Est ; les Hauts Plateaux.

L'Atlas saharien forme une longue suite de reliefs orientés NE-SO s'étendant du Maroc à la Tunisie ; le Sahara est un désert formé de grandes étendues de dunes, de plaines caillouteuse et parsemé d'oasis. L'Algérie est divisée en deux unités tectoniques majeures séparées par la faille sud-atlasique : le Nord du pays porte l'empreinte de la tectonique alpine tandis que le Sud formé par la plate-forme saharienne est relativement stable et la tectonique y est moins prononcée.

1.1.2 Géodynamique

Le nord D'Algérie est situé sur une limite majeure entre deux plaques tectoniques : la plaque Eurasienne et la plaque Africaine. Le séisme du 21 mai 2003 est lié à un contexte tectonique compressif créé par la remontée nord-ouest de la plaque Africaine contre la plaque Eurasienne. D'après le modèle global « Nuvel 1 » (Argus *et al*, 1991), la vitesse de raccourcissement entre les deux plaques est estimée entre 5 et 6 mm/an dans la région d'Alger (Fig. 1.1)

L'affrontement entre les deux plaques a donné naissance notamment à la chaîne de l'Atlas Tellien. Ce massif forme une zone complexe constituée de nappes mises en place au Miocène inférieur (Fig. 1.2).

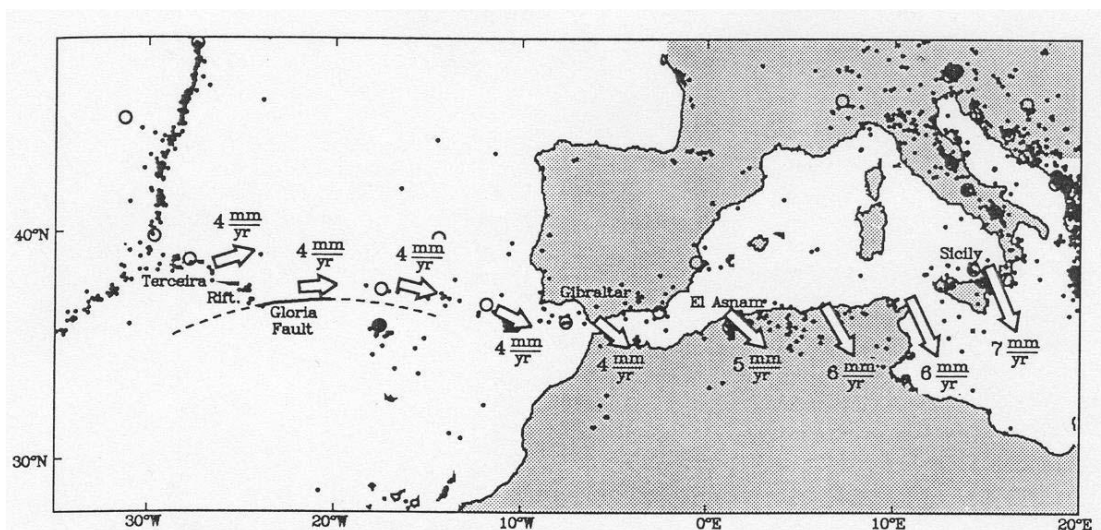


Figure. 1.1– Contexte géodynamique de la marge Nord AfricaineFigure 1. Modèle Nuvel 1 (Argus et. Al., 1991 Issu de east.u-strasbg.fr, M. meghraoui)

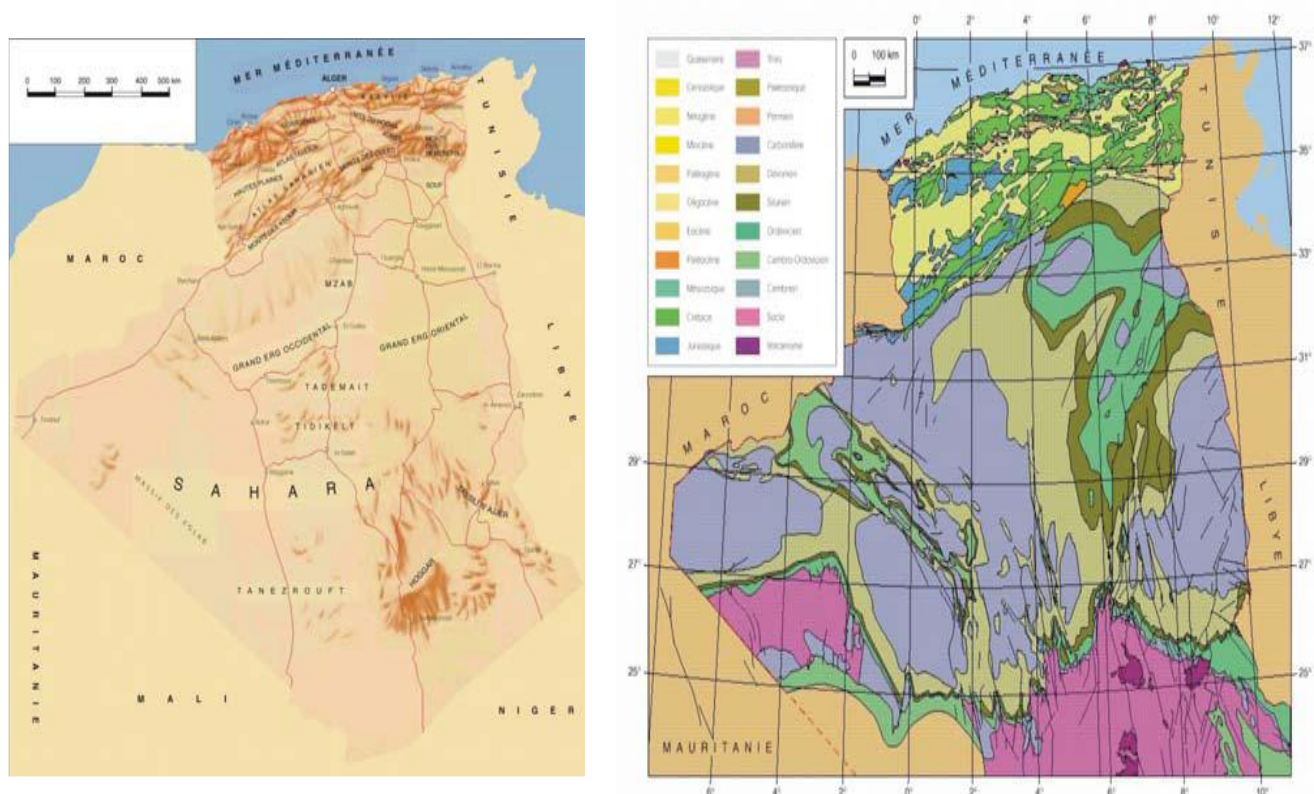


Figure. 1.2 – Géographie et Géologie de l'Algérie. (Ministère de l'énergie et des mines algérien)

1.2 Sismotectonique

1.2.1 Tectonique régionale et failles actives

La tectonique est celle de la collision Afrique-Europe et le nord d'Algérie a été subi de nombreux séismes qui sont majoritairement des séismes en faille inverse en accord avec le mouvement général de compression à la frontière des plaques tectoniques Eurasie et Afrique.

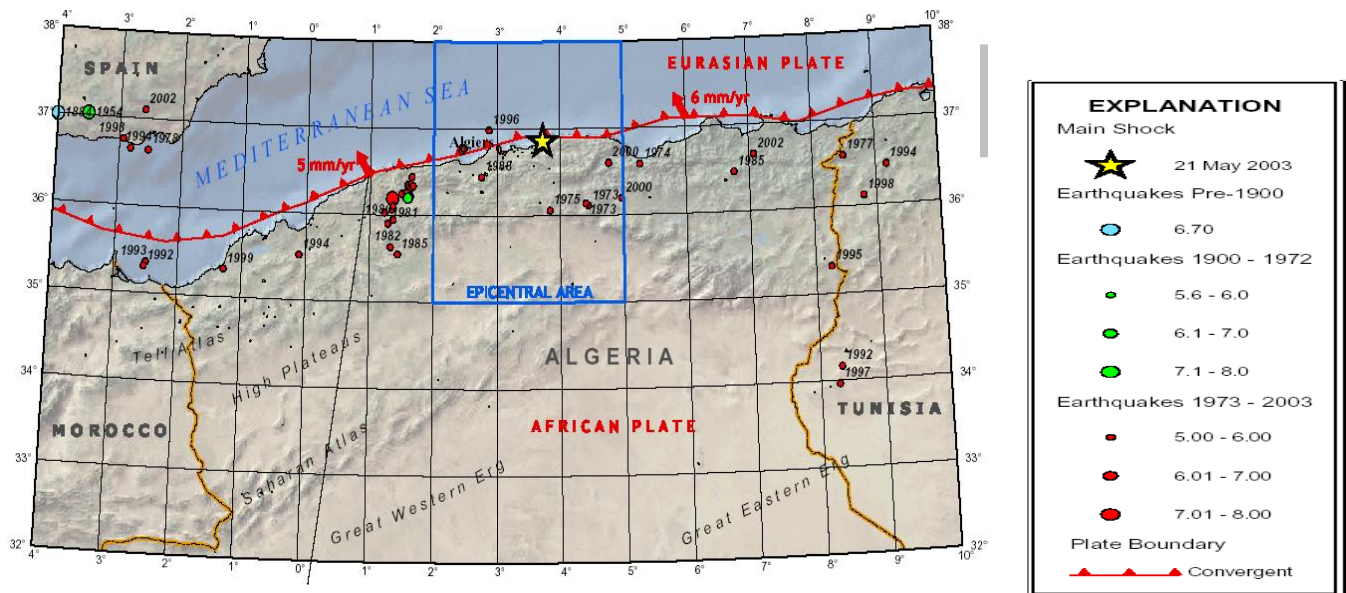


Figure.1.3—Carte sismotectonique de l'Algérie du Nord (NEIC)

Les cartes sismo-tectoniques disponibles pour l'Algérie du Nord font état de deux types de failles. D'une part des failles décrochantes dont la faille de Thénia (Fig. 1.4) et d'autre part des failles en compression avec des prolongements marins probables. Ainsi les failles bordant la Mitidja et le Sahel se continueraient en mer au large de la côte entre Boumerdès et Dellys.

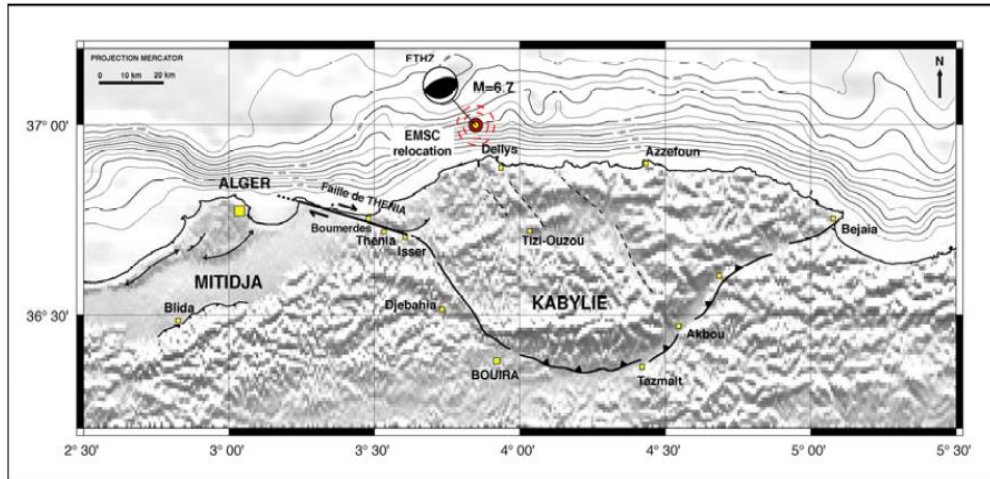


Figure.1.4 – Faille de Thénia et localisation du séisme du 21 mai 2003
(M. Meghraoui, d'après Boudiaf, <http://east.u-strasbg.fr>)

Ces cartes sont en bon accord avec les mécanismes au foyer obtenus ces dernières années
(Fig. 1.5).

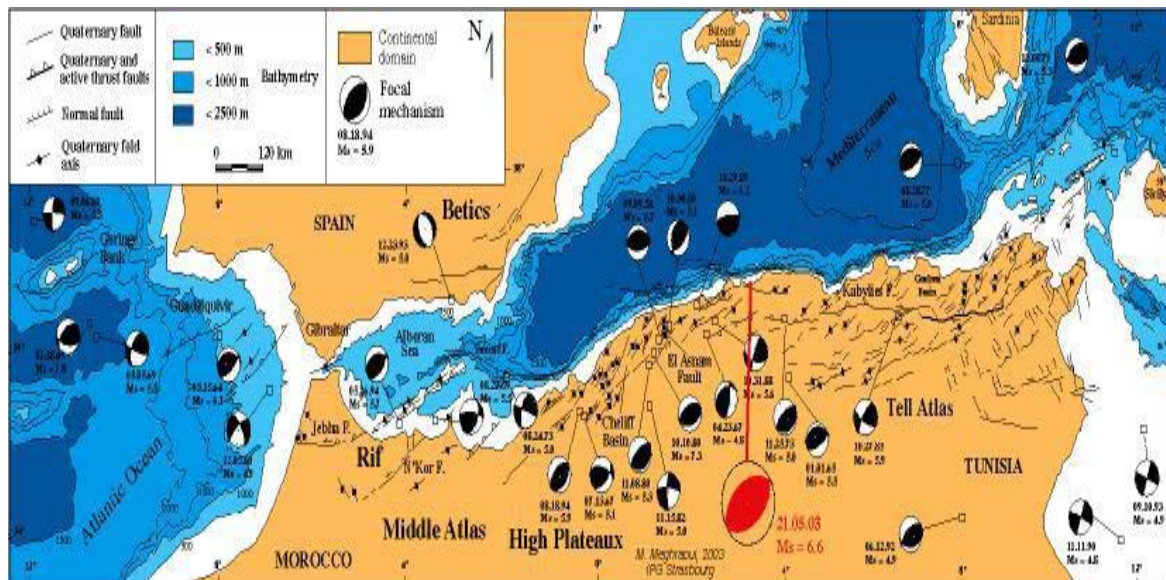


Figure.1.5 – Mécanismes au foyer de séismes Nord Algériens (M. Meghraoui, <http://east.u-strasbg.fr>)

1.3 Activité sismique historique et instrumentale

Le dernier tremblement de terre majeur en Algérie date du 10 octobre 1980. De magnitude 7,1, celui-ci avait frappé la région d'El Asnam (anciennement Orléans ville et désormais appelée Cheliff). La ville avait été sévèrement touchée et comptait près de 2633 morts. En 1954 la même ville avait été meurtrie par un séisme de magnitude 6,4 qui avait fait plus de 1000 morts.

1.3 Activité sismique historique et instrumentale

D'autre part, la région Ouest d'Alger jusqu'à Cherchell a connu de nombreux séismes destructeurs par le passé : en 1365 (importants dégâts à Alger, une partie de la ville inondée), en 1716 d'intensité épiscopale X MMI (destructions de la plupart des maisons traditionnelles d'Alger – 20 000 morts), en 1722. Aux alentours immédiats, on peut citer les séismes de Cherchell (1735 et 1847), Hadjout (1756), Koléa (1802) et Mitidja (1867). A 80 km au sud-est d'Alger, le séisme de 1910, a atteint une magnitude Ms de 6,4.

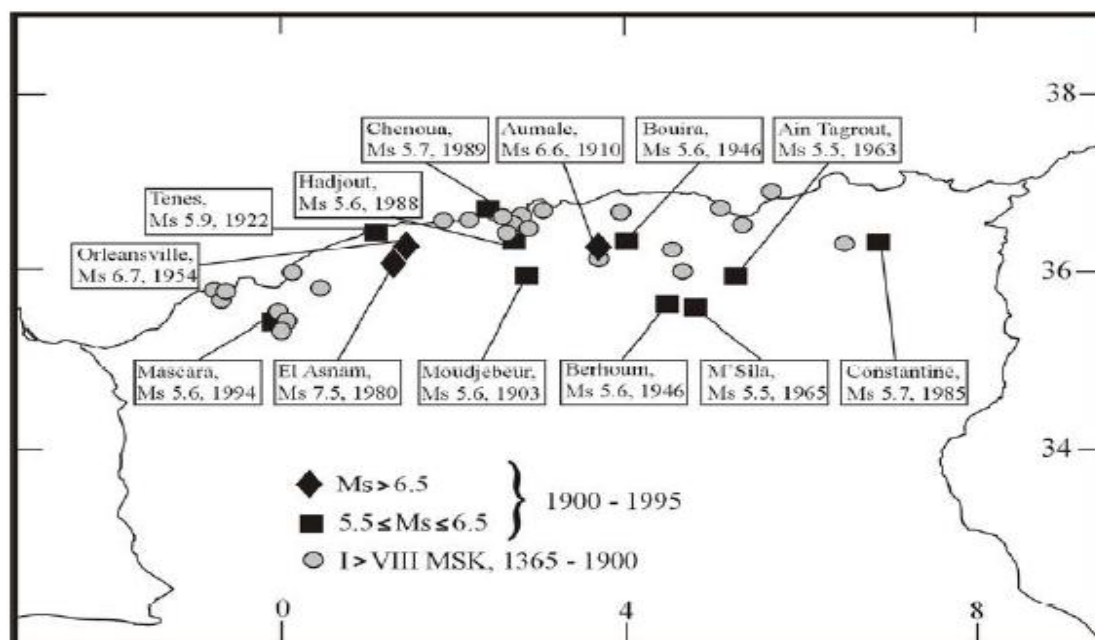


Figure.1.6 – Sismicité au XX^{ème} siècle en Algérie (NEIC)

Enfin, plus récemment, plusieurs séismes de magnitude comprise entre 5 et 6 se sont produits à l'Ouest d'Alger dans les régions de Cherchell, Tipaza et Medea en 1988, 1989 (70 morts-150 000 sans abris), 1990 et 1996. Tous ces séismes ont été largement ressentis à Alger.

A l'Est d'Alger, les cartes de sismicité historique et instrumentale montrent une zone de faible sismicité s'étendant au delà de Tizi Ouzou, à toute la Kabylie (Boudiaf et Philip, 1996; Ayadi *et al*, 2002) (Fig. 1.7)). C'est dans cette région qu'est localisé le séisme du 21 Mai.

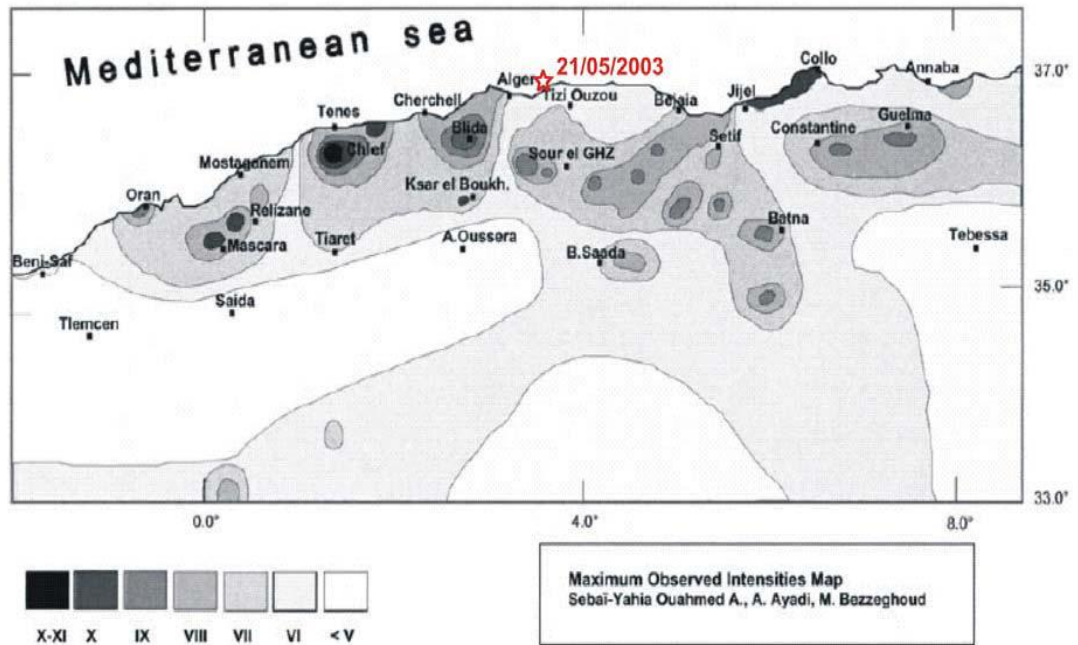


Figure.1.7 – Intensités maximales observées en Algérie du Nord (Bezzeghoud et al, 1996)

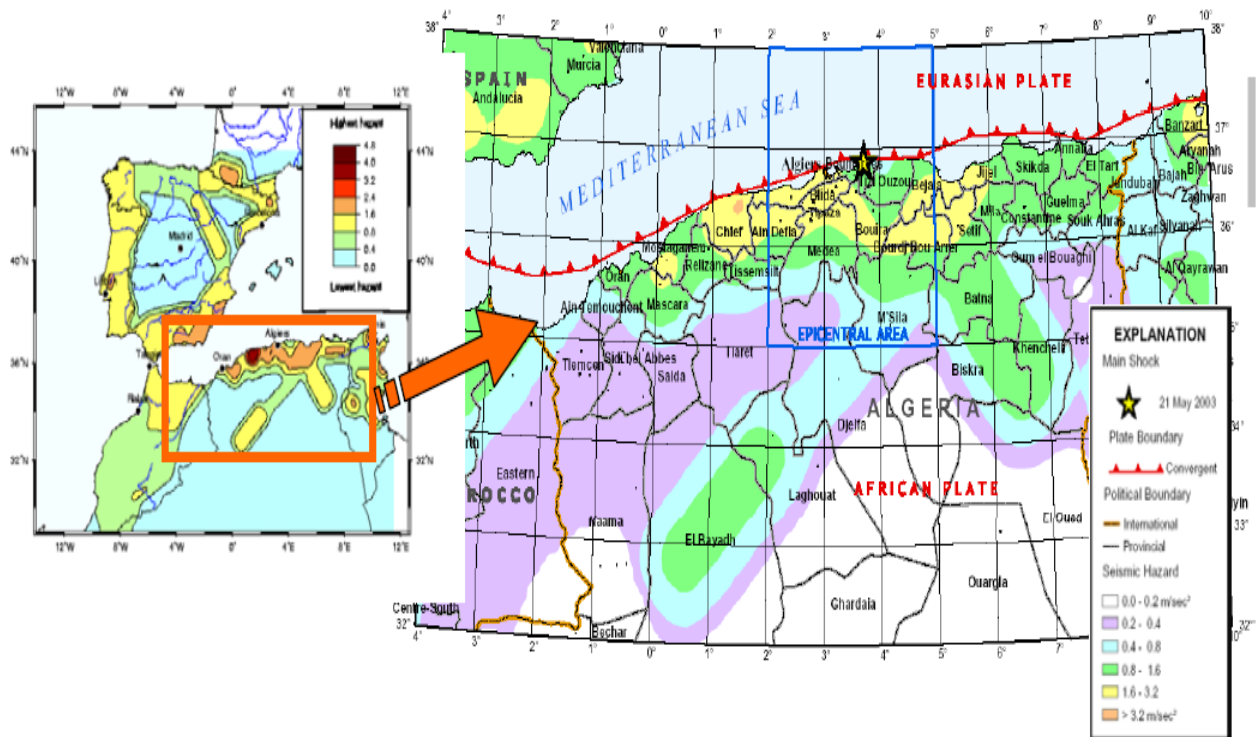


Figure.1.8 – Cartes d'alea sismique (NEIC)

2 l'action sismique dans le règlement algérien R.P.A. 99 V 2003

Le tremblement de terre d'Orléans ville (1954) « Actuellement Chélif » ont conduit les autorités de l'époque à préconiser dès 1955 des recommandations techniques provisoires dans le but d'atténuer les effets des séismes sur la stabilité des constructions. Ces recommandations sont connues sous le nom AS. 55. A cette époque deux zones avaient été définies pour l'Algérie :

- Zone A : faible sismicité
- Zone B : forte sismicité.

Le nord de l'Algérie de la frontière Marocaine à frontière Tunisienne était considérée en zone B.

Après le séisme de cheliff (1980) de nouvelles règles ont été établies sur le modèle américain. Il s'agit du règlement RPA. 99.

2.1 Le mouvement sismique de dimensionnement

Classification des zones sismiques

Le territoire algérien est divisé en 4 zones de sismicité croissante :

- Zone 0 : sismicité négligeable
- Zone I : sismicité faible
- Zone II : sismicité moyenne
- Zone III : sismicité élevée

Les wilayas de Mostaganem est classée en zone IIa,IIb,III

2.2 Classification des sites

Les sites sont classés en quatre (4) catégories en fonction des propriétés mécaniques des sols qui les constituent :

S1 : Site rocheux ($V_s > 800$ m/s);

S2 : Site ferme : sol raide formé par des dépôts de sables et de graviers très denses et/ou d'argile sur consolidée sur 10 à 20 m d'épaisseur ($V_s > 400$ m/s, à partir de 10 m de profondeur)

S3 : Site meuble : dépôts épais de sables et graviers moyennement denses ou d'argile moyennement raide ($V_s > 200$ m/s, à partir de 10 m de profondeur);

S4 : Site très meuble : + dépôts de sables lâches avec ou sans présence de couche d'argile molle ($V_s < 200$ m/s, dans les 20 premiers mètres) + Ou dépôts d'argile molle à moyennement raide ($V_s < 200$ m/s, dans les 20 premiers mètres);

2.3 Classification des ouvrages

Quatre groupes de construction sont définis en fonction de leur usage avant, pendant et après un fort séisme :

Groupe 1A : ouvrages d'importance vitale devant demeurer opérationnels après un séisme majeur (centres de décision, hôpitaux, police, gendarmerie, installations militaires, de télécommunication, de stockage d'eau);

Groupe 1B : ouvrages de grande importance (bâtiments publics, scolaires, universitaires,);

Groupe 2 : ouvrages courant ou d'importance moyenne (habitation, bureaux ...);

Groupe 3 : ouvrages de faible importance

Le coefficient d'accélération, A, est fonction du groupe de bâtiments concerné et de la zone sismique correspondante :

| Groupe | Zone | | |
|--------|------|------|------|
| | I | II | III |
| 1A | 0.12 | 0.25 | 0.35 |
| 1B | 0.10 | 0.20 | 0.30 |
| 2 | 0.08 | 0.15 | 0.25 |
| 3 | 0.05 | 0.10 | 0.15 |

Tableau. 1.1 – Coefficient d'accélération, en rouge les valeurs pour Alger et Boumerdès

(Rapport préliminaire de la mission AFPS Version du 8 juillet 2003)

A chaque type de site est associé un spectre de réponse en accélération en considérant les périodes caractéristiques suivantes :

| Site | S1 | S2 | S3 | S4 |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| T1 (sec) | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| T2 (sec) | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.70 |

Tableau. 1.2 – Paramètres des spectres de réponse en accélération

(Rapport préliminaire de la mission AFPS Version du 8 juillet 2003)

La forme du spectre élastique normalisé en accélération en fonction de la période T, pour un amortissement critique de 5 % et sans tenir compte ni du type ni de la qualité de l'ouvrage, se calcule à l'aide des relations suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{ll} 1.25 * A * \left(1 + \frac{1.5 * T}{T_1} \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5 * (1.25 * A) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 1.25 * A * \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \end{array} \right.$$

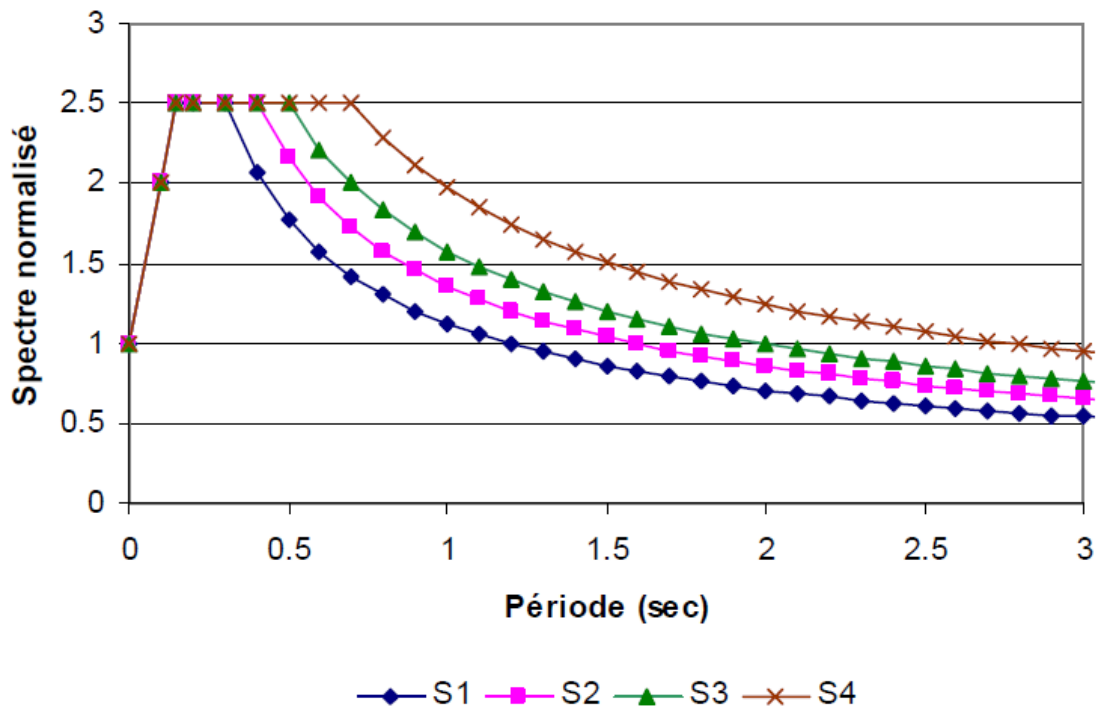


Figure.1.9 – Spectres de réponse élastiques normalisés pour les 4 types de sites

« D'après RPA 99V2003 »

3 Comportements des bâtiments (siesme de zemmouri 2003)

Afin que l'on puisse réaliser des scénarios d'endommagement, il est important de connaître d'abord le comportement des bâtiments vis-à-vis à l'effet de l'action sismique d'intensités différentes.

Les photos présentées ci-dessous sont pris a partir de la ville de Boumer dès, Alger (Rapport préliminaire de la mission AFPS « MEDD/DPPR/SDPRM »)

3.1 Bâtiments d'habitation

3.1.1 Types ossature poteaux-poutres récents en béton armé

Les bâtiments destinés aux logements sociaux sont généralement symétriques et n'ont donc pas présenté de mode de ruine en torsion. Par contre ils ont souvent péri par plastification due à la flexion des nœuds en tête et (ou) pied de poteaux. Ce mode de ruine conduit à un effondrement en planchers mille-feuilles.



Photo 1 : plastification des nœuds en tête en pied (**BOUMERDES**)

La section des poteaux étant souvent équivalente à celle des poutres, la plastification des nœuds s'est produite en tête ou en pied de poteau (Cf. photo 1)

3. comportement des bâtiments devant différent séismes

(Cf. photo 2) sauf parfois où l'espacement est constant (Cf. photo 3) Néanmoins les cadres sont souvent absents au cœur du nœud (Cf. photo 2) à l'intersection poteau-poutre.

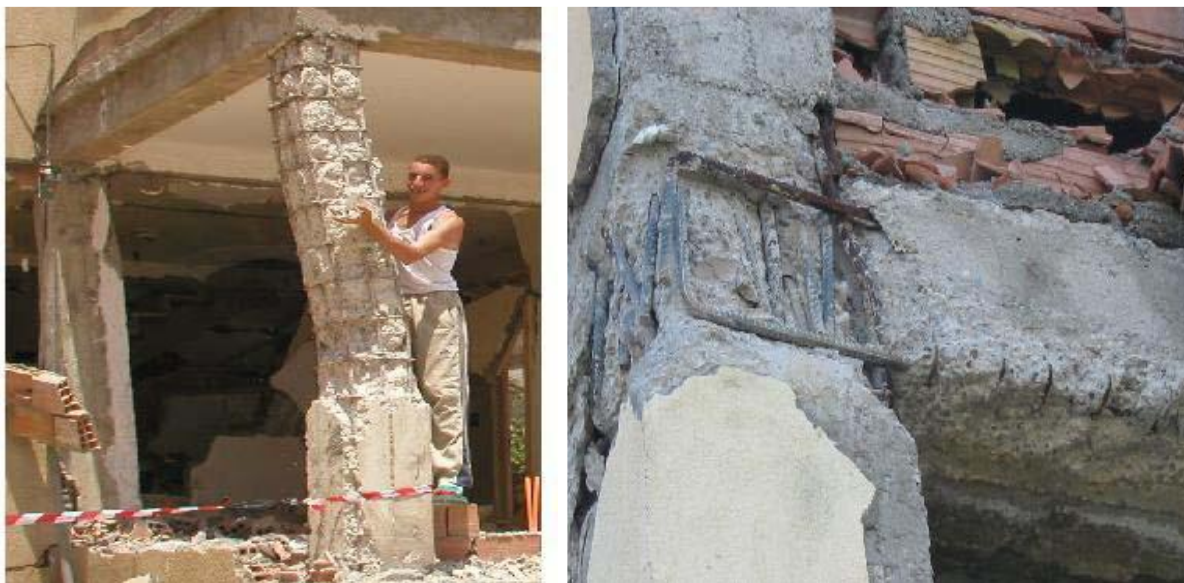


Photo 2 : absence des cadres à mi-poteau et au niveau des nœuds (ZEMOURI)

Les constructions dépassant 5 niveaux se sont généralement mieux comportées du fait de leur souplesse et des sections plus importantes de poteaux.

Les immeubles les plus touchés présentent un caractère commun : R+3 ou R+4 dont le réz de chaussée transparent étaient destinés à des commerces (Cf. photo 1) ou à des parkings et donc ne possédait pas de contreventement (Cf. photo 3). La rupture s'est produite généralement dans la zone critique des poteaux de section insuffisante ou à cause du non-respect de dispositions constructives.

Le principe de base "poteau fort - poutre faible" était rarement respecté. (Cf. photos 3)



Photo 3 : poteau fort –poutre faible (DELLYS)

Quelques bâtiments rectangulaires R+3 et R+4 se sont effondrés en mille feuilles (Cf. photos4) d'autres ont basculé (Cf. photos 4).



Photo 4 : l'effondrement totale en mille feuilles (**BOUMERDES**)

Il est à noter que parfois le mode de ruine des bâtiments rectangulaires dépendait de l'orientation du bâtiment par rapport à la faille.

Le basculement total d'un bâtiment s'était produit quand la plus grande dimension était parallèle à la faille.

Un effondrement de type mille-feuilles s'est produit à proximité quand c'était la petite dimension qui était parallèle à la faille (Cf. photo 4)

L'immeuble R+4 (Cf. photo 4) qui a perdu son réez de chaussée et deux étages présentait un défaut grave de conception : les blocs d'habitation en poteaux-poutres n'étaient pas solidaires du bloc d'escalier en voile et son réez de chaussée était transparente.

Les dommages auraient pu être évités s'ils avaient été solidarisés par un voile commun (Cf. croquis1)

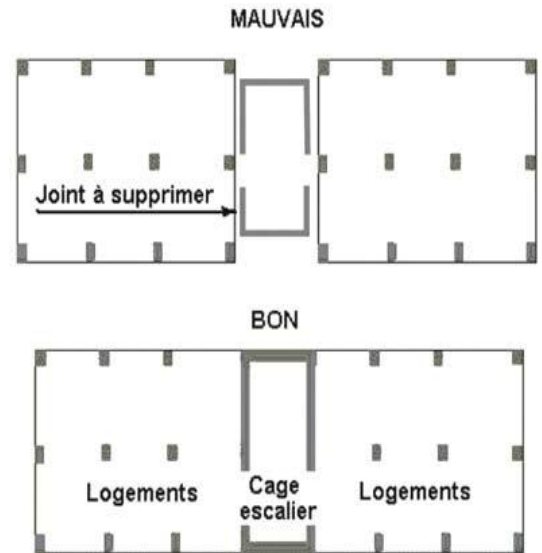


Photo 5 : transparence du réez de chaussée (DELLYS) Croquis 1

3.1.2 Type maçonnerie très ancienne sans liant du 18^{ème} siècle

La casbah construite vers 1840 par les Turcs (Cf. photo 6) a énormément souffert, beaucoup de victimes sont à déplorer à cause des effondrements de murs qui ne sont que des empilements de pierres. (Cf. photo 6)



Photo 6 : planchers de faible intégrité (DELLYS)

Les planchers de faible intégrité sont constitués de poutres en tronc d'arbre avec des branches par-dessus recouvertes de terre sur environ 10 cm d'épaisseur. (Cf. photo 7)

Les arcs de faible portée ont mieux résisté que les linteaux droits. (Cf. photo 7)



Photo 7 : les plancher en tronc d'arbre et les arcs faibles (**DELLYS**)



Photo 8 : les murs d'origine moellon (**DELLYS**)

Les pièces sont généralement petites 3 m x 3m et basse sous plafond environ 2 m
Les murs sont constitués à l'origine de moellons de forme arrondie qui sont empilées les unes sur les autres pour former une épaisseur pouvant atteindre quelquefois jusqu'à 60cm sur plusieurs mètres de hauteur. (Cf. photos 8)

Ce système constructif est particulièrement fragile et ne devrait pas être destiné à des logements d'habitation dans une zone de séismicité 2 ou 3.

3.1.3 Type maçonnerie liée au mortier fin 19^{ème} et début 20^{ème} siècle

Ces ouvrages étaient réalisés avec des moellons taillés et hourdés avec un mortier de chaux ou à la terre.

Les angles des ouvrages en maçonnerie sont très vulnérables et s'effondrent par accumulation de contraintes (Cf. photo 9)



Photo 9 : les angles en maçonnerie sont très vulnérable (**DELLYS**)

Beaucoup de constructions datant du début du siècle jusqu'en 1950 ont été détruites (Cf. photo 10).

Quelques bâtiments en rez de chaussée sont très endommagés mais encore debout alors que la plupart des R+1 se sont totalement effondrés.

Les murs de 40 à 60 cm d'épaisseur sont en maçonnerie à base de moellons bâtis avec un mortier de chaux très friable.

La charpente était généralement en bois massif avec une couverture lourde en tuile mécanique de terre cuite.



Photo 10 : construction en ferme en bois et murs épais (**ZEMMOURI**)

3.2 Etablissement hospitalier

L'hôpital qui date du début des années 1950 n'a eu à déplorer que des fissures dans les remplissages en maçonnerie (Cf. photo 11) typique de l'interaction panneaux-poteaux et des effondrement de parois de remplissage en briques fines (Cf. photo11) qui se sont désolidarisées de l'ossature poteau-poutre dans des ouvrages plus récents.



Photo 11 : Les ouvrages en maçonnerie de l'hôpital (**DELLYS**)

Les ouvrages en maçonnerie de l'hôpital datant de la fin 19 ème (vers 1890) se sont mieux comportés grâce à l'utilisation d'un mortier de pose à base de chaux qui leur confère une certaine intégrité.

Néanmoins en fonction de la position du mur par rapport à la faille des pignons se sont effondrés.

Quelques angles de bâtiments ont subi aussi des dommages graves (Cf. photo 12).



Photo 12 : l'effondrement des pignons faible (THENIA)

En ce qui concerne l'hôpital plus récent construit dans les années 1970 avec une ossature de type poteaux poutres, le niveau d'endommagement ne dépasse pas 2 selon l'échelle EMS 98.

3.3 Etablissement religieux

Les minarets de la plupart des mosquées ont été endommagés, il s'agit d'un défaut de conception. Le changement de rigidité est trop brutal, Il faudrait séparer ces blocs par un joint parasismique adapté aux déplacements possibles.

Cet édifice en cours de construction ne suivant pas la réglementation, il a donc été endommagé (Cf. photos 13).



Photo13 :l'endommagement des minarets (CAP GINET)

La mosquée a été complètement détruite, la secousse s'étant heureusement produite en dehors des heures de prière, peu de victimes sont à déplorer.

4 victimes et dommages

4.1 Bilan des différents séismes

| Localité | Date | Intensité max. | Magnitude | Morts | Répliques | Rayon macro-sismique | Observations |
|---------------------------------|------------|----------------|-----------|-----------|---|----------------------|---|
| Alger | 03.01.1365 | Forte | | Plusieurs | 100 pendant la nuit. | | Destructeur : Alger complètement détruite Une partie d'Alger fut inondée. |
| Gouraya | 15.01.1891 | X | 7,5 | 38 | Fortes | 200 km | Destructeur, dégâts importants : Gouraya et Villebourg ont été complètement détruites. 53 immeubles et maisons détruits ou endommagés. Dégâts à Cherchell, kherba, Blida, l-Affroun, Mouzaia, Miliana et Orléansville. Mouvement vertical observé à Gouraya. Ressenti à Saida et Djelfa. répliques. |
| El Kalaa | 29.11.1887 | IX-X (VIII) | 6,5-7,5 | 20 | Forte réplique ressentie quelques minute après | | Destructeur : une mosquée ainsi que plusieurs maisons ont été détruites à El Kalaâ et Dehba, importants dégâts à Thiouanet (80 maisons ont été complètement détruites). Ressenti à Oran, Arzew, Relizane, Mostaganem et Mascara. |
| Sour. El Gouzlene (Aumale) | 24.06.1910 | X (VIII) | 6,4/ 6,6 | 30 | janvier 1911 (20/08, M=4,8 et 07/01/1911, M=5,5). | | Dégâts importants à El Euch, Tablat et Masqueray. Les villages de la plaine de Gachtulas ont été complètement détruits. |
| A. el Hassan (Cavaignac) | 25.08.1922 | IX-X | 5,1 | 2 | | | Destructeur : Cavaignac complètement détruite. Mouvement vertical observé (1m). Ressenti à Flatters Hanoteau, Ténès (VIII) et à Orléansville, Cherchell (VII) |
| El At - El Ab (Carnot) | 07.09.1934 | IX (VII) | 5,0 | 0 | 92 | | Dégâts à Carnot, St. Cyprien et El-Attaf. Des glissements de terrain sont observés au Nord. Ressenti à Alger. |
| Bejaia | 12.02.1960 | VIII- IX | 5,6 | 264 | | | 1000 maisons détruites. 112 blessés. |
| Chlef (Orléansville – El Asnam) | 09.09.1954 | X-XI | 6,7 | 1.242 | Plusieurs | | Destructeur : 20.000 habitations détruites. Glissement de terrain et liquéfaction du sol. Mouvement vertical maximum (10) (1.33m) au voisinage d'Ouled Abbas. |
| M'sila | 21.02.1960 | VIII | 5,6 | 47 | | | Dégâts à Melouza. 88 blessés. |
| M'sila | 01.01.1965 | VIII | 5,5 | 5 | | | 1300 maisons détruites. |
| Mansourah | 24.11.1973 | VII | 5,1 | 4 | Les 24-25-26/11 | | Dégâts à Mansourah, Medjana, El-Mehir et Theniet Enasr. 50 blessés. Plusieurs personnes ont été portées disparues. |
| Chlef (El Asnam) | 10.10.1980 | IX | 7,3 | 2.633 | forte réplique enregistrée une | | Destructeur : 8369 blessés, 348 portés disparus, 6.778.948 sinistrés, 70% des habitations détruites. Une faille inverse a été observée (36 km). Un |

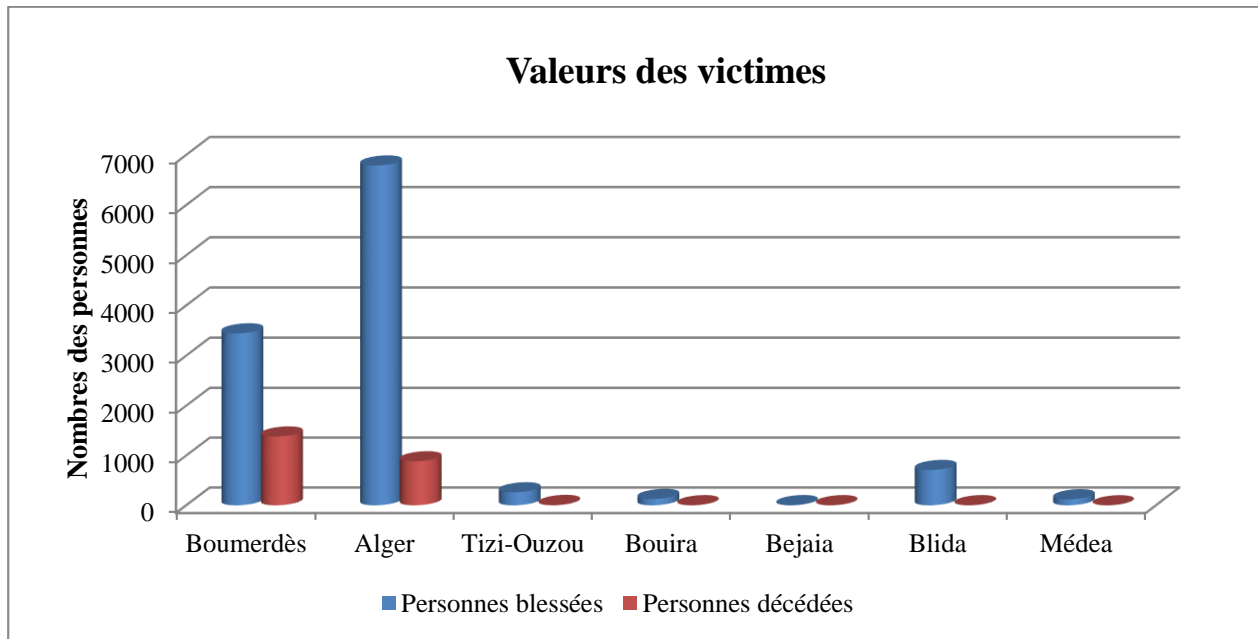
| | | | | | | | |
|-----------------|------------|------|-----|---------|---|---------------------------|---|
| | | | | | heure après le séisme principal (M=6.5) | | mouvement vertical maximum de 6 m a été mesuré entre Zebabdja et Ouled-Abbas |
| Constantine | 27.10.1985 | VIII | 5,9 | 10 | Plusieurs pendant plus d'un mois. | | Peu de dégâts à El-Aria et Béni-Yakoub, plus de 300 blessés, plusieurs au voisinage du village d'El-Khroub. Ruptures de surface. Une faille de coulissage. |
| El Affroun | 31.10.1988 | VII | 5,4 | 0 | | | Nombreux dégâts. 500 familles sinistrées, 5 blessés |
| Dj. Chenoua | 29.10.1989 | VIII | 6,0 | 22 à 30 | Plusieurs durant 3 mois. | Toute l'Algérie a tremblé | Nombreux dégâts à Sidi-Moussa (près de la ville de Tipaza) (au voisinage de l'épicentre) et Nador. Peu de dégâts à Alger (la Casbah). faille inverse. |
| Mascara | 18.08.1994 | VII | 5,6 | 171 | | | séisme survenu la nuit, largement ressenti, importants dégâts à Hacine et Shadlia, estuions dans les villages avoisinants sur un rayon de 15 km autour de Hacine. |
| Alger | 04.09.1996 | VII | 5,7 | | | 140 km | séisme ressenti jusqu'à Dellys à l'Est, Menaceur à l'Ouest, Berrouaghia au Sud. |
| Alger | 04.09.1996 | VII | 5,7 | | | 140 km | séisme ressenti jusqu'à Dellys à l'Est, Menaceur à l'Ouest, Berrouaghia au Sud. |
| Beni Ouartilane | 10.11.2000 | VII | 5,4 | 2 | | | dégâts matériels, fissurations superficielles des maisons en maçonnerie traditionnelle et 2 morts dans la région de Béni- Ouartilane, Fréha et El-Main. |

Tableau. 1.3 –Bilan des valeurs des victimes des déferents séismes destructeur en Algérie
(Rapport préliminaire de la mission AFPS « MEDD/DPPR/SDPRM »)

4.2 Bilan séisme de 21 mai 2003 (Zemmouri)

Le bilan officiel, encore provisoire, des victimes est le suivant (au 17 juin 2003) :

| Villes | Personnes décédées | Personnes blessées |
|------------|--------------------|--------------------|
| Boumerdès | 1381 | 3442 |
| Alger | 883 | 6787 |
| Tizi-Ouzou | 7 | 261 |
| Bouira | 2 | 127 |
| Bejaia | 2 | 3 |
| Blida | 2 | 709 |
| Médea | 0 | 121 |
| Total | 2277 | 11450 |

Tableau. 1.4 – Le bilan officiel des victimes du 17 juin 2003²**Figure. 1.10** – présentation des valeurs des victimes arrête au 17 juin 2003

Les spécialistes ont recours à l'utilisation de degrés de dommages semblables à ceux définis dans les EMS 98 (European Macroseismic Scale), à savoir :

Degrés 1 et 2 : couleur verte

Degrés 3 et 4 : couleur orange

Degré 5 : couleur rouge

La répartition des dommages s'établit selon le tableau suivant (chiffres officiels donnés par Mr BELAZOUGUI, le 28 juin 2003) ; ces chiffres correspondent aux évaluations du CTC, organisme officiel de contrôle des constructions en Algérie :

| Degrés d'Endommagement (~EMS 98) | Nombre de logements endommagés | | | Pourcentage |
|--|--------------------------------|-----------|-------|---------------|
| | Alger | Boumerdès | Total | |
| Degrés 1 et 2 | 40147 | 33195 | 73342 | # 50 % |

² Ces chiffres sont Pris à partir du Rapport préliminaire de la mission AFPS Organisée avec le concours du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD/DPPR/SDPRM)

| | | | | |
|---------------|-------|-------|--------|---------|
| Degrés 3 et 4 | 42452 | 16731 | 59183 | # 40 % |
| Degré 5 | 7497 | 6475 | 13972 | # 10 % |
| Total | 90096 | 56401 | 146497 | # 100 % |

Tableau. 1.5: chiffres officiels donnés par Mr BELAZOUGUI, le 28 juin 2003

De nouvelles évaluations sont effectuées, concernant les bâtiments classés en orange (degrés 3 et 4) : des premiers résultats obtenus dans la wilaya de Boumerdès ont donné une répartition de 45% pour le degré 4 (non récupérable), et de 55% pour le degré 3 (récupérable), pour cette couleur orange.

| usage | VERT | | ORANGE | | ROUGE | Total |
|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| | NIVEAU 1 | NIVEAU 2 | NIVEAU 3 | NIVEAU 4 | NIVEAU 5 | |
| Habitations | 12646 | 20591 | 10818 | 5940 | 6449 | 56444 |
| Bat. Admin. | 119 | 142 | 82 | 48 | 40 | 431 |
| Equip. Scolaires | 295 | 449 | 244 | 178 | 82 | 1248 |
| Equip. Hospitaliers | 72 | 58 | 23 | 14 | 8 | 175 |
| Equip. Sportifs ou Culturels | 81 | 57 | 54 | 53 | 20 | 265 |
| Commerces | 148 | 124 | 100 | 71 | 108 | 551 |
| Equip. Industriels et Hangars | 50 | 99 | 49 | 43 | 42 | 283 |
| Autres | 20 | 41 | 16 | 22 | 29 | 128 |
| TOTAL | 13431 | 21561 | 11386 | 6369 | 6778 | 59525 |
| % | 22.58 | 36.22 | 19.12 | 10.70 | 11.38 | 100.00 |

Tableau.1.6- bilan des dommages arrêté au 24.06.2003³

³ Pris à partir du Rapport préliminaire de la mission AFPS Organisée avec le concours du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD/DPPR/SDPRM)

6 Aperçue historique et sismique de la ville de Mostaganem.

6.1 Aperçu historique

L'importance historique la ville de Mostaganem a fait de cette dernière une ville hautement considérée par la présence de vestiges et monuments historiques qui témoignent et confirment le rôle qu'a joué Mostaganem et sa région à travers des siècles de succession de civilisations.

✓ Antiquité

La ville fut occupée d'abord par les phéniciens sous le nom de Murustaga, puis reconstruite par les Romains qui lui donnèrent au temps de Gallien (218-268), le nom de Cartenna. Aperçue

✓ Période islamique

Certains attribuent la fondation aux almoravides qui durant le XI siècle en furent les maîtres.

C'est sous le règne de l'Almoravide Youssef Ibn Tachfine (1061-1106) que l'on attribue en 1082, la fondation du Bordj el M'Hal (actuellement prison civile).

Après lui, Mostaganem appartient aux Zianides de Tlemcen, puis aux Mérinides de Fès, dont l'un d'eux Abou El Hassan Ali Ibn Abi Saïd fit construire la grande Mosquée à Tebbana (1341-1342).

Au début du 16^{ème} siècle, s'établissait à Mostaganem la dominance de Hamid El Abd, issu de la tribu les Banu Hilal appelés les M'Hals. Hamid El Abd entoura la ville de remparts, construisit de nombreux silos sur les hauteurs à l'endroit même où fut construit plus tard le quartier de Matmore.

✓ Période espagnole

Après avoir occupé Mers El Kebir en 1501, Oran en 1509, les espagnols s'installent à

Mostaganem en 1511 suite à une capitulation signée avec les Marabouts et Cheikhs de cette ville. Les espagnols régneront sur la ville jusqu'en 1516, date d'arrivée des Turcs.

✓ Période Ottomane

La ville passe sous la domination turque en 1516. En fait l'importance de la cité date de l'occupation des Turcs. Ils y installèrent une garnison et agrandirent son enceinte.

Mostaganem et sa région ont abrité de nombreux Maures d'Espagne, qui ont construit de nombreux quartiers et villages et fondé de grandes exploitations agricoles. Le commerce avec l'Espagne (et avant avec l'Andalousie était aussi très actif).

✓ **Période coloniale**

L'occupation française de la ville commença le 28 juillet 1833. En mai 1837 et suite au traité de la Tafna, Mostaganem et sa région revenait définitivement aux français.

Cette occupation passera par plusieurs ; chacune d'elles se distinguera par son empreinte, son type d'organisation et ses modes d'implantation.

✓ **1833-1848**

Cette période marque le début de l'occupation militaire, le quartier EL Matmore se voit ainsi transformé en garnison militaire. La grande mosquée de Tebbana servit de caserne. Durant cette phase, l'urbanisme colonial avec sa forme orthogonale se répand autour de la ville ancienne et plusieurs opérations ont été réalisées :

-nouvelles places construite (place d'Armes)

-immeubles d'habitations collectives avec les RDC réservés aux commerces

-hôpital militaire

-gare ferroviaire

✓ **1849-1909**

Les difficultés économiques et la recherche de nouvelles sources de développement dont l'agriculture ont fait que cette période a connu une urbanisation lente.

Plusieurs quartiers ont vu le jour, il s'agit de :

- quartier de la Marine (Nord Ouest)
- quartier de la Pépinière (Sud Ouest)
- quartier Beymouth (Sud)
- Quartier Saint Jules (Est)

En parallèle, l'achèvement de la ligne de chemin de fer en 1900 (Mostaganem, Relizane, Tiaret) permit à la ville d'être liée à l'arrière pays (acheminement des produits agricoles et les matières premières

✓ 1910-1962

L'essor de la viticulture contribue au développement économique et assure une extension spectaculaire de la ville. De nouveaux quartiers se sont implantés (Mont Plaisir à l'Est), certains se sont rejoints (Beymouth, Saint-Jules, et Raisinville). Il y a eu l'étalement des quartiers de Tidjditt et la Pépinière. L'inauguration de l'hôtel de ville, imposant édifice au centre-ville, permet d'asseoir le pouvoir colonial.

Le plan de Constantine permet la création des habitations à loyer modéré (HLM) au nord de Tidjditt (la cité Foncière)

✓ La période d'indépendance

Sur une dizaine d'années après l'indépendance, faute d'investissements conséquents, l'urbanisation a été relativement lente. Seuls quelques projets structurants ont été réalisés tels le siège de la wilaya (architecture arabo mauresque) mais également des projets modestes (écoles primaires) et surtout l'achèvement des programmes HLM (programme de Constantine).

Dès les années 70, avec la politique d'équilibre régional, Mostaganem a bénéficié d'un programme de développement conséquent qui touchera tous les secteurs d'activité économique. Un instrument de planification urbaine (PUD) tracera les grandes orientations de son expansion urbaine.

Le noyau central avec ses trois entités historiques précoloniales et coloniales (Derb-Tebbana, Tidjditt et El Matmore) sera vite englouti dans les nouvelles extensions.

-Au Sud Ouest, Salamandre la balnéaire, sera désormais un quartier de l'agglomération

-Au Sud vers Mazagan, ce sera l'habitat collectif et individuel qui assurera la jonction avec la ville

-Au Nord Est vers Kharouba, de grands projets structurants verront le jour tels le nouveau pôle universitaire, la sûreté urbaine, la protection civile, un institut de formation professionnelle, des cités universitaires et le nouvel hôpital

La partie donnant sur la mer sera par contre dominée par l'habitat individuel et semi collectif.

On constate que l'espace bâti a augmenté à un rythme annuel de 7,34% entre 1977 et 2000, c'est-à-dire qu'en l'espace de 23 ans, la ville de Mostaganem a vu sa superficie bâtie multipliée par 1,5 fois (169% exactement).

6.2 Sismologie de la ville de Mostaganem

La zone sismique du territoire algérien montre que la zone tellienne fait partie de la wilaya de Mostaganem, notamment sa frange littorale est soumise au degré d'aléas sismique le plus élevé. La carte proposée par le CRAAG la classe au niveau 03 dont l'intensité maximale attendue est comprise entre 9 et 10.

La synthèse des résultats des études géotechniques effectuées par les différents laboratoires dans plusieurs zones du groupement confirme l'hétérogénéité et la recommandation de recourir généralement au radier général, comme type de fondation dans toute la zone de l'étroite plaine littorale.

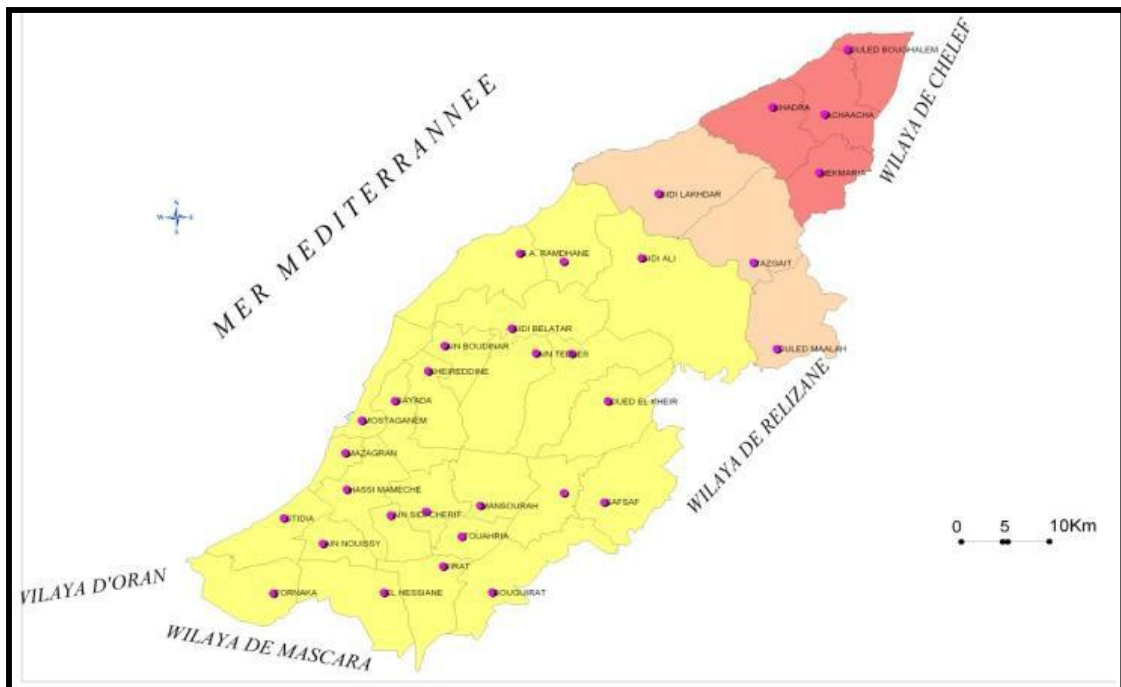


Figure.1.11– Carte du zonage sismique de la wilaya de Mostaganem (prise à partir de la direction de la protection civile de la wilaya de Mostaganem)

6.3 Evaluation du parc logement de la ville de Mostaganem (chef-lieu)

| Habitat | Voirie | Equipements | Espaces verts | Espaces d'investissement | Total |
|---------|--------|-------------|---------------|--------------------------|--------|
| 30 % | 20 % | 20 % | 15 % | 15 % | 100 % |
| 167 ha | 111 ha | 111 ha | 83 ha | 83 ha | 555 ha |

Tableau.1.7–Répartition globale du foncier selon les fonctions urbaines (Prise à partir de la direction DUC de Mostaganem)

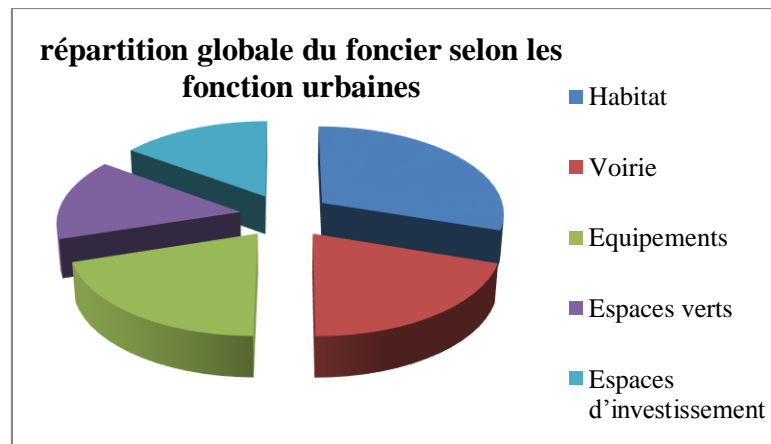


Figure. 1.12– Répartition globale du foncier selon les fonctions urbaines
(Prise à partir de la direction DUC de Mostaganem)

6.4 Habitat ancien : problématique et actions

Dans le cadre de la prise en charge du patrimoine bâti ancien de Mostaganem, une étude est en cours, initiée par les autorités locales, portant sur le recensement de ce patrimoine dégradé ou en voie de dégradation de toute la ville

Le niveau de dégradation est examiné par des expertises établies par le CTC d'un îlot sous forme d'échantillon, situé entre la rue 16 et 07 à Tigditt dresse un classement de dégradation des éléments porteurs (horizontaux et verticaux) en trois niveaux : bâtisse menaçant ruine, bâtisse présentant des dégradations notables, bâtisse présentant de légères dégradations.

| Résultat de l'expertise | | |
|--|-----------|------------|
| Type de dégradation | Nbre | % |
| bâtisse menaçant ruine | 17 | 65 |
| bâtisse présentant des dégradations notables | 5 | 19 |
| bâtisse présentant de légères dégradations. | 4 | 16 |
| Total | 26 | 100 |

Tableau. 1.8 : évaluation de typologie des bâtis du chef lieu. (DUC de Mostaganem)

6.5 Estimation du volume du patrimoine ancien

| Quartiers | Superficie (ha) | Nbre de Constructions | Taux de concentration % | Etat de dégradation | | |
|------------------------------------|--------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|
| | | | | Menaçant ruine | Dégradation notable | Légère dégradation |
| Tigditt | 17,87 | 1090 | 57,89 | 709 | 207 | 174 |
| Matmor | 0,98 | 112 | 5,95 | 73 | 21 | 18 |
| Derb | 2,48 | 100 | 5,31 | 65 | 19 | 16 |
| Tebana | | 60 | 3,19 | 39 | 11 | 10 |
| Raisinville | 3,29 | 211 | 11,21 | 40 | 137 | 34 |
| Centre ville | 1,29 | 70 | 3,72 | 13 | 46 | 11 |
| Centre ville Didouche Mourad | 1,68 | 100 | 5,31 | 19 | 65 | 16 |
| Plateau Marine | 2,33 | 140 | 7,43 | 91 | 27 | 22 |
| Total | 29,92 | 1883 | 100 | 1049 | 533 | 301 |

Tableau.1.9 – Estimation du volume du patrimoine ancien du chef lieu (DUC de Mostaganem)

5 Conclusion

Cette première partie avait pour objectif de présenter les conséquences plus ou moins graves que peut occasionner un tremblement de terre sur les vies humaines et les biens matériels. Il paraît inéluctable donc, qu'une prise de conscience de la part des collectivités s'impose.

Il s'agissait dans un premier temps de passer en revue l'ensemble des règlements et des textes régissant la conception parasismique, avant de se pencher à adopter une méthode d'évaluation du risque sismique. Pour se faire, nous avons essayé de passer en synthèse les cas de pathologie post sismique communément observés suite à l'occurrence des événements sismiques.

A partir de ces informations, nous avons essayé de proposer une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments existants sur la base d'une approche qualitative inspirée de celle utilisée dans le cadre du projet RISK-UE.

Chapitre 2

Méthodologie d'estimation de la vulnérabilité des bâtis existants.

1 présentation des méthodes d'estimation de la vulnérabilité des bâtis existants.

1.1 Introduction

Depuis plusieurs années, les régions du monde qui ont subi de forts séismes destructeurs ayant provoqués d'importantes destructions ont initié des méthodes d'analyse de la vulnérabilité à grande échelle.

1.2 Présentation des méthodes

La recherche bibliographique menée auprès d'experts, de centre de documents et par internet a permis de rassembler plusieurs méthodes.

Le choix des méthodes à étudier s'est basé sur les informations plus ou moins complètes recueillies sur chacune d'entre elles et sur leur origine.

Les méthodes retenues sont :

✓ Six méthodes françaises

- la méthode du CETE Méditerranée
- la méthode Zacek 1993
- la méthode Zacek élaborée pour évaluer la vulnérabilité des bâtiments de classe D de la ville de Nice
- la méthode AFPS dite Battier
- la méthode Vulneralp
- la méthode CETE de Lyon

✓ Une méthode européenne

- la méthode RISK-UE

Six méthodes développées par des différents pays

- la méthode canadienne
- la méthode américaine FEMA-154
- la méthode japonaise
- la méthode néo-zélandaise
- une méthode suisse
- la méthode italienne GNDT

Les principes de chaque méthode sont décrits sommairement en une à deux pages en explicitant ces objectifs et la démarche associée comme suite :

1.2.1 Méthode du CETE Méditerranée (fin des années 1990)

La méthode sommaire d'analyse de la vulnérabilité développée par le CETE Méditerranée à la fin des années 90 ne constitue pas une étude de vulnérabilité à proprement parler mais plutôt une approche pour la détermination de la présomption de vulnérabilité. Il s'agit surtout de recenser les indices de vulnérabilité de bâtiments et de fournir une indication *a priori* sur le comportement plus ou moins favorable des constructions sous sollicitation sismique.

Cette méthode reste empirique dans la mesure où l'on ne procède à aucun calcul de structure pour étudier la réponse de la construction à une sollicitation sismique donnée. Elle ne prend en considération que les données recueillies sur le site, la plupart du temps sans accès à l'intérieur des locaux.

A partir d'un **examen visuel extérieur des bâtiments**, l'approche consiste à identifier et à pondérer les **paramètres structuraux ou non** pouvant modifier le comportement des constructions existantes en cas de séisme et consister en des **facteurs aggravant de vulnérabilité**.

Ces facteurs sont identifiés à l'aide d'une fiche de relevé des caractéristiques des bâtiments et les pondérations correspondent à des valeurs préétablies par les experts ayant développé cette méthode.

A partir de la fiche de relevé présentée en annexe, **un indice de vulnérabilité V** est calculé selon l'expression suivante $V = V1+V2$ où :

- **V1** est un indice de base cumulant l'influence des caractéristiques d'ensemble du bâtiment, selon trois **critères de base, l'âge de la construction (VA)**, le

- **matériau structural** (VM) et **l'état d'entretien** (VE) ($V1 = VA + VM + VE$), sachant que V1 varie de 0 à 0,50 ;
- **V2** représente des **facteurs de vulnérabilité** découlant de l'observation de dommages post-sismiques et issus des travaux de l'Association Française de Génie Parasismique, travaux compilés dans son bulletin technique n°24 de mars 2002 [1].

Les 22 facteurs retenus pour déterminer V2 appellent une réponse binaire, selon l'existence du facteur ou pas (1=où/0=non).

Un poids est attribué (selon l'estimation du degré de dommage) pour chacun d'eux. Cette somme pondérée des 22 facteurs est normée à 0,50.

L'indice global de vulnérabilité correspond à une valeur comprise entre 0 à 1. La valeur 1 correspond au niveau de vulnérabilité le plus important.

1.2.2 Méthode de Milan Zacek (1993)

Cette méthode simplifiée à l'usage des architectes rédigée par Milan Zacek en 1993 constitue plutôt une méthode d'évaluation de la présomption de vulnérabilité des constructions aux séismes qu'une étude de vulnérabilité à proprement parler. En effet cette méthode ne nécessite aucun calcul de structure, elle est simple et peu coûteuse. Elle consiste uniquement en un relevé de données sur site par simple examen visuel extérieur.

Le but de cette méthode est d'identifier les constructions potentiellement dangereuses. Elle permet pour un bâtiment donné de définir le niveau de dommages attendu (modérés, importants ou graves) en fonction de l'intensité du séisme attendu (faible, moyenne, forte).

Elle conclut à la nécessité ou non d'une étude approfondie sur le bâtiment étudié.

Elle n'a pas pour objectif premier de hiérarchiser un groupe de bâtiments en fonction de leur vulnérabilité mais pourrait être utilisée dans ce cadre également.

L'approche consiste dans un premier temps à relever les caractéristiques générales et les facteurs de vulnérabilité du bâtiment (caractéristiques de la construction et état de conservation) à l'aide d'une fiche de relevé. Dans un second temps, il s'agit de déterminer les dommages correspondants à chaque facteur et caractéristique relevés à l'aide d'une grille d'évaluation de la présomption de vulnérabilité.

Trois niveaux d'agression sismique sont considérés : séismes faibles, moyens et forts. Le résultat de l'évaluation sommaire de vulnérabilité du bâtiment pour chaque niveau d'agression sismique est obtenu en retenant la situation la plus grave parmi les appréciations correspondantes à chaque facteur de vulnérabilité. Ces résultats sont inscrits sur la fiche de

relevé. Il est à noter que lorsque la construction cumule certains facteurs de vulnérabilité (forme très irrégulière par exemple), les dommages potentiels sont majorés d'un degré.

Enfin la nature du sol et la situation dans le site sont relevés sur la fiche mais ils ne sont aucunement pris en compte dans l'évaluation des dommages. L'ensemble de ce relevé aboutit sur une appréciation finale de la nécessité de réaliser une étude approfondie.

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

Cette étude, faite dans le cadre de l'opération GEMITIS engagée par le Comité français de la DIPCN (Décennie internationale pour la prévention des catastrophes naturelles), vise à établir la présomption de vulnérabilité de bâtiments de classe D situés à Nice (Alpes-Maritimes).

Il s'agit d'une démarche qualitative faisant l'objet d'un examen visuel, destiné à apprécier, en première approximation, le comportement des bâtiments sous séisme, ainsi que le degré de dommages qu'ils pourraient subir.

Les bâtiments visités sont soumis à un **examen visuel extérieur et intérieur** portant sur :

- L'architecture
- Le système constructif
- Les dispositions constructives apparentes

Les observations réalisées lors des examens visuels sont consignées dans des fiches de relevé très détaillées spécialement conçues pour les bâtiments stratégiques. Sont consignés aussi dans les fiches de relevé sous forme de commentaires les facteurs aggravants à savoir :

- La proximité d'ouvrages non parasismiques pouvant s'effondrer sur le bâtiment étudié
- L'aléa sismique local : effets de site, effets induits par le séisme, proximité d'une faille active

Les caractéristiques relevées permettent de formuler des hypothèses sur :

- La stabilité d'ensemble des bâtiments sous séisme
- Le degré de dommages subis
- Les possibilités de fuite et d'évacuation des occupants atteinte éventuelle des fonctions vitales et de suggérer un éventuel renforcement nécessaire pour assurer l'opérationnalité du bâtiment en cas de séisme.

Un calage des dommages en fonction des facteurs de vulnérabilité a été défini sur la base des cas les plus fréquemment rencontrés lors des séismes forts passés. Par exemple, en cas de séisme fort, une hypothèse haute d'effondrement partiel ou total des bâtiments comportant des

ailles importantes est avancée. Les dommages relatifs aux séismes moyen et faible ont été appréciés par une réduction de un ou deux degrés des dommages associés au séisme fort.

Le cumul des facteurs de vulnérabilité et le sur-classement du niveau de dommages associés en cas de séisme sont appréciés au cas par cas.

L'influence des facteurs aggravants liés à l'environnement du bâti n'est pas prise en compte. Il s'agit des effets de site, des effets induits et de l'impact potentiel d'ouvrages non parasismiques situés à proximité du bâtiment étudié.

Les résultats de cette évaluation sont présentés dans une grille mettant en rapport l'intensité des séismes (faible, moyenne, forte) avec le degré de dommages du bâtiment (légers, modérés, graves, effondrement partiel ou total).

1.2.4 Méthode BATTIER (2002)

Cette méthode, établie par le groupe de travail « vulnérabilité du bâti existant » de l'AFPS, présidé par Jean BATTIER, est présentée dans le cahier technique n° 24 de mars 2002.

Elle a pour but de fournir à la puissance publique, aux collectivités, ou à tout maître d'ouvrage, les moyens de connaître les facteurs contribuant à la vulnérabilité des différents bâtiments constituant leur patrimoine immobilier, et d'apprécier la nature des dommages qu'ils pourraient subir, sous l'effet de séismes de différentes intensités.

Reposant sur une approche globale et statistique de la vulnérabilité (méthode qualitative), celle-ci a été prévue pour s'appliquer aux bâtiments de classe B et C. Pour les bâtiments de classe D, une analyse approfondie (quantitative) est en revanche préconisée.

L'évaluation de la vulnérabilité d'un bâtiment par cette méthode comprend deux étapes bien distinctes :

- Une enquête relative aux caractéristiques du bâtiment.
- Une évaluation proprement dite de présomption de vulnérabilité.

La première étape consiste à recenser les caractéristiques du bâtiment suivant une fiche de relevé présentée en annexe. Ce recensement nécessite un examen visuel extérieur et intérieur, et une étude des documents relatifs au bâtiment.

La deuxième étape d'évaluation de la présomption de vulnérabilité utilise les éléments de la fiche d'enquête pour remplir une grille d'analyse présentée en annexe où figurent les facteurs de vulnérabilité auxquels est joint un coefficient de pénalité. La somme des coefficients de

pénalités (K_i) obtenus permet d'obtenir un indice de présomption de vulnérabilité sur une échelle de 0 à un chiffre supérieur à 100. Cinq niveaux de vulnérabilité sont déterminés à partir des indices obtenus :

- Si $\sum K_i > 100$ présomption très forte de vulnérabilité
- Si $50 < \sum K_i < 100$ présomption forte de vulnérabilité
- Si $25 < \sum K_i < 50$ présomption moyenne de vulnérabilité
- Si $10 < \sum K_i < 25$ présomption faible de vulnérabilité
- Si $\sum K_i < 10$ présomption très faible de vulnérabilité

Lorsque l'indice dépasse 50, la méthode recommande de procéder à une analyse sismique du bâtiment plus fine à l'aide d'une méthode scientifiquement établie et validée par l'expérience.

Dans le cas contraire, une correspondance entre indice de vulnérabilité et dommages sous un niveau de sollicitation sismique donné permet d'obtenir un résultat sous forme de nature des dommages. La correspondance est la suivante :

Présomption de vulnérabilité moyenne : $25 < \sum K_i \leq 50$

- Accélération maximale du sol **0.1g** : dommages légers
- Accélération maximale du sol **0.2g** : dommages modérés
- Accélération maximale du sol **0.4g** : dommages graves

Présomption de vulnérabilité moyenne : $10 < \sum K_i \leq 25$

- Accélération maximale du sol **0.1g** : dommages négligeables
- Accélération maximale du sol **0.2g** : dommages légers
- Accélération maximale du sol **0.4g** : dommages modérés

Présomption de vulnérabilité très faible : $\sum K_i \leq 10$

- Accélération maximale du sol **0.1g** : dommages nuls à négligeables
- Accélération maximale du sol **0.2g** : dommages négligeables à légers
- Accélération maximale du sol **0.4g** : dommages légers à modérés

Le résultat de l'ensemble de cette méthode est donné sous forme d'un tableau présentant la nature des dommages à prévoir pour le bâtiment étudié en fonction de la nature du séisme.

1.2.5 Méthode VULNERALP (2005)

Cette méthode qualitative a été élaborée par le LCPC/LGIT (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées/ Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique de l'université Joseph Fourier-Observatoire de Grenoble) dans le cadre du projet VULNERALP et par l'AFPS dans le cadre du groupe de travail « Vulnérabilité du bâti existant : approche d'ensemble ».

Sur la base de l'identification, via des fiches de relevés, de critères architecturaux et constructifs, cette approche permet d'attribuer un indice de vulnérabilité global à la construction étudiée. Les pondérations de facteurs de vulnérabilité employée se basent essentiellement sur les travaux développés par le GNDT (Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti) italien. L'objectif de la méthode est de définir des priorités d'analyse ou d'actions parmi un ensemble de bâtiment à l'échelle d'un quartier ou d'une ville. Elle est à ce titre qualifiée par les auteurs de « premier dégrossissage statistique ». Elle ne vise pas à définir les actions de réhabilitation proprement dites. Il s'agit d'une méthode « à étages » ou « gigogne » permettant de mettre en œuvre différents niveaux d'analyse de plus en plus précis et impliquant une mobilisation progressive des moyens.

A l'heure actuelle, 4 niveaux d'analyse, tous compatibles entre eux, ont été développés :

- **Le premier niveau**, le plus rudimentaire, **appelé 0**, se base uniquement sur la typologie des bâtiments rencontrés en référence à la typologie EMS 98. Il permet un rapide screening des niveaux probables de dommages pour une typologie présente dans la ville. Ce niveau mobilise des données issues de la bibliographie, des photos aériennes ou de base de données relatives au bâti (INSEE par exemple).
- **Le second niveau**, assez sommaire, **appelé 1.0**, est un questionnaire assorti d'un guide informatif qui peut être renseigné par les gestionnaires de parc eux-mêmes. Sur cette base est alors estimé un indice de vulnérabilité, assorti d'une grande marge d'incertitude. Les informations nécessaires sont d'ordre qualitatif et géométrique : matériau de construction, âge, terrain d'implantation, nombre d'étages, régularité géométrique, toiture.
- **Le troisième niveau, plus précis et appelé 1.1**, met en oeuvre des fiches un peu plus détaillées renseignées par un technicien dûment formé après inspection visuelle extérieure. Les informations complémentaires ainsi obtenues permettent d'affiner l'estimation de l'indice de vulnérabilité : réduction de la marge d'incertitude.
- **Le quatrième niveau, appelé 2.0**, nécessite l'intervention d'un ingénieur spécialiste en bâtiment pour acquérir des informations sur la structure elle-même par inspection extérieure et intérieure et consultation des plans de construction. La fiche est plus détaillée que la précédente. Elle permet notamment d'identifier le système de contreventement structural mobilisable pour la résistance aux séismes, les contributions des éléments non structuraux extérieurs et intérieurs et surtout d'identifier d'éventuels défauts structuraux visibles.

L'indice de vulnérabilité global de l'ouvrage est obtenu pour chaque niveau d'analyse en agrégeant les indices de vulnérabilité partiels des facteurs de vulnérabilité étudiés, pondérés par leurs coefficients. A cet indice de vulnérabilité global variant entre 0 et 100 est associé une marge d'erreur appelée « intervalle ».

En fonction des indices de vulnérabilité globaux obtenus au niveau inférieur, il est décidé de la nécessité ou non d'appliquer, sur certains secteurs ou ensemble de bâtiments, le niveau supérieur d'analyse de la méthode Vulnéralp.

A partir de l'indice de vulnérabilité global obtenu, un niveau de dommages attendu peut être déterminé. La correspondance a été définie par le GNDT.

Le niveau d'endommagement se calcule par croisement de la vulnérabilité du bâtiment et des intensités sismiques par la formule de Giovinazi et Lagomarsino :

$$\text{Endommagement} = [0,5 + 0,45 \cdot \arctan(0,55(I - 10,2 + 0,05 \cdot IV))]$$

Où : I est l'intensité macrosismique et IV l'indice de vulnérabilité

Le résultat obtenu (l'endommagement) s'exprime en degrés (échelle des dommages EMS 98), selon la correspondance suivante :

| | |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| Degré 1 (dégât léger) | Endommagement de 0 à 0,2 ; |
| Degré 2 (dégât modéré) | Endommagement de 0,21 à 0,4 ; |
| Degré 3 (dégât important) | Endommagement de 0,41 à 0,6 ; |
| Degré 4 (dégât très important) | Endommagement de 0,61 à 0,8 ; |
| Degré 5 (dégât destruction) | Endommagement de 0,81 à 1 ; |

Les principes de cette méthode ont été appliqués au sein du projet Vulnéralp à Grenoble, du programme européen RISK-UE et du projet GEMGEP à Nice.

1.2. 6 Méthode du projet européen RISK-UE(2003)

Cette méthodologie a été développée par les institutions partenaires du projet RISK-UE (AUF, BRGM, CIMNE, CLSMEE, IZIIS, UICB, UNIGE) dans le cadre du Work Package 4 relatif à l'évaluation de la vulnérabilité du bâti courant. Ce projet avait pour but d'analyser le risque sismique à l'échelle d'une ville, et d'aboutir à la création d'une méthodologie permettant l'évaluation des risques. Deux méthodes ont été établies pour évaluer la vulnérabilité des bâtiments :

- une méthode macrosismique, le niveau 1, reposant sur l'affectation aux bâtiments d'un indice de vulnérabilité, définissant des courbes de vulnérabilité et de fragilité

- une méthode mécanique, le niveau 2, basée sur des analyses analytiques de la structure basée sur des modélisations dynamiques ou des modélisations simplifiées.

On ne s'intéressera pas au niveau 2 puisqu'il s'agit d'une méthode quantitative.

La méthode macrosismique (niveau 1) repose sur l'évaluation d'un indice de vulnérabilité pour un bâtiment donné, indice qui est fonction de la typologie constructive du bâtiment ainsi que de différents facteurs susceptibles de modifier son comportement. A partir de cet indice, il est possible de définir, en fonction de l'intensité macrosismique de l'EMS-98, des courbes de vulnérabilité, qui permettent d'évaluer la répartition des probabilités de dommages sur le bâtiment.

L'indice de vulnérabilité du bâtiment (V_I) est compris entre 0 et 1. Les valeurs proches de 1 correspondent aux bâtiments les plus vulnérables. Il s'obtient en faisant la somme de 4 termes :

- V_I fonction de la typologie du bâtiment.
- ΔV_m représentant l'influence des différents facteurs pouvant modifier le comportement.
- ΔV_r prenant en compte le jugement de l'expert concernant les particularités régionales de la vulnérabilité pressentie lors de l'observation.
- ΔV_f prenant en compte l'incertitude du relevé de la typologie et des facteurs de vulnérabilité

Le terme V_I est donné par une matrice dans laquelle un indice de vulnérabilité est affecté à chaque type de bâtiment. 23 typologies de bâtiments sont caractérisées dans cette matrice.

Le terme ΔV_m est évalué en sommant les coefficients associés à chaque facteur de vulnérabilité observé sur le bâtiment. Les facteurs de vulnérabilité sont recensés suivant une fiche de relevé. Deux fiches de relevé existent, l'une pour les bâtiments en béton armé, acier et bois et l'autre pour les bâtiments en maçonnerie. Ce recensement nécessite un simple examen visuel extérieur.

Le terme ΔV_r est laissé à l'appréciation de l'enquêteur.

Le terme ΔV_f peut prendre deux valeurs suivant que les facteurs de vulnérabilité ont été relevés ou non.

Cet indice de vulnérabilité peut être établi pour un bâtiment ou pour un ensemble de bâtiment. A cet indice de vulnérabilité est associée une incertitude. En effet la matrice de typologie de bâtiment propose pour chaque typologie spécifique le terme VI^* (indice de vulnérabilité le plus probable) et les termes $[VI^- ; VI^+]$ (limites de l'intervalle plausible de VI) et $[V_{I \min} ; V_{I \max}]$ (limites inférieure et supérieure des valeurs possibles de VI). En sommant ces valeurs limites de V_I^* aux autres termes ($\Delta V_m ; \Delta V_R ; \Delta V_f$), il est possible d'obtenir une marge d'erreur de l'indice global de vulnérabilité.

A partir de cet indice a lieu l'évaluation de la répartition des probabilités de dommages sur le bâtiment en établissant des courbes de vulnérabilité puis des courbes de fragilité. Les courbes de vulnérabilité exprimant le taux de dommage moyen, sont établies en fonction de l'intensité macrosismique I de l'EMS 98 et de l'indice VI .

L'utilisation par la suite d'une loi de distribution de dommages permet de passer du taux de dommage aux degrés de dommage EMS 98 nécessaire pour établir les courbes de fragilité. Les courbes de fragilité sont définies pour un degré de dommage EMS-98 D_k donné. Elles fournissent, en fonction de l'intensité macrosismique, la probabilité d'atteindre ou de dépasser ce degré D_k .

Cette méthode a été appliquée sur la ville de Nice par le BRGM.

1.2.7 Méthode Canadienne (1992)

Cette méthode, présentée par l'Institut de recherche en construction (IRC) du Conseil National de recherches Canadien (CNRC), s'inspire en grande partie des documents américains ATC-21, ATC-22, ATC-14 et NEHRP publié par la U.S Federal Emergency Management (FEMA) de Washington.

Il s'agit d'une méthode à tiroir comportant 2 niveaux d'analyse :

- **Le premier niveau** est une méthode de sélection des bâtiments attribuant un indice de vulnérabilité à chaque bâtiment dans le but de les classer, en vue de déterminer la nécessité d'une évaluation sismique plus détaillée (voir annexe).
- **Le deuxième niveau** est une méthode d'évaluation sismique des bâtiments consistant non seulement à déceler les faiblesses du système structural, mais aussi à évaluer les dangers pour la sécurité des personnes.

Le premier niveau est basé sur une inspection intérieure et extérieure rapide de chaque bâtiment ou de ses plans. On consigne les renseignements relatifs à chaque bâtiment sur un formulaire standard de sélection sismique, en vue d'obtenir un pointage qui sert à déterminer

l'indice de priorité sismique (IPS) de chaque bâtiment. Plus l'IPS est élevé, plus le degré de priorité pour une évaluation ultérieure est élevé. On utilise ensuite les indices pour classer tous les bâtiments de l'inventaire en vue d'une évaluation sismique détaillée (niveau 2), en éliminant ceux qui n'exigent pas un examen plus approfondi.

Les valeurs suggérées pour classer les bâtiments sont :

- < 10 : faible priorité pour une évaluation plus détaillée
- entre 10 et 20 : priorité moyenne
- > 20 : priorité élevée.

Les facteurs clés pris en compte dans la détermination de l'IPS sont la sismicité de la zone, les conditions du sol, le type de structure, les irrégularités de structure et la présence d'éléments non structuraux présentant un danger. Elle est basée également sur l'importance du bâtiment qui dépend de son utilisation et de sa catégorie d'occupation.

Le second niveau est centré sur un ensemble de questions visant à détecter les défauts et les faiblesses du bâtiment. Les questions sont posées sous forme d'énoncés d'évaluation positifs décrivant des caractéristiques de bâtiment essentielles pour éviter les défaillances observées lors de séismes passés. L'ingénieur évaluateur examine chaque énoncé et détermine s'il est vrai ou faux. Les énoncés vrais reflètent des situations qui sont acceptables. Les énoncés faux signalent des problèmes ou des préoccupations exigeant une étude plus approfondie.

Ce second niveau se divise donc en deux phases. La première phase consiste à effectuer une évaluation initiale rapide du bâtiment par une étude sur place et un examen des plans du bâtiment, suivie d'une révision des énoncés d'évaluation applicables au bâtiment en question.

Cette révision comprend des calculs de vérification rapide, requis par les énoncés d'évaluation, de la résistance et des déplacements latéraux de la structure soumise aux forces sismiques. On obtient à la fin de cette première phase, une liste de défaillances potentielles qui ne satisfont pas aux vérifications rapides où qu'on ne peut évaluer sans une étude plus approfondie. La seconde phase de la méthode d'évaluation met l'accent sur une étude des lieux et des analyses structurales détaillées en vue de déterminer si les énoncés « faux » indiquent des faiblesses réelles.

Le résultat final est une liste de faiblesses à corriger afin que les réponses aux énoncés d'évaluation passent de « faux » à « vrai ». A cette liste sont ajoutés des commentaires sur l'importance relative des faiblesses. Le but de ces commentaires est d'aider le propriétaire à déterminer les mesures à prendre pour l'amélioration parasismique du bâtiment.

1.2.8 Méthode du CETE de Lyon (2001)

A partir d'un relevé extérieur et intérieur des caractéristiques d'un bâtiment, un profil de la vulnérabilité de la construction est établi suivant huit rubriques relatives à différents aspects concernant la construction et son environnement, à savoir :

- le terrain et l'environnement du bâtiment,
- la morphologie,
- la structure,
- les fondations,
- le contreventement,
- les éléments non structuraux,
- l'âge,
- l'entretien.

A chacune de ses rubriques (ou catégories de paramètres) correspondent différents paramètres structuraux ou non ayant chacun des influences positives ou négatives sur la vulnérabilité de l'ouvrage. Une note est donnée à chaque paramètre selon l'incidence du facteur de vulnérabilité. Un commentaire explicatif est en général donné pour chaque paramètre. Il est à noter que cette méthode intègre des coefficients de pénalité mais également des coefficients de bonification lorsque des caractéristiques sont jugées favorables à la résistance d'un ouvrage au séisme.

La somme totale des notes obtenues pour les paramètres d'une rubrique permet de lui affecter un indice compris entre -10 et $+3$. Les indices obtenus pour les huit rubriques sont regroupés sur une grille dite "Profil vulnérabilité bâtiment". Le profil global est qualifié de la façon suivante :

- Très défavorable pour des indices compris entre -10 et -7.5
- Défavorable pour des indices compris entre -7.5 et -2.5
- Neutre pour des indices compris entre -2.5 et 0.5
- Favorable pour des indices compris entre 0.5 et 3 .

1.2.9 Méthode Américaine FEMA-154

Cette méthode, proposée par la U.S. Federal Emergency Management Agency (FEMA) et connue également sous le nom d'ATC-21, est décrite dans les documents FEMA 154 et FEMA 155 révisés pour la dernière fois en 2002 (BSSC, 2002a ; BSSC, 2002b)

Une note de base associée au risque structurel (*BSH* : Basic Structural Hazard) est attribuée au bâtiment selon son principe constructif, identifié parmi 15 types de structures courantes aux Etats-Unis, et selon la sismicité de la région. Cette note varie de 1,6 pour les ossatures en béton armé avec remplissage en maçonnerie situées en zone de forte sismicité, à 7,4 pour les structures en bois de charpente en zone de faible sismicité. La note structurale de base est ensuite modifiée par l'ajout ou la soustraction de facteurs de modification de performance *SM* établis selon les déficiences observées pour les différentes classes de bâtiment. Les caractéristiques structurales considérées par les facteurs de modification *SM* sont la hauteur du bâtiment, les irrégularités géométriques et structurales en plan et en élévation, l'année de conception qui présuppose l'application d'un certain code de construction, le type de sol. Une grille standardisée, contenant les valeurs des coefficients à appliquer, est fournie pour faciliter le pointage de ces éléments. La note finale varie théoriquement entre 0 et 7 et correspond à la probabilité d'effondrement d'un bâtiment pour un séisme égal ou dépassant le séisme maximum considéré (MCE, correspondant à 2% de probabilité de dépassement en 50 ans) selon la relation : $S = -\log_{10}(\text{probabilité d'effondrement})$

1.2.10 Grille d'évaluation suisse (2003)

L'Office Fédéral des eaux et de la Géologie suisse a établi en 2003 et réactualisé en 2005 (OFEG, 2005a, 2005b, 2005c) une procédure normalisée afin de répondre à une décision du conseil fédéral exigeant de recenser les bâtiments de la confédération des classes de fonctions

II et III situés dans les zones d'aléa sismique 2 et 3, et d'en contrôler la tenue au séisme. La grille d'évaluation constitue l'outil de travail élaboré pour réaliser la première phase de cette procédure. Il s'agit d'un diagnostic sommaire de risque dans le même esprit que la méthode canadienne, à ceci près qu'il considère en plus **un indicateur économique relatif à la valeur d'assurance du bâtiment**.

La méthode vise à recenser au moyen d'indicateurs les propriétés des ouvrages qui déterminent leur tenue au séisme et à évaluer le danger auquel sont exposés les bâtiments, les personnes et les biens. Une fiche d'inventaire consignant un schéma d'évaluation est fournie pour déterminer :

- l'indicateur *AZPS* qui désigne l'ampleur des dommages corporels et des dégâts matériels,
- l'indicateur *WZ* qui témoigne de la probabilité d'effondrement de l'ouvrage.

Le produit des deux fournit l'indicateur de risque *RZPS*

L'indicateur *AZPS* est obtenu en combinant l'indicateur *ADS* relatif aux coûts, l'indicateur *ADP* relatif aux dommages corporels et l'indicateur *AIF* relatif à la classe de fonction du bâtiment. *ADS* donne la valeur d'assurance du bâtiment augmentée du coût inhérent au démantèlement des ruines et du coût des équipements qu'il abrite. L'indicateur *ADP* est calculé à partir du taux d'occupation. Le coefficient *AIF* est aussi appelé coefficient d'importance du bâtiment. Il traduit les conséquences indirectes de la perte de la ruine du bâtiment. L'indicateur final de dommages *AZPS* rend compte des pertes associées à la valeur économique et sociale du bâtiment.

L'indicateur *WZ* reflétant la probabilité d'effondrement combine l'aléa sismique par les indicateurs *WEP* (zone sismique et année de conception) et *WB* (effet de site), et la tenue au séisme par la somme de plusieurs coefficients W^* considérant différentes caractéristiques structurales facilement identifiables sur la base des plans ou d'une visite du bâtiment : nature, régularité et adéquation du contreventement, mode de construction (matériaux, diaphragmes), nombre d'étages, fondations. Les ouvrages examinés peuvent être classés en fonction de leur indicateur de risque *RZPS* pour établir une liste de priorité d'intervention. Les diagrammes *WZ/AZPS* s'avèrent également bien indiqués pour distinguer les bâtiments pour lesquels un assainissement parasismique de la structure porteuse peut s'avérer efficace, de ceux pour lesquels un changement d'affectation est plus judicieux.

1.2.11 Méthode néo-zélandaise (2006) :

Cette méthode, utilisée de manière courante en Nouvelle-Zélande, a été publiée par la New-Zealand Society for Earthquake Engineering pour la première fois en 2000 (NZSEE, 2000).

Le guide sorti en 2006 (NZSEE, 2006) reprend et réactualise la méthode sous la forme d'une procédure d'évaluation initiale (Initial Evaluation Procedure) destinée à sélectionner les ouvrages a priori à risque. La méthode implique une estimation sommaire de la performance des bâtiments existants par rapport au standard exigé pour un nouveau bâtiment. Cette estimation, qui tient compte de toutes les informations raisonnablement disponibles, est donnée par le paramètre *%NBS* (« percentage new buildings standard »). Le calcul du *%NBS* comprend plusieurs étapes détaillées dans ce qui suit.

La première étape de l'évaluation consiste dans le calcul du paramètre $(\%NBS)_b$ (« Baseline percentage new buildings standard »), qui figure la performance d'un bâtiment régulier et bien conçu, du même type, du même âge, construit au même endroit selon le code en vigueur à la

date de construction. Les données exigées pour déterminer $(\%NBS)_b$ sont la période fondamentale de vibration du bâtiment, la localisation (niveau d'aléa, tenant compte éventuellement de la proximité d'une faille), le type de sol (classes A à E), l'année de construction ou le millésime du code appliqué, la ductilité équivalente, la catégorie d'importance (bâtiment courant, bâtiment accueillant un public nombreux, bâtiments stratégiques, etc.). La deuxième étape consiste à identifier les faiblesses structurelles (« critical structural weakness ») susceptibles d'altérer le comportement du bâtiment. Les facteurs de vulnérabilité pris en compte se rapportent :

- aux irrégularités structurelles et/ou géométriques en plan et en élévation (forme irrégulière ou élancée, excentricité, variation de masse ou de rigidité, discontinuité du contreventement, etc.),
- à la présence de poteaux courts,
- aux possibilités d'entrechoquement avec des structures voisines (largeur des joints, niveaux décalés, différence de hauteurs),
- à la susceptibilité du site aux effets induits (glissement, instabilité, liquéfaction).

Un coefficient, compris entre 0 et 1 est attribué à chaque faiblesse structurelle. Le produit de ces facteurs, noté *PAR* pour « performance assessment ratio », mesure la réduction globale de performance attendue, par rapport à une structure bien conçue du même type, du fait de la présence de facteurs de vulnérabilité additionnels. On a donc finalement :

$$\%NBS = (\%NBS)_b \times PAR$$

Une procédure alternative est proposée pour calculer le $\%NBS$ des bâtiments en maçonnerie non armée. Dans ce cas, l'évaluation du bâtiment nécessite une inspection plus approfondie.

Les éléments recherchés sont relatifs :

- à la continuité de la structure du bâtiment (présence de chaînages verticaux ou horizontaux, etc.),
- aux configurations structurelles et géométriques en plan et en élévation,
- à la qualité et à l'état de conservation des matériaux,
- aux rapports de longueur qui déterminent la stabilité hors plan des murs en maçonnerie (élancement horizontal et vertical),
- au rapport de surface entre la section totale des murs de contreventement et la surface de l'étage courant (densité de murs),
- à la rigidité des planchers et leur capacité à jouer le rôle de diaphragme (couverture géométrie, ouvertures)

- au monolithisme du système de fondation (fondations isolées ou filantes, radier complet, etc.),
- aux joints de construction avec les structures voisines

Une note globale est attribuée au bâtiment qui est la somme des scores attribués à chacun des éléments listés ci-dessus. Un tableau de correspondance permet de déduire le %NBS du bâtiment.

Si le %NBS est inférieur à 33 %, le bâtiment est prédisposé à s'effondrer en cas de séisme (« earthquake prone building »). Dans ce cas, la loi néo-zélandaise (« Building Act ») de 2004 exige la mise en œuvre d'un diagnostic détaillé.

Si le %NBS est supérieur à 67 %, le bâtiment peut être considéré comme sûr.

Si le %NBS est compris entre 33 et à 67 %, un diagnostic détaillé est recommandé.

Enfin, un schéma est proposé pour classer les bâtiments par ordre de priorité d'intervention.

Un facteur de priorité (« priority factors ») est pour cela calculé qui tient compte non seulement de la performance de la structure (%NBS) mais aussi de son importance (bâtiment stratégique ou non, taux d'occupation et nombre total d'occupants) et des risques engendrés pour les personnes situées en dehors du bâtiment (présence de nombreux piétons, etc.).

1.2.12 Méthode japonaise (2001)

Le Japon fut en 1977 le premier pays à publier une méthode normalisée pour la réévaluation sismique des bâtiments existants. Cette norme a été mise à jour en 1990 et 2001 pour tenir compte des derniers développements scientifiques. L'analyse présentée ici porte sur la version anglaise disponible depuis 2001 (JBDPA, 2001).

La performance sismique du bâtiment est représentée par un indice de performance sismique, I_s , qui doit être calculé pour chaque étage et dans les deux directions principales, selon l'équation :

$$IS = E0 SD T$$

Où :

- E_0 , appelé indice structural de base, figure la performance nominale du bâtiment, supposé parfaitement régulier et en très bon état,
- S_D , l'indice d'irrégularité du bâtiment, quantifie l'effet des diverses irrégularités structurelles et géométriques sur le comportement de la structure,
- T , un indice de vieillissement relatif à la dégradation de la structure au cours du temps, est introduit pour tenir compte de l'influence de défauts structurels tels que la fissuration, les flèches, le vieillissement des matériaux, etc.

Trois procédures (niveaux 1, 2 et 3) de fiabilité croissante (et donc de moins en moins conservatives) sont proposées pour évaluer ces indices. Les niveaux 2 et 3 qui exigent des calculs d'ingénieur relativement complexes sont exclus de cette analyse.

Le calcul de E_0 pour chaque niveau implique de déterminer puis de multiplier un indice de résistance ultime C et un indice de ductilité F , en tenant compte du mode de rupture probable, du nombre total de niveaux et de la position de l'étage considéré. Des formules forfaitaires sont proposées qui distinguent trois types d'éléments verticaux de contreventement, à savoir les poteaux, les murs, et les poteaux courts.

L'indice d'irrégularité S_D est obtenu en agrégeant, en les pondérant par leurs coefficients, les indices partiels obtenus pour des caractéristiques particulières du bâtiment dont :

- la régularité géométrique et les dimensions en plan,
- les dimensions des joints de construction,
- la présence d'un sous-sol partiel,
- l'uniformité des hauteurs d'étages,
- la présence d'un étage souple, aggravé éventuellement d'un excentrement.

Des critères quantitatifs simples, fournis dans le manuel de la méthode, permettent de déterminer la valeur des indices partiels moyennant quelques calculs géométriques élémentaires. Toutefois, il est fait appel au jugement de l'utilisateur pour avérer la présence ou non d'un étage souple.

L'indice T est également obtenu en vérifiant quelques critères, cette fois essentiellement qualitatives :

- aux déformations observées (inclinaison, tassements différentiels, flèche importante de certains éléments structurels),
- à la fissuration des murs et des poteaux (fissuration, corrosion des aciers),
- à d'éventuels incendies,
- à l'âge du bâtiment,
- à l'état des revêtements.

Une fois l'indice de performance sismique I_s calculé, celui-ci doit être comparé avec l'indice de demande sismique I_{s0} calculé selon la formule : $I_{s0} = E_s ZGU$

Où :

- E_s est un coefficient qui vaut 0,8 pour le premier niveau et 0,6 pour les niveaux suivants pour tenir compte de la plus grande incertitude portant sur le premier niveau d'évaluation,

- Z caractérise le niveau d'aléa selon la localisation du bâtiment,
- G est un paramètre de sol qui tient compte de l'interaction sol structure ainsi que des effets de site lithologiques et topographiques,
- U dépend de l'usage du bâtiment et doit être considéré comme un facteur d'importance.

Dans la pratique, le facteur ZG est choisi égal à l'accélération spectrale (en g) correspondant à la période fondamentale du bâtiment considéré. Une répartition triangulaire est suggérée pour répartir cet indice sur la hauteur du bâtiment.

Trois possibilités sont envisagées :

- Si $I_s > I_{so}$, le bâtiment est considéré comme sûr.
- Si $I_s \ll I_{so}$, le bâtiment est à haut risque. Le renforcement ou la démolition doit être envisagée.
- Si $I_s < I_{so}$, l'évaluation est incertaine et un diagnostic plus poussé doit être effectué à l'aide d'une approche de niveau supérieur.

1.2.13 Méthode Italienne GNDT

Cette méthode a été développée dès 1984 par le GNDT italien (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, créé par le conseil national de la recherche italien en 1983). La méthode a fait l'objet d'adaptations pour tenir compte des enseignements apportés par les tremblements de terre ultérieurs. La méthode GNDT a été adoptée par toutes les régions italiennes sismiquement actives moyennant quelques modifications mineures.

La méthode GNDT se base sur l'identification et, dans certains cas, le calcul de paramètres caractéristiques du bâtiment étudié. Elle comporte deux niveaux.

Le **premier niveau** ne permet pas d'évaluer numériquement la vulnérabilité des bâtiments. Il se base sur une fiche de relevé unique pour tous les types de structure. Elle comporte huit sections : données relatives à la fiche remplie, localisation du bâtiment, données métriques, utilisation du bâtiment, âge de la construction et intervention, état du second oeuvre et des installations, typologie structurale, extension et niveau des dommages. Ces informations sont assez générales et assez facilement repérables sur la structure. Dans certains cas, les données du premier niveau peuvent permettre de compléter des données manquantes de la fiche de deuxième niveau.

Au **deuxième niveau**, la méthode GNDT distingue les bâtiments en maçonnerie des bâtiments en béton armé. Chacune des fiches de second niveau est présentée en annexe. Les

informations nécessaires sont regroupées en onze paramètres, neufs communs aux deux typologies (typologie et organisation du système résistant, qualité du système résistant, résistance conventionnelle, position du bâtiment et fondations, planchers, configuration en plan, configuration en élévation, éléments non structuraux et état du bâtiment) et deux distincts (rapport épaisseur/longueur et toiture pour les bâtiments en maçonnerie, nœuds-éléments critiques et éléments fragiles (peu ductiles) pour les bâtiments en béton armé).

- **Deuxième niveau pour les bâtiments en maçonnerie**

L'enquêteur attribue une évaluation de A à D pour chacun des onze paramètres, la note A étant plus favorable au bon comportement de la structure face aux sollicitations sismiques. La méthode permet dans un premier temps de pondérer la note attribuée à chacun des onze critères afin de calculer l'indice de vulnérabilité du bâtiment I_V :

$$I_V = \sum_{i=1}^{11} w_i IV_i$$

Le tableau des pondérations qui permettent de tenir compte de l'importance de chaque paramètre dans le comportement global de la structure est fourni en annexe du présent document. L'indice de vulnérabilité est ensuite normalisé pour obtenir une valeur entre 0 et 100. Dans un second temps, la courbe d'endommagement du bâtiment est calculée. Elle donne le dommage moyen que subirait la structure en fonction de l'accélération maximale au sol (paramètre choisi pour décrire l'agression sismique). Le dommage est nul jusqu'à la valeur d'accélération d'initiation du dommage y_i puis varie linéairement jusqu'à l'accélération de ruine y_c . Pour des accélérations supérieures à y_c , l'endommagement moyen est égal à 1. Dans le cas des bâtiments en maçonnerie, y_i et y_c s'expriment sous la forme suivante :

$$\begin{aligned} y_i &= \alpha_i \exp(-\beta_i V_{bât}) \\ y_c &= (\alpha_c + \beta_c V_{bât}^\gamma) \end{aligned}$$

Avec $\alpha_y = 0.18$, $\beta_y = 0.015$, $\alpha_c = 1.0$, $\beta_c = 0.001$ et $\gamma = 1.80$.

Giovanazzi et Lagomarsino (2003) ont proposé par la suite une expression de l'endommagement moyen non pas fonction de l'accélération maximale au sol mais de l'intensité I du séisme (échelle EMS 98). Le dommage moyen s'exprime alors :

$$d = 0.5 + 0.45 \arctan (0.55 (I - 10.2 + 0.05IV))$$

A partir du dommage moyen, le pourcentage de bâtiment se trouvant dans un niveau de dommage k peut être déterminé par application d'une loi binomiale

- **Deuxième niveau pour les bâtiments en béton armé**

Contrairement à la fiche de niveau 2 pour les maçonneries, celle concernant les bâtiments de béton armé a subi des changements non négligeables depuis sa première version. La version présentée en annexe est la fiche utilisée actuellement dans la région Marche.

Comme pour les bâtiments en maçonnerie, un indice de vulnérabilité IV est évalué, normalisé, puis la courbe d'endommagement du bâtiment est tracée. Celle-ci s'exprime à partir des relations suivantes :

$$A_y = \alpha_y \exp[-\beta_y (V_{bât} + 25)]$$
$$A_c = [\alpha_c + \beta_c (V_{bât} + 25)^\gamma]^{-1}$$

Avec $\alpha_y = 0.155$, $\beta_y = 0.0207$, $\alpha_c = 0.625$, $\beta_c = 0.00029$ et $\gamma = 2.145$.

Il est ensuite possible de calculer le dommage moyen et le pourcentage de bâtiments se trouvant dans un dommage de niveau k.

1.3 Comparaison des différentes méthodes

Une validation des résultats obtenus par les différentes méthodes et pour les différents niveaux doit amener à une proposition de choix techniques disponibles lors d'une évaluation de la vulnérabilité.

D'après le guide ⁴ d'AFPS⁵ qui compare les méthodes qualitatives d'évaluation de la vulnérabilité des constructions au séisme, la méthode RISK-UE étant la plus aboutie qui présente un niveau de validation scientifique supérieur et serait donc à retenir prioritairement dans ce cas étudié.

1.4 Conclusions :

A ce jour, il n'existe pas de méthode de référence nationale ou de norme concernant les approches qualitatives de la vulnérabilité au séisme des constructions.

Pour autant, plusieurs méthodes ont été développées au niveau de l'union européen. Si la majorité de ces approches appartiennent au domaine de la recherche et peuvent être qualifiées d'expérimentales, l'usage de certaines d'entre elles pour la conduite d'étude opérationnelle est en expansion. Cette situation résulte d'un besoin local fort d'outils permettant de hiérarchiser

⁴ Ce guide est sous une référence bibliographique « comparaison de méthodes qualitatives d'évaluation de la vulnérabilité des constructions au séisme »

⁵ AFPS c'est une abréviation « association française de génie parasismique »

des ensembles de constructions en vue de la définition d'orientations opérationnelles et de priorités d'actions. Pour ces utilisateurs d'approches sommaires de vulnérabilité, il ne s'agit pas de qualifier précisément la vulnérabilité physique des bâtiments mais de hiérarchiser les priorités sur la base de l'estimation d'un niveau présumé de vulnérabilité.

L'analyse de treize méthodes disponibles au niveau national et international montre qu'il n'existe pas de méthode idéale. Ces approches ont toutes un principe général commun, à savoir l'identification de la typologie constructive et de facteurs de vulnérabilité permettant d'estimer un niveau global de vulnérabilité présumée. Cependant, leurs fondements scientifiques, leur niveau de validation opérationnelle, leur complexité, leur coût etc. sont variables de l'une à l'autre.

Le choix d'une méthode plutôt qu'une autre est donc dépendant **des objectifs de la démarche** que l'on souhaite engager et des moyens à disposition.

D'une façon générale et quelle que soit la méthode sélectionnée, il est fondamental de garder à l'esprit que **les résultats de ces approches sommaires sont à utiliser avec précaution**. En ce sens, si les relevés ne nécessitent souvent pas un niveau d'expertise poussé, l'interprétation des résultats doit être confiée à des personnes expérimentées.

Si les résultats de ces approches peuvent permettre de planifier des actions, la définition concrète et précise de mesures de réduction de la vulnérabilité nécessitera par la suite la conduite de diagnostic précis de vulnérabilité.

Enfin, si elles peuvent permettre d'initier l'examen de bâtiments spécifiques, elles sont surtout destinées à des approches statistiques à grande échelle. Le diagnostic sismique d'un bâtiment individuel appelé à jouer un rôle essentiel lors de la gestion de crise ne peut être seulement fondé sur les méthodes sommaires exposées.

Compte-tenu des éléments ci-dessus et notamment du besoin mais aussi des difficultés techniques inhérentes aux méthodes disponibles à ce jour, il serait indispensable à moyen terme de mettre à disposition des acteurs locaux des outils de référence nationale pour la conduite d'approche sommaire de vulnérabilité au séisme des constructions. Cette action permettrait d'harmoniser les démarches locales, de définir un cadre d'exigence technique et de développer des bases de données comparables

2 Classification des dégâts aux bâtiments (degrés de dommages) selon l'échelle EMS 98

Initialement développée pour qualifier l'intensité d'un séisme, l'échelle macrosismique européenne (EMS) sert aussi à l'évaluation et à la prédiction des dommages en cas de séisme éventuel. L'échelle EMS-98 associe 15 types de structures, dont sept en maçonnerie, aux classes de vulnérabilité A à E, A étant la plus vulnérable. Le type de structure est défini par la qualité du matériau et du système de contreventement qui ont un effet sur la réponse du bâtiment (*Voir Figure 2.1*).

| Type de structure | | Classe de vulnérabilité A B C D E F | | | | | |
|-------------------|---|--|--|----|--|--|--|
| MAÇONNERIE | Moellon brut, pierre tout venant | ○ | | | | | |
| | Brique crue (adobe) | ○— | | | | | |
| | Pierre brute | ○ | | | | | |
| | Pierre massive | ○— | | | | | |
| | Non renforcée, avec des éléments préfabriques | ○ | | | | | |
| | Non renforcée, avec des planchers en béton armé | ○— | | | | | |
| | Renforcée ou chaînée | ○— | | | | | |
| BÉTON ARMÉ | Ossature sans conception parasismique (CPS) | | | ○ | | | |
| | Ossature avec un niveau moyen de CPS | | | ○— | | | |
| | Ossature avec un bon niveau de CPS | | | ○— | | | |
| | Murs sans CPS | | | ○— | | | |
| | Murs avec un niveau moyen de CPS | | | ○— | | | |
| | Murs avec un bon niveau de CPS | | | ○— | | | |
| ACIER | Structures en charpente métallique | | | ○— | | | |
| BOIS | Structures en bois de charpente | | | ○— | | | |

○ Classe de vulnérabilité la plus probable; — Intervalle probable;
 Intervalle de probabilité plus faible, cas exceptionnels

Figure 2.1 Typologies EMS-98 associées à une classe de vulnérabilité.

Les statistiques autour des dommages enregistrés sur les structures montrent, en effet, que le niveau de dommage est contrôlé par les caractéristiques du système résistant (type d'éléments verticaux et horizontaux). Par ailleurs, l'introduction de cinq niveaux de dommage facilite la définition de l'intensité sismique et de la probabilité qu'a une structure de subir ce niveau de dommage (Combes cure, Gueguen et Lebrun, 2005). Les résultats sont présentés sous forme de matrice de dommages probables (DPM) ou de courbes de vulnérabilité où le dommage est associé à la probabilité de dépassement.

| Echelle EMS 98, Classification des dégâts aux bâtiments en maçonnerie | |
|---|---|
| Degré 0 (D0) : dégâts nuls | |
|  | Degré 1 (D1) : Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structural, légers dégâts non structuraux) Fissures capillaires dans très peu de murs. Chute de petits débris de plâtre uniquement. Dans de rares cas, chute de pierres descellées provenant des parties supérieures des bâtiments. |
|  | Degré 2 (D2) : Dégâts modérés (dégâts structuraux légers, dégâts non structuraux modérés) Fissures dans de nombreux murs. Chutes de grands morceaux de plâtre. Effondrement partiel des cheminées |
|  | Degré 3 (D3) : Dégâts sensibles à importants (dégâts structuraux modérés, dégâts non structuraux importants) Fissures importantes dans la plupart des murs. Les tuiles des toits se détachent. Fractures des cheminées à la jonction avec le toit; défaillance d'éléments non structuraux séparés (cloisons, murs pignons). |
|  | Degré 4 (D4) : Dégâts très importants (dégâts structuraux importants, dégâts non structuraux très importants) Défaillance sérieuse des murs; défaillance structurale partielle des toits et des planchers. |
|  | Degré 5 (D5) : Destruction (dégâts structuraux très importants) Effondrement total ou presque total. |

Figure.2.2-Classification des dommages du bâti en maçonnerie selon EMS-98⁶

⁶ EMS « européenne macrosismique scale »

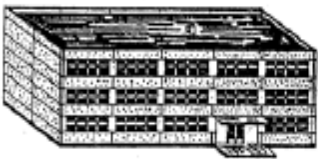
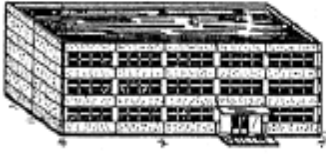
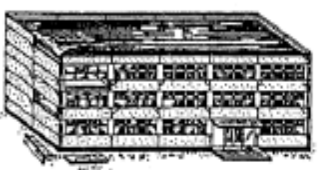
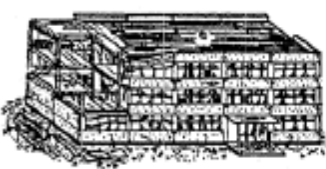

| Classification des dégâts aux bâtiments en BETON ARME | |
|---|--|
| (Degré 0 (D0) : dégâts nuls) | |
|  | <p>Degré 1 (D1) : Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structurel, légers dégâts non structuraux)</p> <p>Fissures fines dans le plâtre sur les parties de l'ossature ou sur les murs à la base. Fissures fines dans les cloisons et les remplissages.</p> |
|  | <p>Degré 2 (D2) : Dégâts modérés (dégâts structuraux légers, dégâts non structuraux modérés)</p> <p>Fissures dans les structures de types portiques (poteaux et poutres) et dans les structures avec murs. Fissures dans les cloisons et les murs de remplissage ; chute des revêtements friables et du plâtre. Chute du mortier aux jonctions entre les panneaux des murs.</p> |
|  | <p>Degré 3 (D3) : Dégâts sensibles à importants (dommages structuraux modérés, dommages non structuraux importants)</p> <p>Fissures dans les poteaux et dans les nœuds à la base de l'ossature et aux extrémités des linteaux des murs avec des ouvertures. Ecaillage du revêtement de béton, flambement des barres d'armature longitudinale.</p> <p>Fissures importantes dans les cloisons et les murs de remplissage, défaillance de certains panneaux de remplissage.</p> |
|  | <p>Degré 4 (D4) : Dégâts très importants (Dégâts structuraux importants, dégâts non structuraux très importants)</p> <p>Fissures importantes dans les éléments structuraux avec défaillance en compression du béton et rupture des barres à haute adhérence ; perte de l'adhérence acier-béton ; basculement des poteaux. Ecoulement de quelques poteaux ou d'un étage supérieur.</p> |
|  | <p>Degré 5 (D5) : Destruction (Dégâts structuraux très importants)</p> <p>Effondrement total du rez-de-chaussée ou de parties de bâtiments.</p> |

Figure.2.3- Classification des dommages du bâti en béton armé selon EMS-98

3 Etude de critère de vulnérabilité

3.1 Approche du projet européen RISK-UE(2003) Im1

3.1.1 Description

Cette méthodologie a été développée par les institutions partenaires du projet RISK-UE (AUTH, BRGM, CIMNE, CLSMEE, IZIIS, UTCB, UNIGE) dans le cadre du Work Package 4 relatif à l'évaluation de la vulnérabilité du bâti courant. Ce projet avait pour but d'analyser le risque sismique à l'échelle d'une ville, et d'aboutir à la création d'une méthodologie permettant l'évaluation des risques.

Deux méthodes ont été établies pour évaluer la vulnérabilité des bâtiments :

- une méthode macrosismique, le niveau 1, reposant sur l'affectation aux bâtiments d'un indice de vulnérabilité, définissant des courbes de vulnérabilité et de fragilité,
- une méthode mécanique, le niveau 2, basée sur des analyses analytiques de la structure basée sur des modélisations dynamiques ou des modélisations simplifiées.

On ne s'intéressera pas au niveau 2 puisqu'il s'agit d'une méthode quantitative.

La méthode macrosismique (niveau 1) repose sur l'évaluation d'un indice de vulnérabilité pour un bâtiment donné, indice qui est fonction de la typologie constructive du bâtiment ainsi que de différents facteurs susceptibles de modifier son comportement. A partir de cet indice, il est possible de définir, en fonction de l'intensité macrosismique de l'EMS-98, des courbes de vulnérabilité, qui permettent d'évaluer la répartition des probabilités de dommages sur le bâtiment.

L'indice de vulnérabilité du bâtiment (V_I) est compris entre 0 et 1. Les valeurs proches de 1 correspondent aux bâtiments les plus vulnérables. Il s'obtient en faisant la somme de 4 termes :

- V_I fonction de la typologie du bâtiment,
- ΔV_m représentant l'influence des différents facteurs pouvant modifier le comportement,
- ΔV_r prenant en compte le jugement de l'expert concernant les particularités régionales de la vulnérabilité pressentie lors de l'observation,
- ΔV_f prenant en compte l'incertitude du relevé de la typologie et des facteurs de vulnérabilité

Le terme V_I est donné par une matrice dans laquelle un indice de vulnérabilité est affecté à chaque type de bâtiment. 23 typologies de bâtiments sont caractérisées dans cette matrice.

Le terme ΔV_m est évalué en sommant les coefficients associés à chaque facteur de vulnérabilité observé sur le bâtiment. Les facteurs de vulnérabilité sont recensés suivant une fiche de relevé. Deux fiches de relevé existent, l'une pour les bâtiments en béton armé, acier et bois et l'autre pour les bâtiments en maçonnerie (voir tableau 2.1). Ce recensement nécessite un simple examen visuel extérieur.

Le terme ΔV_R est laissé à l'appréciation de l'enquêteur.

Le terme ΔV_f peut prendre deux valeurs suivant que les facteurs de vulnérabilité ont été relevés ou non.

Cet indice de vulnérabilité peut être établi pour un bâtiment ou pour un ensemble de bâtiment. A cet indice de vulnérabilité est associée une incertitude. En effet la matrice de typologie de bâtiment propose pour chaque typologie spécifique le terme V_I^* (indice de vulnérabilité le plus probable) et les termes $[V_I^- ; V_I^+]$ (limites de l'intervalle plausible de V_I) et $[V_{I \min} ; V_{I \max}]$ (limites inférieure et supérieure des valeurs possibles de V_I). En sommant ces valeurs limites de V_I^* aux autres termes ($\Delta V_m ; \Delta V_R ; \Delta V_f$), il est possible d'obtenir une marge d'erreur de l'indice global de vulnérabilité.

A partir de cet indice a lieu l'évaluation de la répartition des probabilités de dommages sur le bâtiment en établissant des courbes de vulnérabilité puis des courbes de fragilité. Les courbes de vulnérabilité exprimant le taux de dommage moyen, sont établies en fonction de l'intensité macrosismique I de l'EMS 98 et de l'indice V_I .

L'utilisation par la suite d'une loi de distribution de dommages permet de passer du taux de dommage aux degrés de dommage EMS 98 nécessaire pour établir les courbes de fragilité. Les courbes de fragilité sont définies pour un degré de dommage EMS-98 D_k donné. Elles fournissent, en fonction de l'intensité macrosismique, la probabilité d'atteindre ou de dépasser ce degré D_k .

Cette méthode a été appliquée sur la ville de Nice par le BRGM

➤ **Champ d'application**

Cette méthode **s'applique aussi bien à un bâtiment pris isolément qu'à un groupe de bâtiment**. Pour un groupe de bâtiment, le terme

$VI^* = \sum t_i q_i VI_i^*$ où q_i est le pourcentage de bâtiment appartenant à une catégorie spécifique. On obtient de la même manière les termes $\Delta V_m, \Delta V_r$.

Elle est **utilisable pour tous les types de bâtiment** : maçonnerie, béton armé, structure métallique, structure bois.

➤ **Données et compétences nécessaires**

• **Données nécessaires**

Les fiches de relevé des facteurs de vulnérabilité étant très sommaires, un simple **examen visuel extérieur suffit**.

• **Compétences à mobiliser**

Pour établir la fiche de relevé, peu de connaissances en bâtiment sont nécessaires. Une des difficultés est de déterminer la typologie du bâtiment et de connaître la signification de certains termes spécifiques.

(« Poteaux courts » ; « transparence »). Certains critères restent cependant d'accès problématique comme par exemple l'efficacité de la connexion entre éléments horizontaux et verticaux pour des bâtiments en maçonnerie.

Cette partie de la méthode pourrait donc être mise en œuvre par un technicien généraliste après une formation.

Un autre problème consiste à établir le terme ΔV_r dont la valeur sert à ajuster l'indice de vulnérabilité obtenu, en fonction de l'appréciation de l'enquêteur. Celui-ci doit donc avoir des compétences dans le domaine de la conception parasismique. Cette partie de la méthode devra finalement être mise en œuvre par un **technicien spécialisé en génie parasismique**.

L'évaluation de la répartition des probabilités de dommage sur le bâtiment est une partie rapide et facile puisque l'ensemble des courbes de vulnérabilité et de fragilité possibles peut être programmé sur un outil de type tableur. Cette étape de la méthode **est donc réalisable par un technicien généraliste**

3.1.2 Évaluation qualitative de la présomption de vulnérabilité

La méthode RISK-UE de niveau 1 peut se décomposer en trois étapes

✓ Étape 1 : Estimation de l'indice de vulnérabilité V_I

1- Déterminer l'indice VI^* fonction de la typologie du bâtiment

| | | Description | Valeurs de VI représentatives | | | | |
|-------------------------|---|--|---------------------------------|--------|--------|--------|-------------|
| | | | VI^{\min} | VI^- | VI^* | VI^+ | VI^{\max} |
| Structure en maçonnerie | M1 | Murs porteurs en maçonnerie de pierres | | | | | |
| | M1.1 | Moellons | 0.62 | 0.81 | 0.873 | 0.98 | 1.02 |
| | M1.2 | Pierres appareillées | 0.46 | 0.65 | 0.74 | 0.83 | 1.02 |
| | M1.3 | Pierres de taille | 0.30 | 0.49 | 0.616 | 0.793 | 0.86 |
| | M2 | Adobe | 0.62 | 0.687 | 0.84 | 0.98 | 1.02 |
| | M3 | Murs porteurs en maçonnerie non armé | | | | | |
| | M3 | Planchers bois | 0.46 | 0.65 | 0.74 | 0.83 | 1.02 |
| | M3.1 | | | | | | |
| | M3.2 | Voûtes en maçonnerie | 0.46 | 0.65 | 0.776 | 0.953 | 1.02 |
| | M3.3 | Planchers avec poutrelles métalliques et maçonnerie | 0.46 | 0.527 | 0.704 | 0.83 | 1.02 |
| | M3.4 | Planchers en béton armé | 0.30 | 0.49 | 0.616 | 0.793 | 0.86 |
| | M4 | Murs porteurs en maçonnerie armée ou confinée | 0.14 | 0.33 | 0.451 | 0.633 | 0.70 |
| M5 | Maçonnerie globalement renforcée | 0.30 | 0.49 | 0.694 | 0.953 | 1.02 | |
| Structure en béton armé | RC1 | Structures poteaux-poutres en béton armé | -0.02 | 0.047 | 0.442 | 0.80 | 1.02 |
| | RC2 | Murs porteurs en béton armé | -0.02 | 0.047 | 0.386 | 0.67 | 0.86 |
| | RC3.1 | Système poteaux/poutres avec mure de remplissage en maçonnerie non armé | | | | | |
| | RC3.1 | Murs de remplissage en maçonnerie, structure régulière | -0.02 | 0.007 | 0.402 | 0.76 | 0.98 |
| | RC3.2 | Structures poteaux-poutres irrégulières | 0.06 | 0.127 | 0.522 | 0.88 | 1.02 |
| | RC4 | Structures mixtes en béton armé (portiques et murs) | -0.02 | 0.047 | 0.386 | 0.67 | 0.86 |
| | RC5 | Murs préfabriqués en béton armé (tilt-up walls) | 0.14 | 0.207 | 0.384 | 0.51 | 0.70 |
| | RC6 | Structures préfabriquées en béton armé | 0.30 | 0.367 | 0.544 | 0.67 | 0.86 |
| Structure en acier | S1 | Ossatures métalliques en portique | -0.02 | 0.467 | 0.363 | 0.64 | 0.86 |
| | S2 | Ossatures métalliques avec triangulation | -0.02 | 0.467 | 0.287 | 0.48 | 0.70 |
| | S3 | Portiques + remplissage en maçonnerie non armée | 0.14 | 0.33 | 0.484 | 0.64 | 0.54 |

| | | | | | | | |
|-------------|----|--|-------|-------|-------|------|------|
| | S4 | Portiques + murs en béton armé coulés en place | -0.02 | 0.047 | 0.224 | 0.35 | 0.54 |
| | S5 | Structure mixte béton-acier | -0.02 | 0.257 | 0.402 | 0.72 | 1.02 |
| Bois | W | Structures en bois | 0.14 | 0.207 | 0.447 | 0.64 | 0.86 |

Tableau 2.1- Détermination de l'indice V_I^* fonction de la typologie du bâtiment

La matrice donne également les termes V_I^- et V_I^+ limites de l'intervalle plausible des valeurs de V_I ainsi que les valeurs de V_I^{\min} et V_I^{\max} limites inférieure et supérieure des valeurs possibles de V_I

2- Déterminer le facteur ΔV_m représentant l'influence de paramètres autres que la typologie sur la réponse de la structure aux sollicitations sismiques.

Le facteur ΔV_m est calculé comme la somme de facteurs de vulnérabilité V_m correspondant aux différents paramètres identifiés.

$$\Delta V_m = \sum V_m$$

La méthode Risk-UE de niveau 1 comme présentée dans le Work Package 4 donne des valeurs de V_m seulement pour les structures en maçonnerie (M) et celle en béton armé (RC). Les structures métalliques (S) et en bois (W) ne sont pas traitées.

➤ Valeurs des facteurs V_m pour les bâtiments en maçonnerie

| Facteurs de vulnérabilité | Paramètres | Valeurs de V_m |
|---|---|------------------|
| État d'entretien | Bon | -0.04 |
| | Mauvais | +0.04 |
| Nombre d'étages | Construction peu élevée (1 ou 2) | -0.02 |
| | Moyennement élevée (3, 4 ou 5) | +0.02 |
| | Élevée (6 étages ou plus) | +0.06 |
| Système structural | Épaisseur des murs | -0.04 à +0.04 |
| | Distance entre les murs | |
| | Connections entre les murs (tirants, cornières d'assemblage) | |
| | Connections entre éléments horizontaux et verticaux (diaphragmes) | |
| Étage souple | Transparence, démolition | +0.04 |
| Irrégularité en plan | | +0.04 |
| Irrégularité en élévation | | +0.02 |
| Éléments résistants superposés | | +0.04 |
| | | |
| Toiture | Poids de la toiture + poussée sur les murs | +0.04 |
| | Connections de la toiture | |
| Interventions de confortement | | -0.08 à +0.08 |
| Éléments asismiques | Barbacanes, contreforts, arcs | |
| Interaction entre bâtiments : position dans l'îlot | Au centre | -0.04 |
| | En coin | +0.04 |
| | En tête d'îlot | +0.06 |
| Interaction entre bâtiments : élévation | Planchers décalés | +0.02 |
| | Bâtiments de hauteurs différentes | -0.04 à +0.04 |
| Fondations | Fondations à des niveaux différents | +0.04 |
| Morphologie du sol | Pente | +0.02 |
| | Escarpeement | +0.02 |

Tableau 2.2- Détermination de l'indice V_m fonction de la typologie du bâtiment

➤ Valeurs des facteurs V_m pour les bâtiments en béton armé

| Facteurs de vulnérabilité | | Niveau de la réglementation | | |
|--------------------------------|-------------------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------------|
| | | Pas de code PS ou niveau bas de protection PS | Niveau de protection PS moyen | Haut niveau de protection PS |
| Niveau de code | | +0.16 | 0 | -0.016 |
| Mauvais entretien | | +0.04 | +0.02 | -0.04 |
| Nombre d'étages | Faible (1 ou 2) | -0.04 | -0.04 | -0.04 |
| | Moyen (3, 4, ou 5) | 0 | 0 | 0 |
| | Élevé (6 ou plus) | +0.08 | +0.06 | +0.04 |
| Irrégularité en plan | Forme | +0.04 | +0.02 | 0 |
| | Torsion | +0.02 | +0.01 | 0 |
| Irrégularité en élévation | | +0.04 | +0.02 | 0 |
| Poteaux courts | | +0.02 | +0.01 | 0 |
| Fenêtre arquée (bow window) | | +0.04 | +0.02 | 0 |
| Joint parasismique insuffisant | | +0.04 | 0 | 0 |
| Fondations | Semelles filantes | -0.04 | 0 | 0 |
| | Semelles filantes avec longrines | 0 | 0 | 0 |
| | Semelles isolées | +0.04 | 0 | 0 |
| Morphologie du sol | Pente | +0.02 | +0.02 | +0.02 |
| | Escarpement | +0.04 | +0.02 | +0.04 |

Tableau 2.3- Valeurs des facteurs V_m pour les bâtiments en béton armé

3- Évaluer le facteur ΔV_R de vulnérabilité régionale

Ce facteur permet de prendre en compte les propriétés de typologies spécifiques à un niveau régional. Son évaluation se fait sur la base d'un jugement d'expert ou sur l'interprétation de données de vulnérabilité existantes (retour post-sismique par exemple).

4- Calculer l'indice de vulnérabilité V_I .

L'indice de vulnérabilité V_I est la somme de l'indice typologique V_I^* , du facteur ΔV_m et du facteur ΔV_R de vulnérabilité régionale.

$$V_I = V_I^* + \Delta V_m + \Delta V_R$$

✓ Etape 2 : Estimation du dommage moyen μ_D

$$\mu_D = 2.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6.25V_I - 13.1}{2.3} \right) \right]$$

Cette équation a été établie selon les graphes suivants :

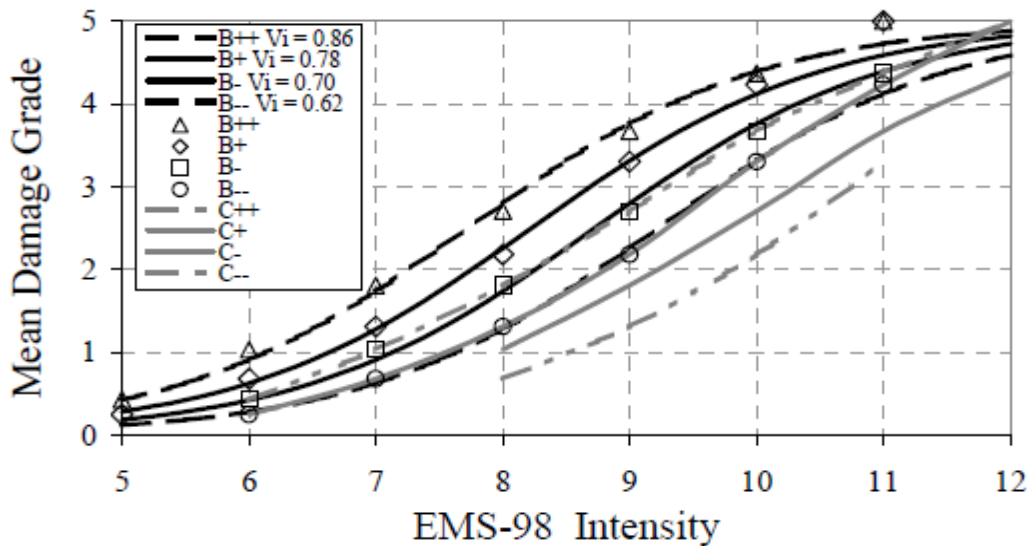


Figure.2.4 : répartition des dommages moyens en fonction des intensités

L'intensité macrosismique I et l'échelle des degrés de dommage à laquelle se rapporte μ_D sont celles développées dans l'EMS98.

✓ **Etape 3 : Estimation de la distribution de dommages**

(matrice de probabilité de dommages et courbe de fragilité)

La distribution des dommages est calculée en utilisant une distribution bêta.

Densité de probabilité

$$p_{\beta}(x) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(r) \Gamma(t-r)} \frac{(x-a)^{r-1} (b-x)^{t-r-1}}{(b-a)^{t-1}}$$

Fonction de distribution cumulée :

$$P_{\beta}(x) = \int_a^x p_{\beta}(\varepsilon) d\varepsilon$$

Avec les paramètres :

$$\begin{aligned} a &= 0 & t &= 8 \\ b &= 6 & r &= t(0.007 \mu_D^3 - 0.052 \mu_D^2 + 0.2875 \mu_D) \end{aligned}$$

Probabilités discrètes :

La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k s'écrit sous la forme :

$$p_k = P_{\beta}(k+1) - P_{\beta}(k)$$

Courbe de fragilité :

La courbe de fragilité définissant la probabilité d'atteindre ou de dépasser un niveau de dommage k est obtenue directement de la fonction de distribution cumulée.

$$P(D \geq D_k) = 1 - P_{\beta}(k)$$

Remarque

La méthode RISK-UE de niveau 1 a été utilisée par le BRGM sur la ville de Nice avec quelques modifications.

Chapitre 3

Étude des scénarios sismiques

1 Scénario du risque sismique sur les constructions de la ville de Mostaganem

La réalisation de scénario sismique consiste à croiser les données issues de l'aléa sismique (intensités) avec celles issues de l'analyse de la vulnérabilité. Les analyses du système urbain vont permettre d'interpréter les scénarios en termes de dommages fonctionnels.

Il nous est donc possible d'estimer le niveau de dommage des différents bâtiments, les coûts directs liés à ces dommages ainsi que les préjudices humains (décès et blessés). Des analyses du dysfonctionnement du système suite aux séismes de scénario sont également menées.

2 Zone de couverture d'étude des bâtiments

La présente recherche concerne l'expertise des 51 constructions existantes classées en différentes catégories (équipements, habitats, commerces), et qui sont situés dans le cœur du chef lieu de la wilaya de Mostaganem comme présentés dans les figures ci-dessous. Ce projet est coordonné avec les municipalités concernées ainsi que de la province de Mostaganem et aussi avec des administrations locales (DLEP, DUC, DPAT ...).

✓ Localisation du chef lieu de la wilaya de Mostaganem

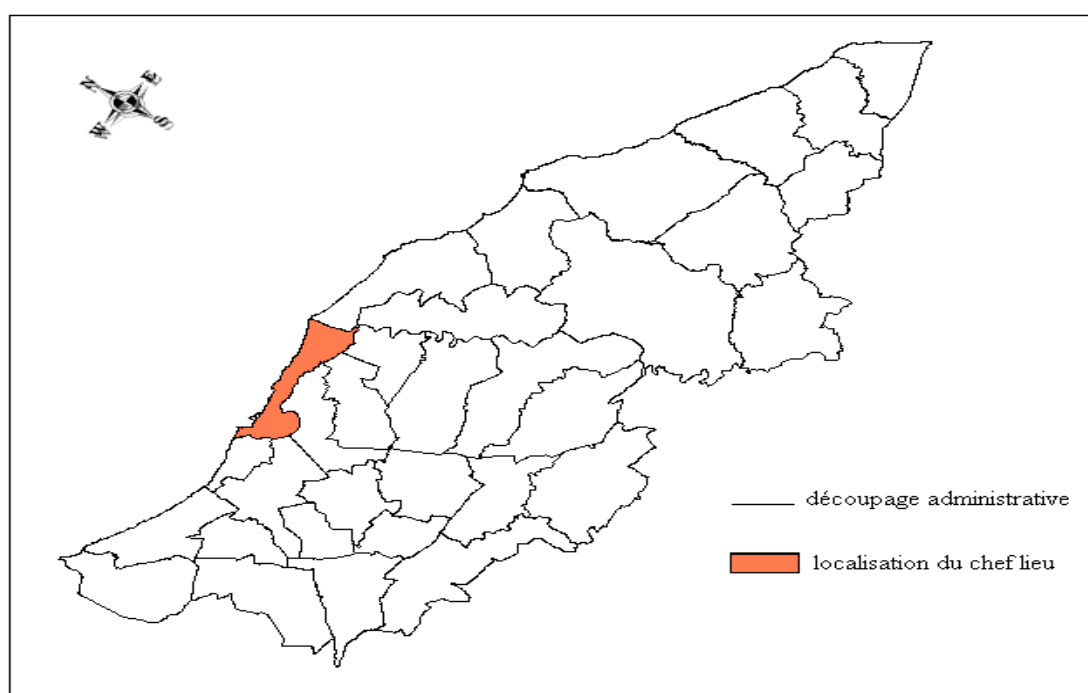


Figure.3.1 : Carte de la wilaya de Mostaganem (format Mapp info).

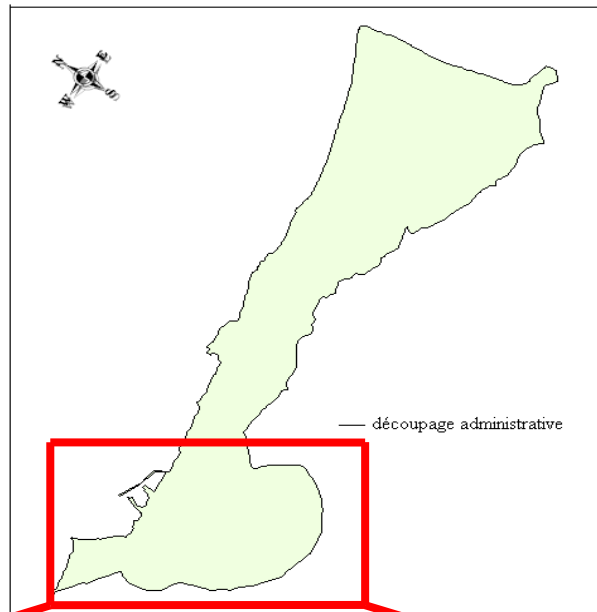


Figure.3.2 : Carte de la ville de Mostaganem.

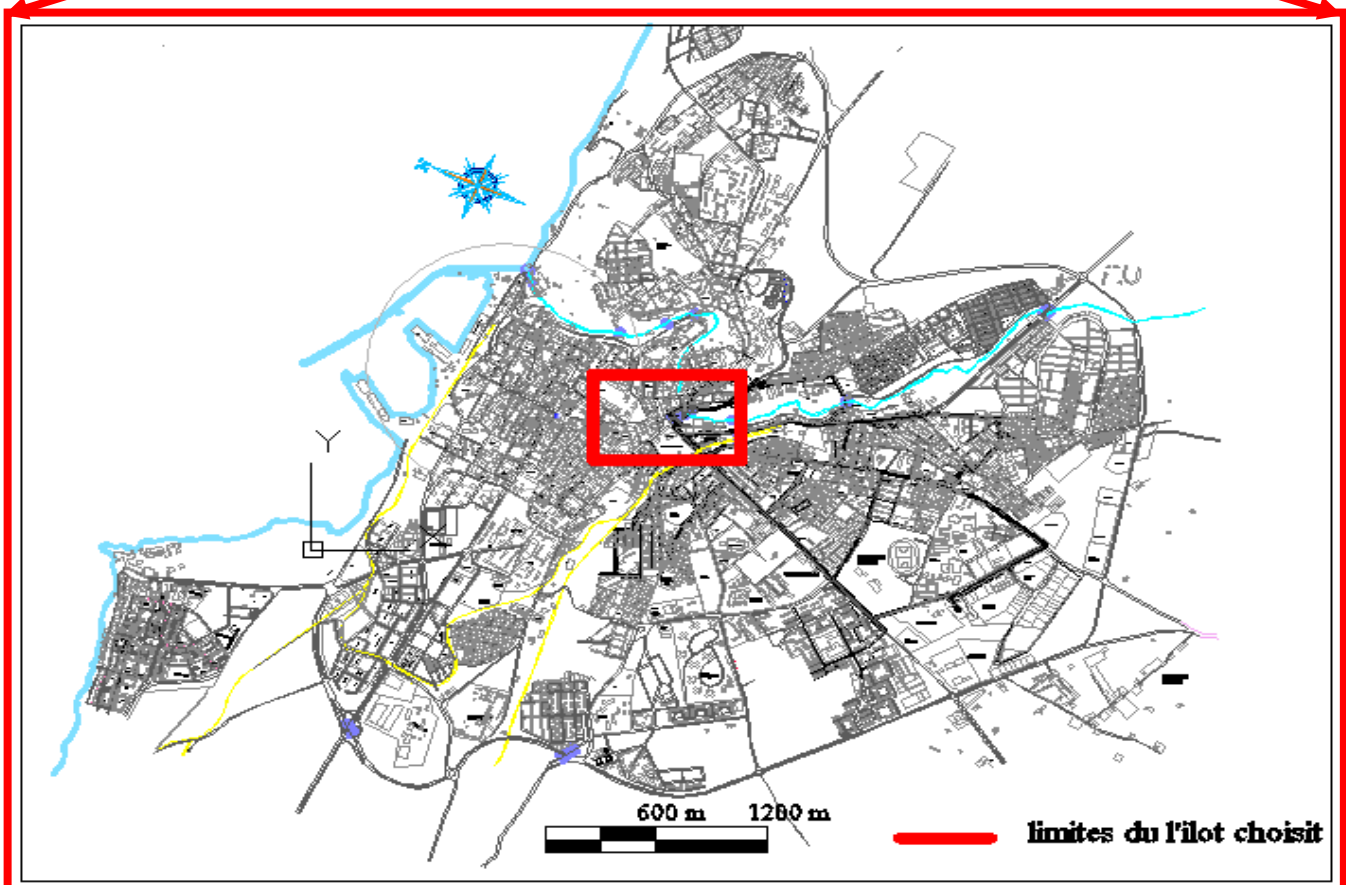


Figure.3.3 : Localisation de la zone d'étude dans la carte de Mostaganem

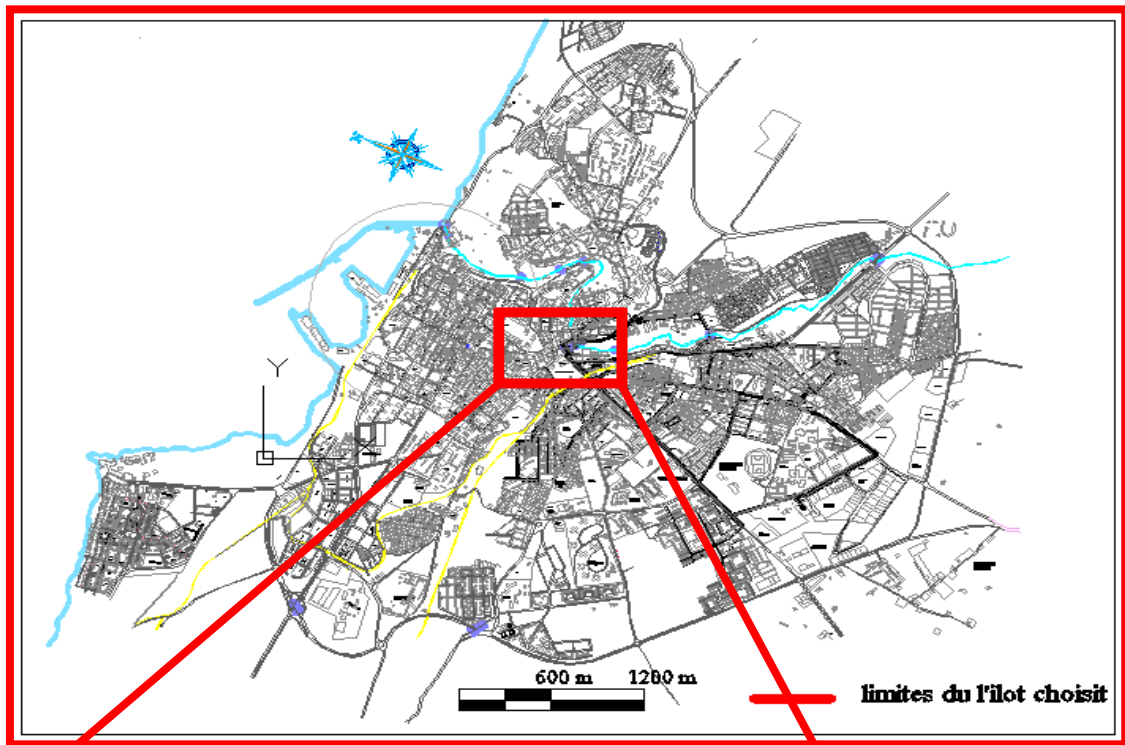


Figure.3.4 : Carte de la ville de Mostaganem (BDEAU du Mostaganem)

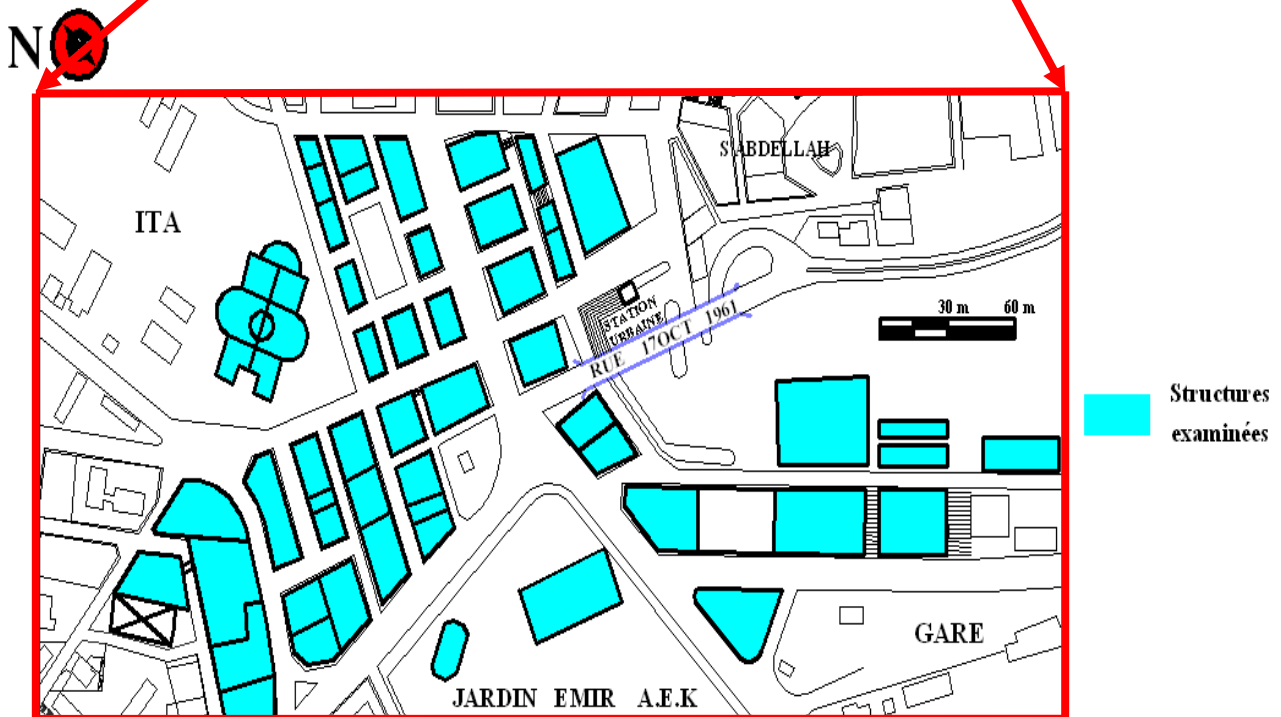


Figure.3.5 : la zone d'étude contenant 51 constructions des déférentes typologies.



Figure.3.6 : Localisation de la zone d'étude par l'utilisation du Google earth (Image satellitaire)

Tableau.3.1 - Catégories des constructions existants et leurs distributions dans la zone d'étude.

| Usage des constructions | Equipements | Habitats collectif | commerce | totale |
|------------------------------|-------------|--------------------|------------|-------------|
| Constructions d'îlot choisit | 11 | 26 | 14 | 51 |
| pourcentage | 22% | 51% | 28% | 100% |

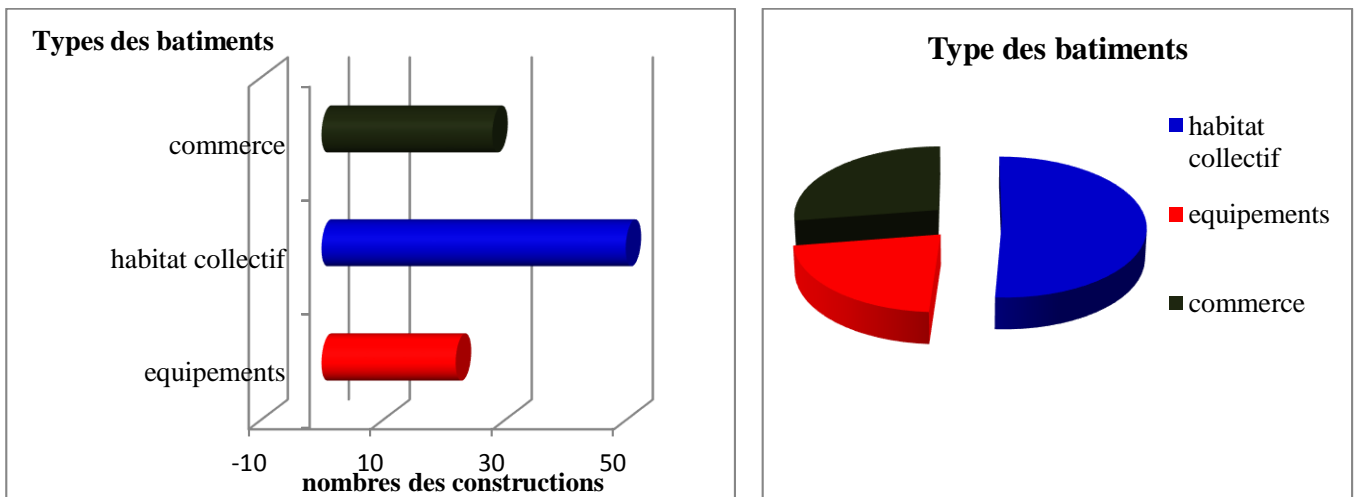


Figure .3.7 Catégories des constructions existantes et leurs distributions dans la zone d'étude.



Figure.3.8- Catégories des constructions existantes et leurs distributions dans la zone d'étude

3 Missions d'enquête sur le terrain d'étude

Missions d'enquête des bâtiments ont été menées par inspection visuelle pour identifier les sources générales de la vulnérabilité sismique des 51 bâtiments existants. Pour chaque bâtiment expertisé, une fiche d'enquête est établie dans laquelle sont consignés les informations sur la conception technique, les conditions topographiques, le type de construction, l'âge du bâtiment, le nombre d'étages, l'histoire de la construction, les dommages et réparations ainsi que travaux d'extension.

- **Informations des données collectées à partir des missions d'enquête sur la zone d'étude des bâtiments existants :**

photo.14 : construction a usage commerciale (SEMPAC⁷)
situé à l'intérieure de la zone d'étude cette photo prise à partir de la ville de Mostaganem



photo.15 : construction a usage administrative (Banque BNA⁸). Qui situé a l'intérieure de la zone d'étude cette photo prise a partir de la ville de Mostaganem

⁷ SEMPAC : usine de raffinage de blé

⁸ BNA : Banque Nationale Algérien

- Formulaire pour le diagnostique des bâtiments de ce projet.

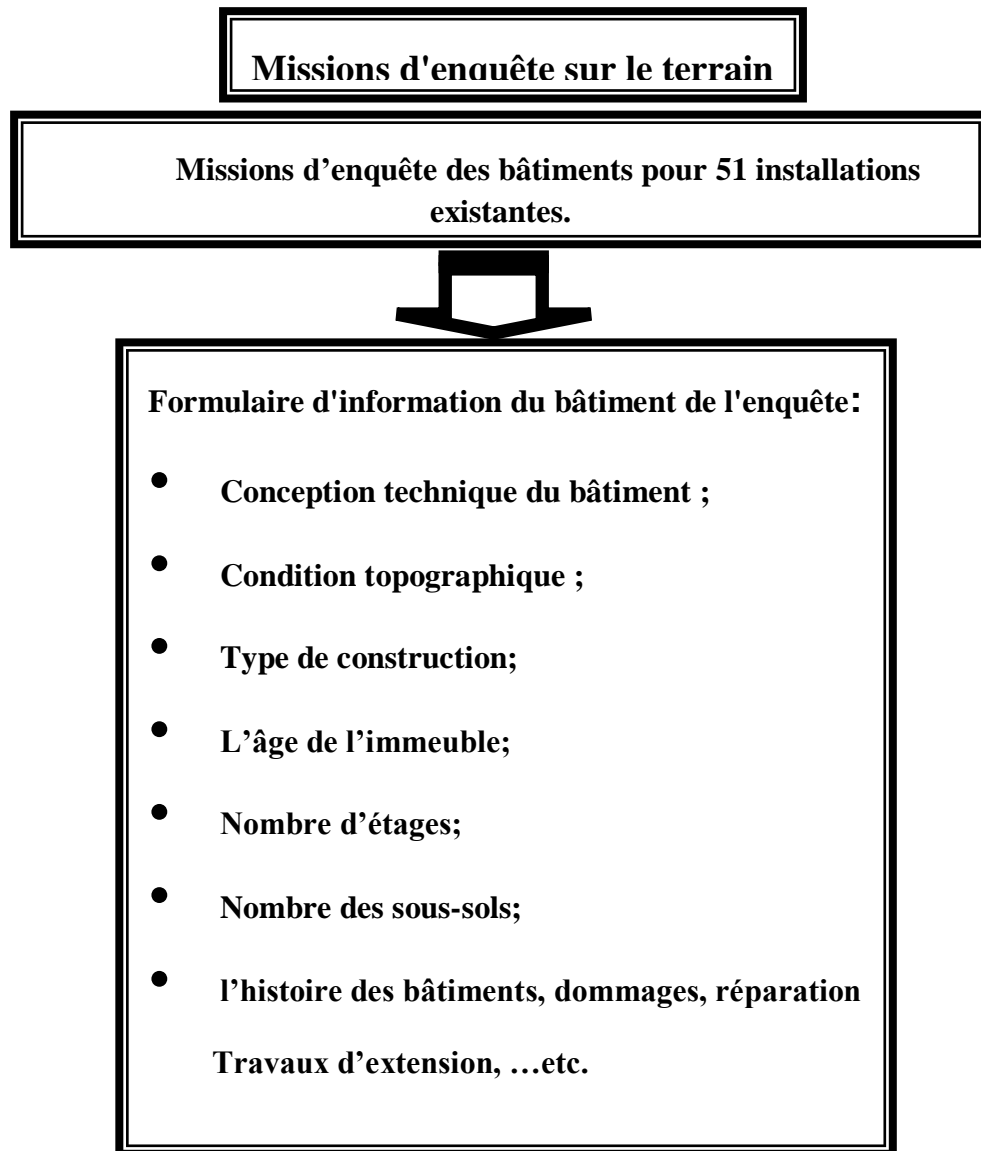


Figure3.9. Informations collectées des données à partir de missions d'enquête sur le terrain des bâtiments existants.

Tableau.3.2 - Date et type des constructions surveillées

| Date et type des constructions expertisées | Nombre des constructions | % |
|---|--------------------------|-------|
| Structure en maçonnerie (date<1980) | 40 | 78.43 |
| Structure en béton armé (date<1980) | 4 | 7.84 |
| Structure en béton armé (date>1980) | 4 | 7.84 |
| Structure en charpente métallique (date>1980) | 3 | 5.88 |
| TOTALE | 51 | 100 |

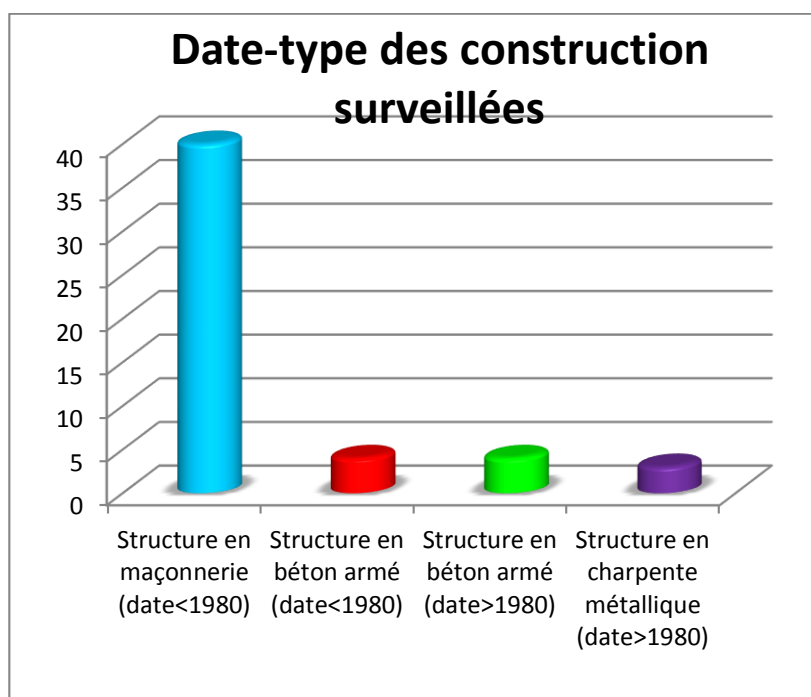


Figure.3.10. Date et type des constructions surveillées

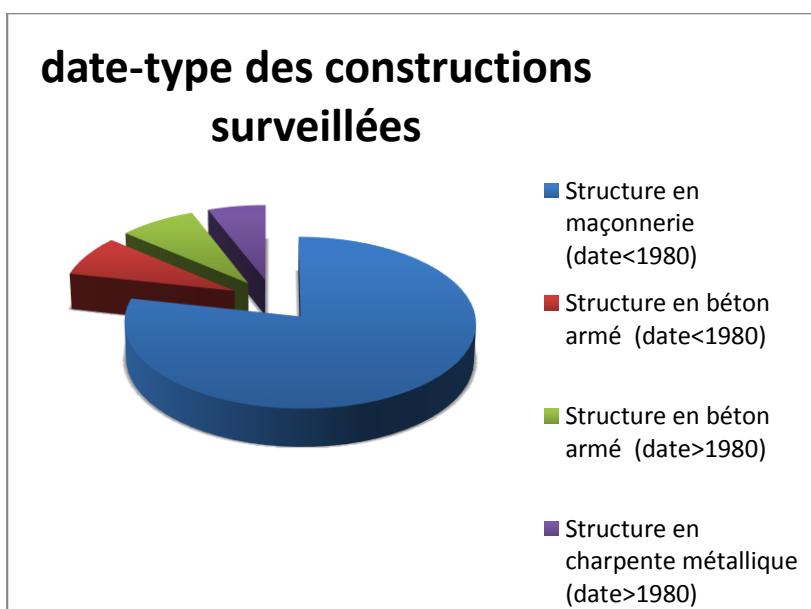


Figure.3.11. Date et type des constructions expertisées (diagnostiquées)

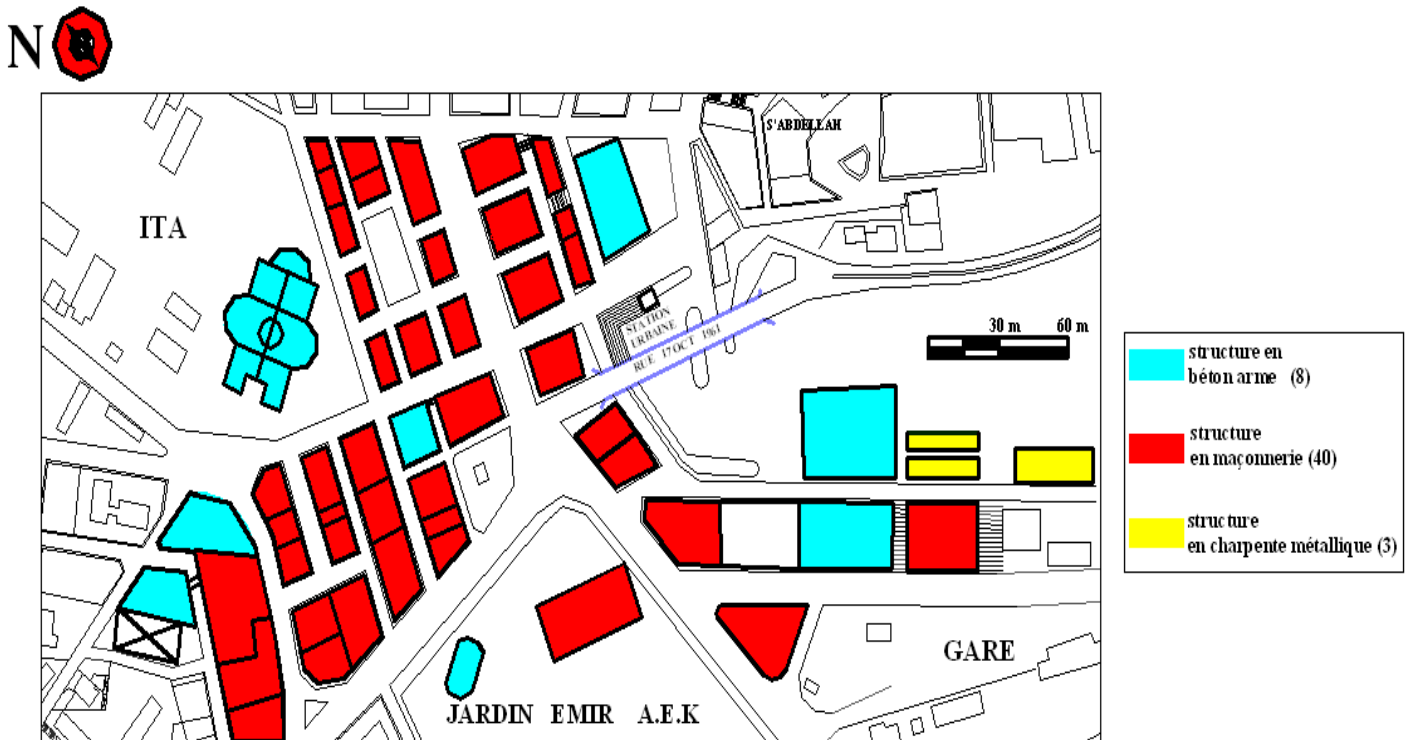


Figure 3.12 : typologies des constructions existantes et leurs distributions dans la zone d'étude.

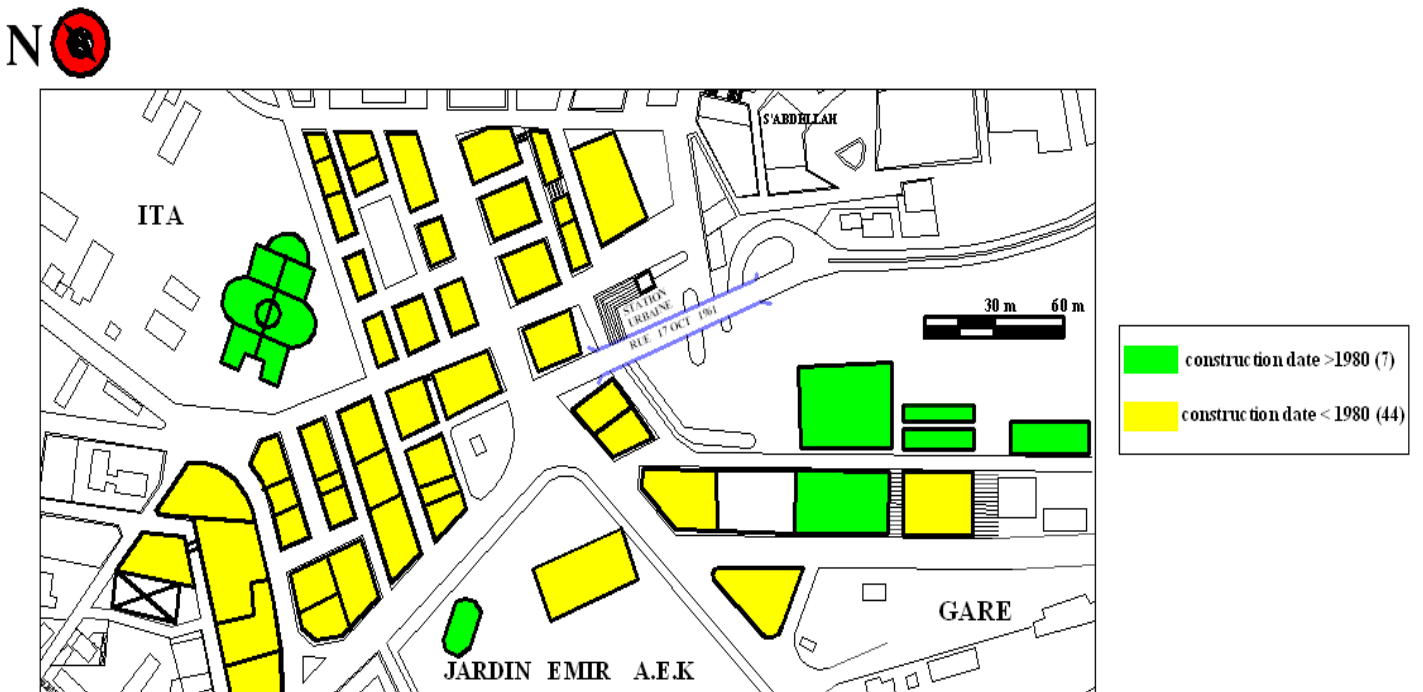


Figure.3.13 : date de constructions existantes et leurs distributions dans la zone d'étude.

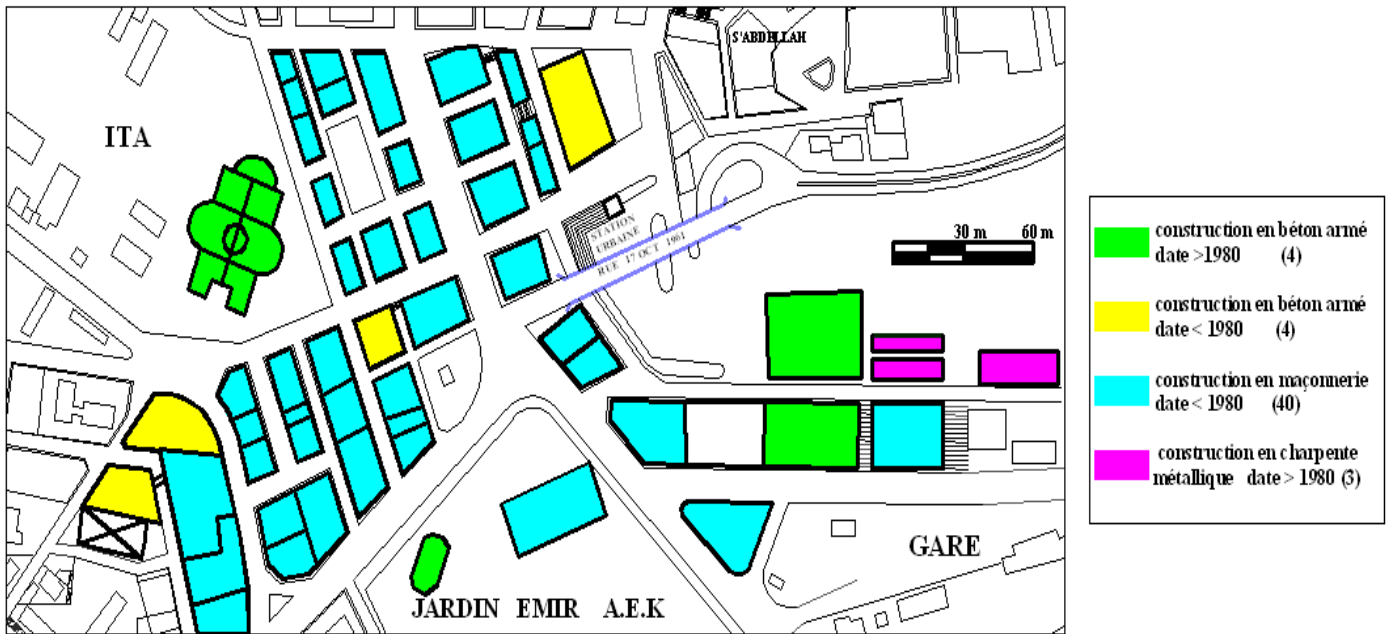


Figure.3.14 : date et type des constructions existantes et leurs distributions dans la zone d'étude

4 Estimation de l'indice de vulnérabilité pour les bâtiments interrogés

Les résultats des valeurs de l'indice de vulnérabilité obtenus pour les bâtiments sont présentés dans la carte ci-dessous (voir annexe 4 « tableaux (1A ÷ 3A) » :

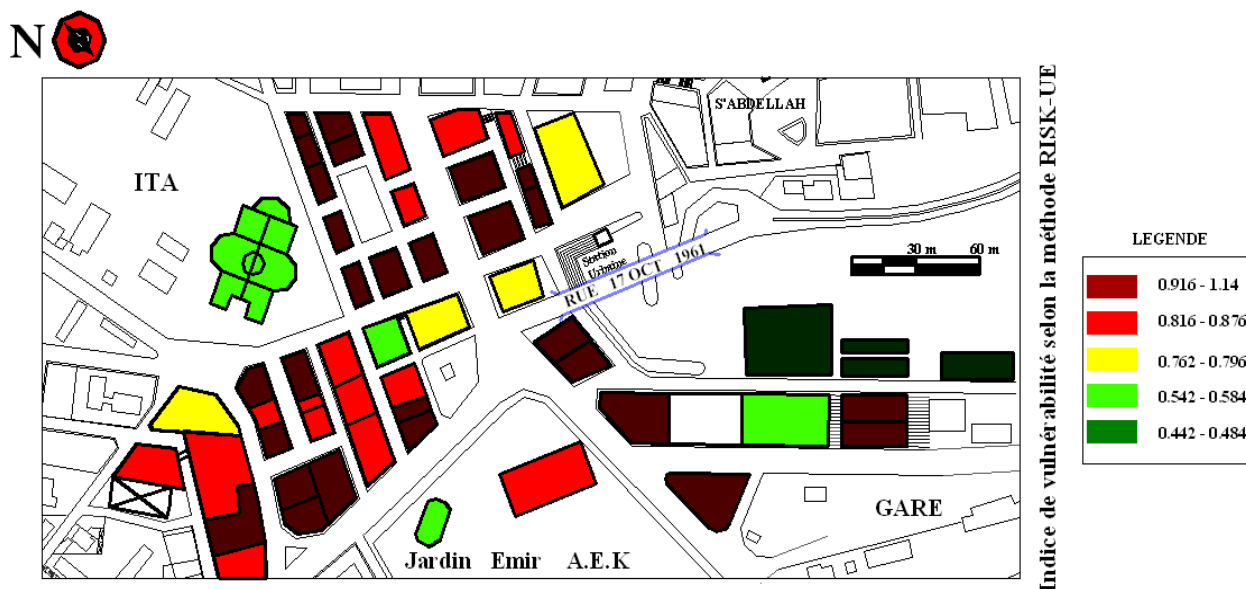


Figure.3.15 : distributions des indices de vulnérabilité des constructions existants dans la zone d'étude.

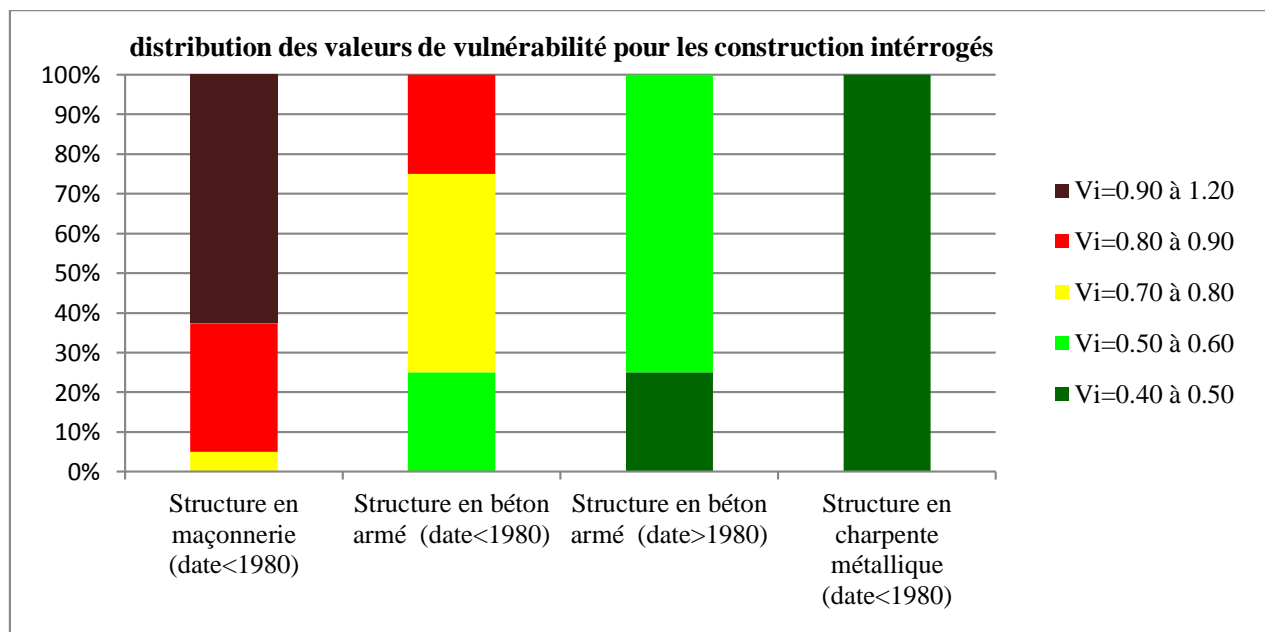


Figure.3.16 Distributions des indices de vulnérabilité des constructions existant

4 Estimation de degrés des dommages moyens et présentation des courbes de vulnérabilité

4.1 Estimation degrés des dommages moyens pour les constructions en maçonnerie (voir annexe 5, « Tableaux 4A »)

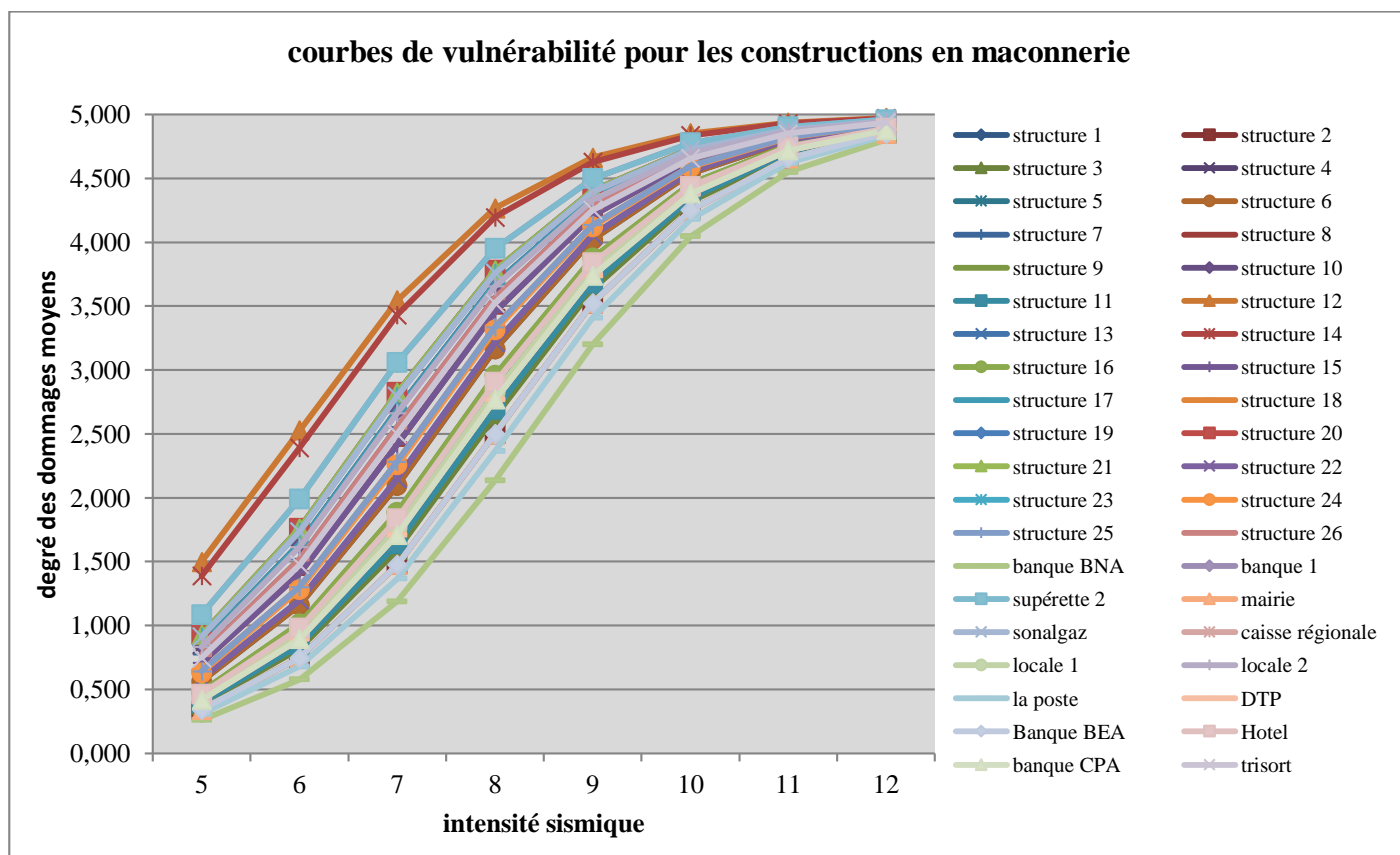


Figure.3.17 Estimation des dommages moyens pour les constructions en maçonnerie

4.2 Estimation de degrés des dommages moyens pour les constructions en béton armé (voir annexe 5, « Tableaux 5A ; 6A»)

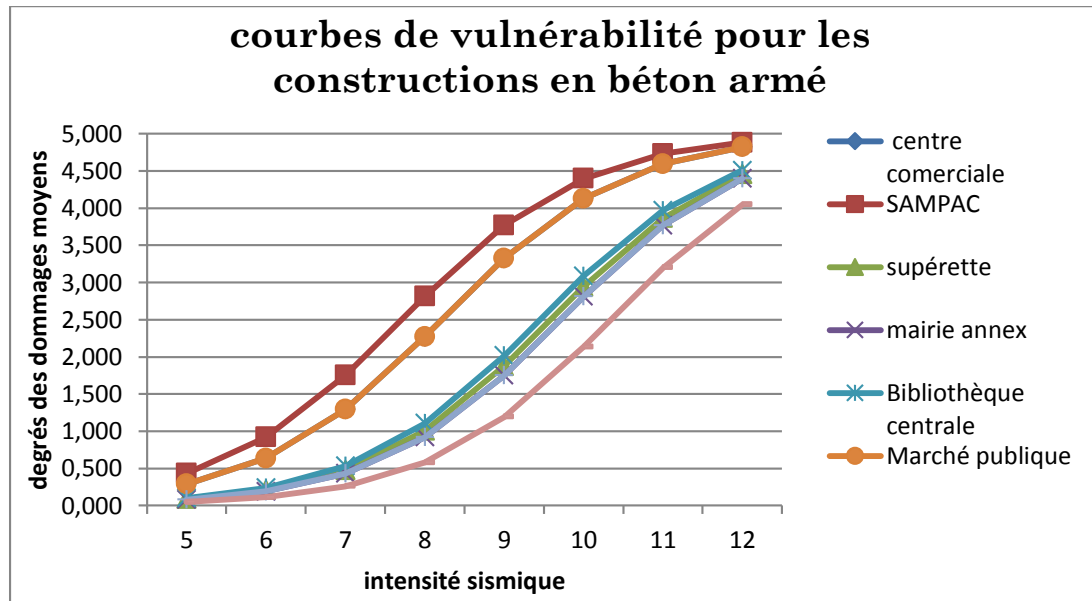


Figure.3.18 Estimation des dommages moyens pour les constructions en béton armé

4.3 Estimation de degrés des dommages moyens pour les constructions en charpente métallique (voir annexe 5, « Tableaux 7A»)

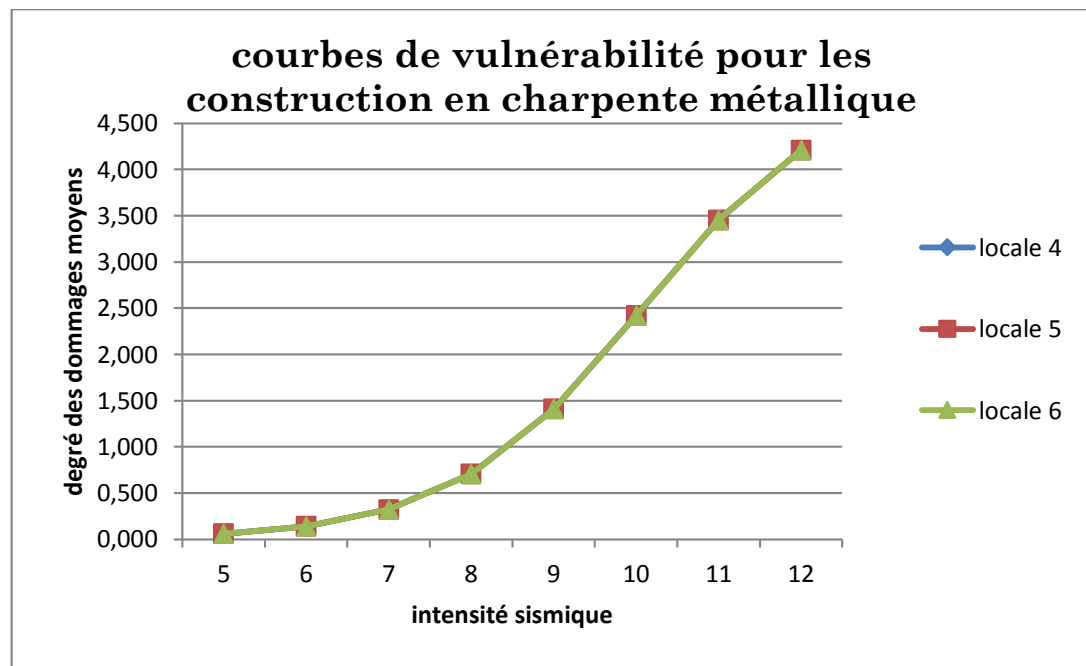


Figure.3.19 Estimation des dommages moyens pour les constructions en charpente métallique

5 Distribution des dommages et scénarios sismique de déférentes intensités

5.1 Scénario sismique pour Intensité I=5

5.1.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie (date<1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 16A»)

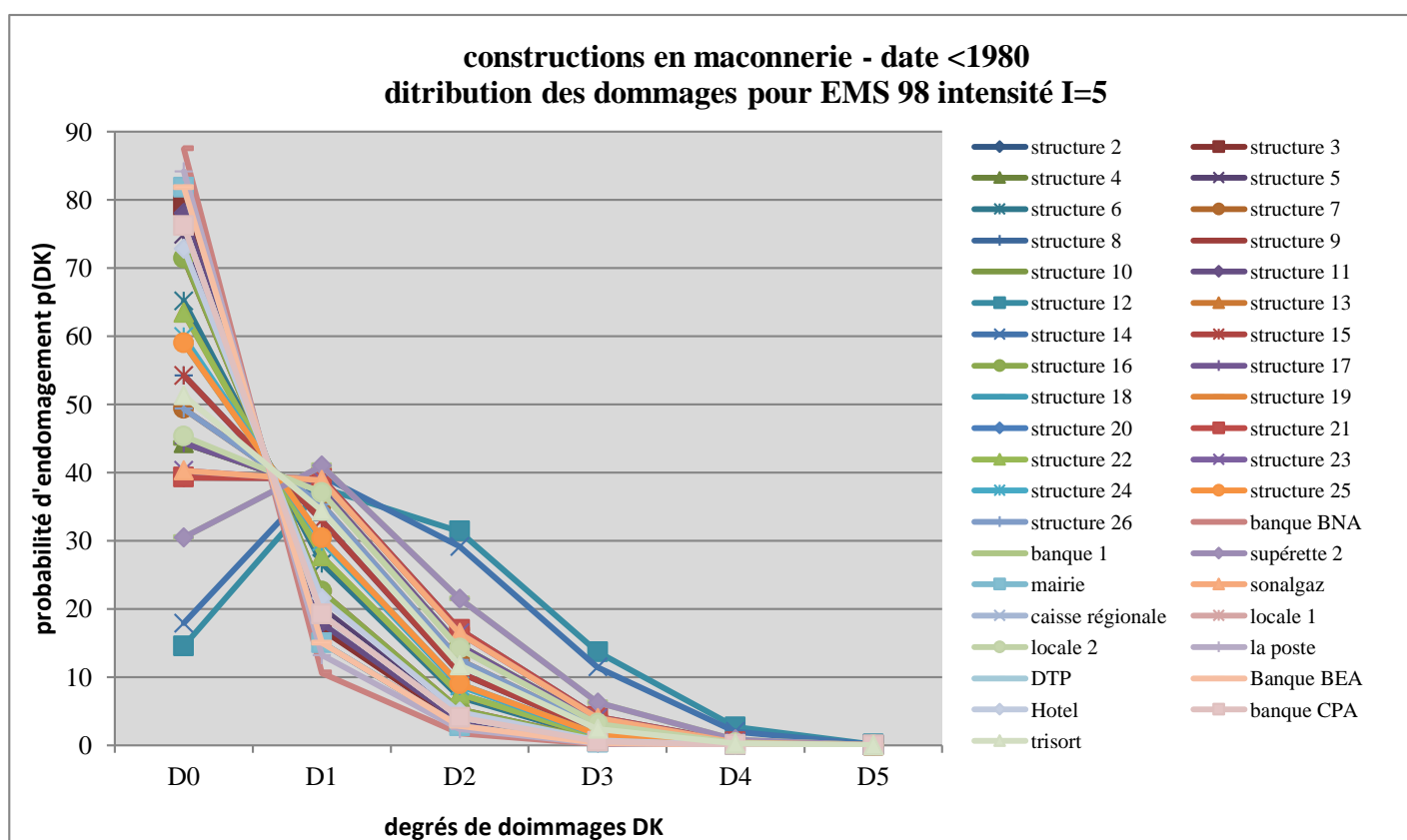


Figure.3.20 distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

5.1.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

(Date <1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 17A»)

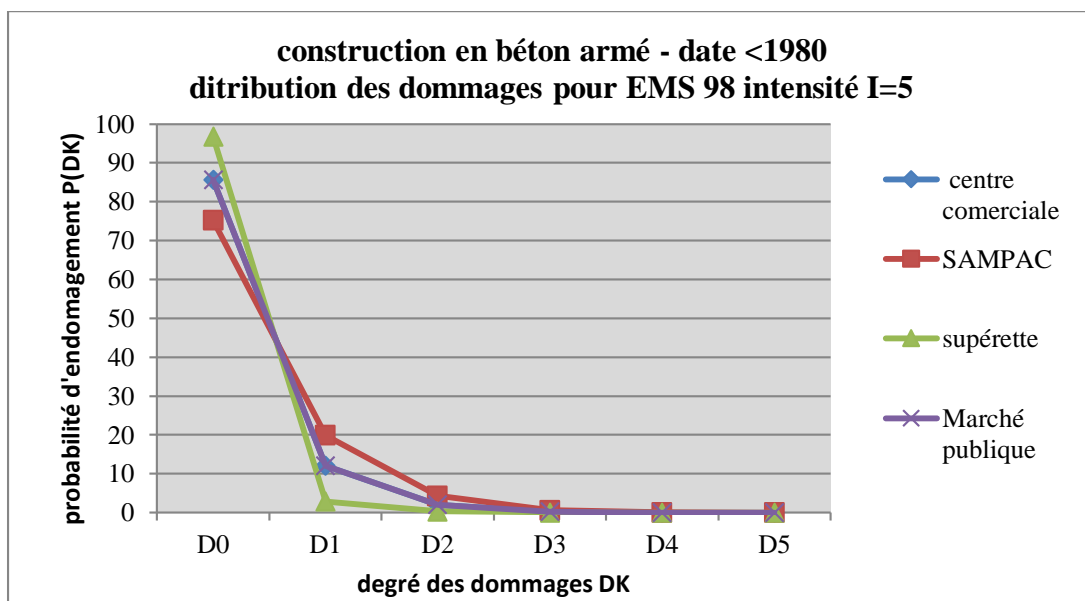


Figure.3.21 distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date <1980)

5.1.3 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

(Date >1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 18A»)

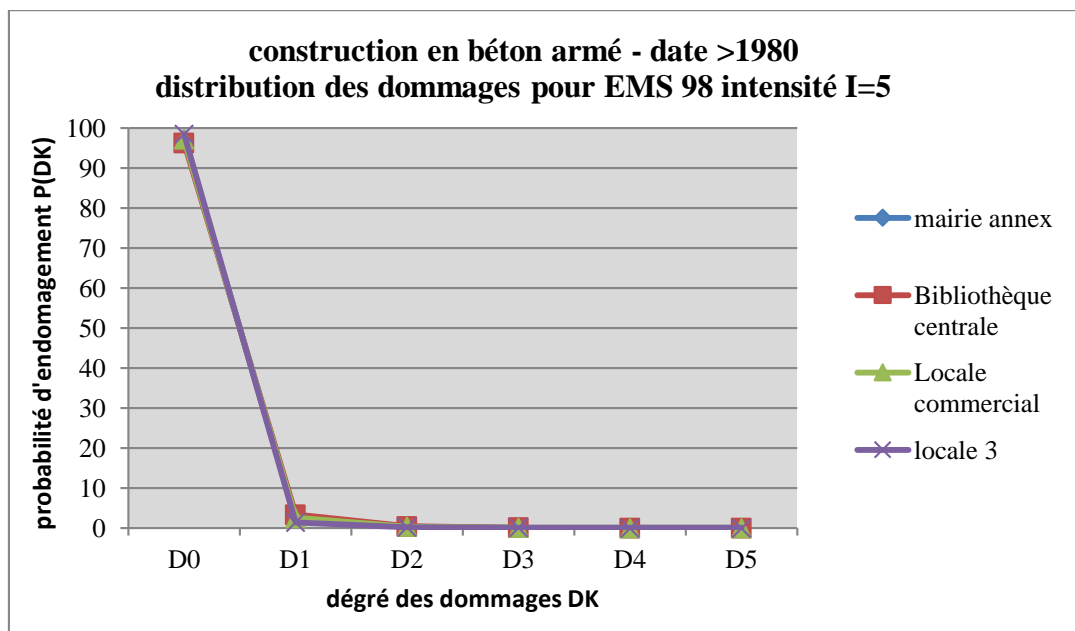


Figure.3.22 distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date >1980)

5.1.4 Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique

(Date >1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 19A»)

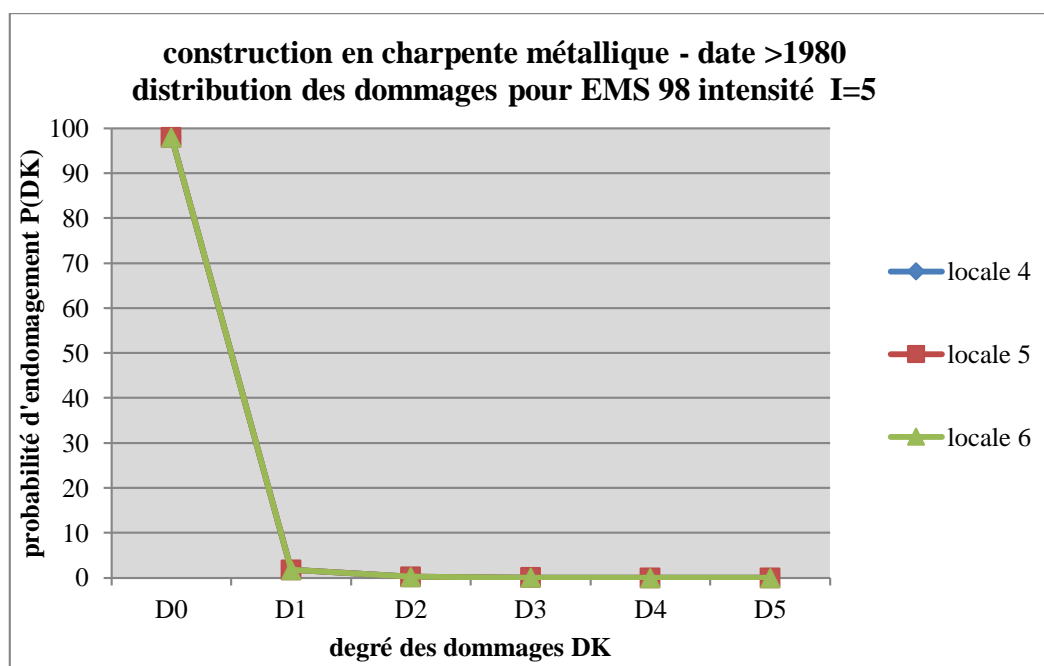


Figure.3.23 distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (date >1980)

Tableau.3.3- Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=5

| Date & type des constructions | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|--|---------------|--------------|----------|----------|----------|----------|
| Construction en maçonnerie date <1980 | 36 | 4 | -- | -- | -- | -- |
| Construction en béton armé date <1980 | 4 | -- | -- | -- | -- | -- |
| Construction en béton armé date >1980 | 4 | -- | -- | -- | -- | -- |
| Construction en charpente métallique date >1980 | 3 | -- | -- | -- | -- | -- |
| Totale | 47 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| % | 92.16% | 7.84% | 0 | 0 | 0 | 0 |

5.2 Scénario sismique pour l'intensité I=6

5.2.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

(Date <1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 24A»)

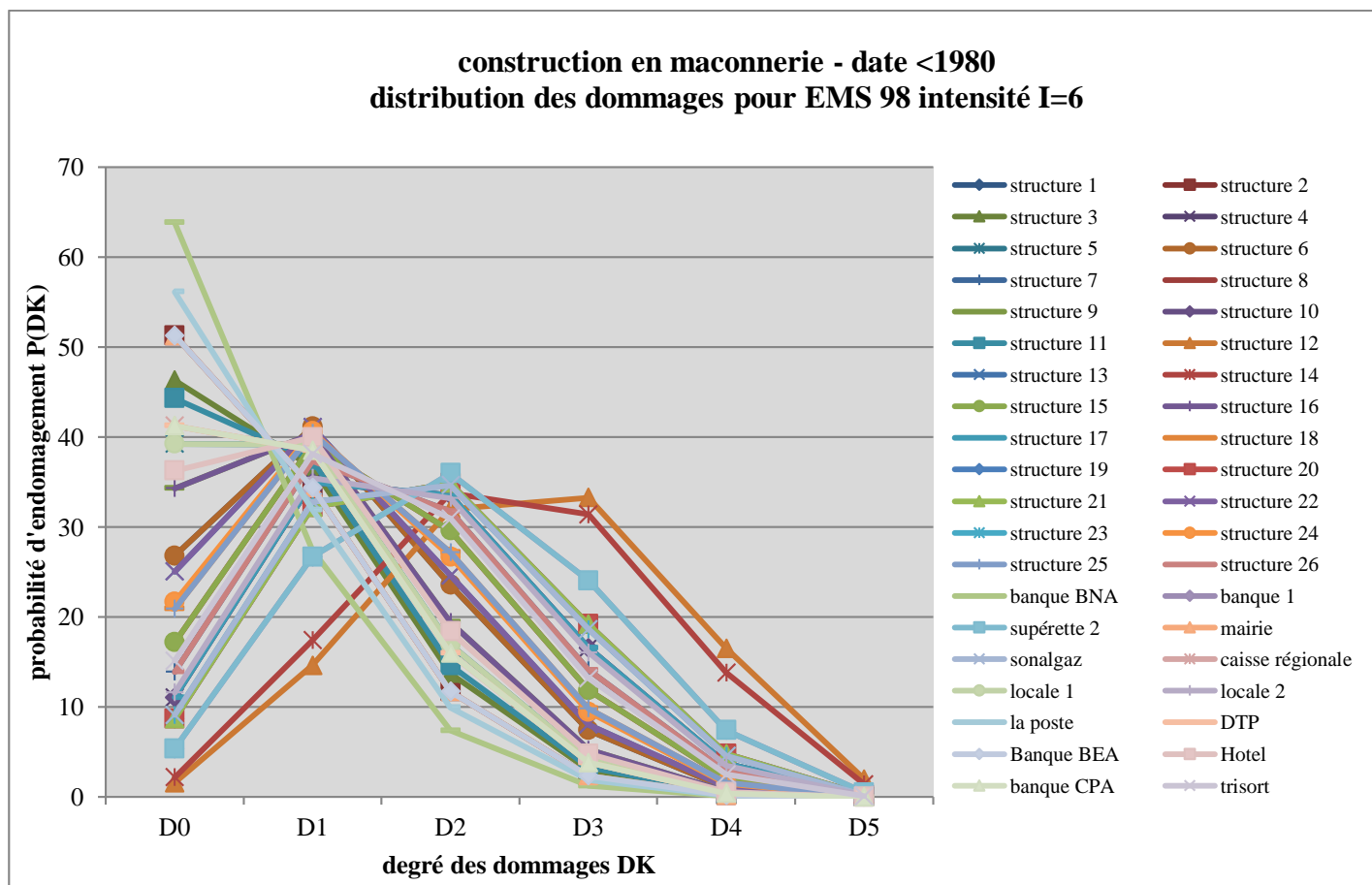


Figure.3.24 distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

5.2.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

(Date <1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 25A»)

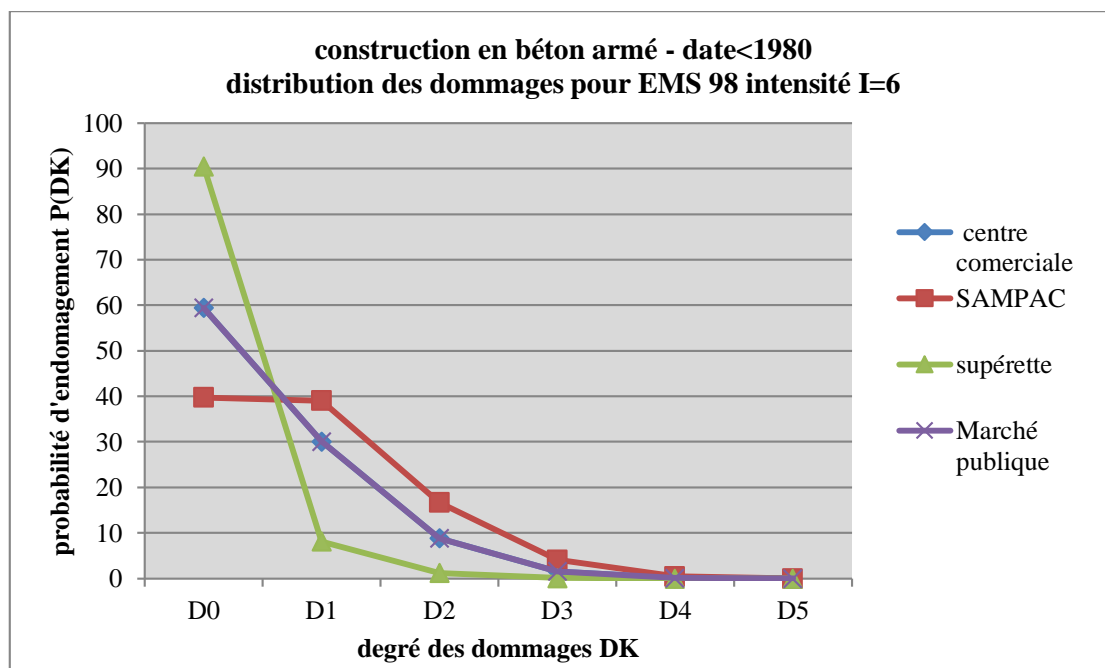


Figure.3.25 distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date <1980)

5.2.3 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

(Date >1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 26A»)

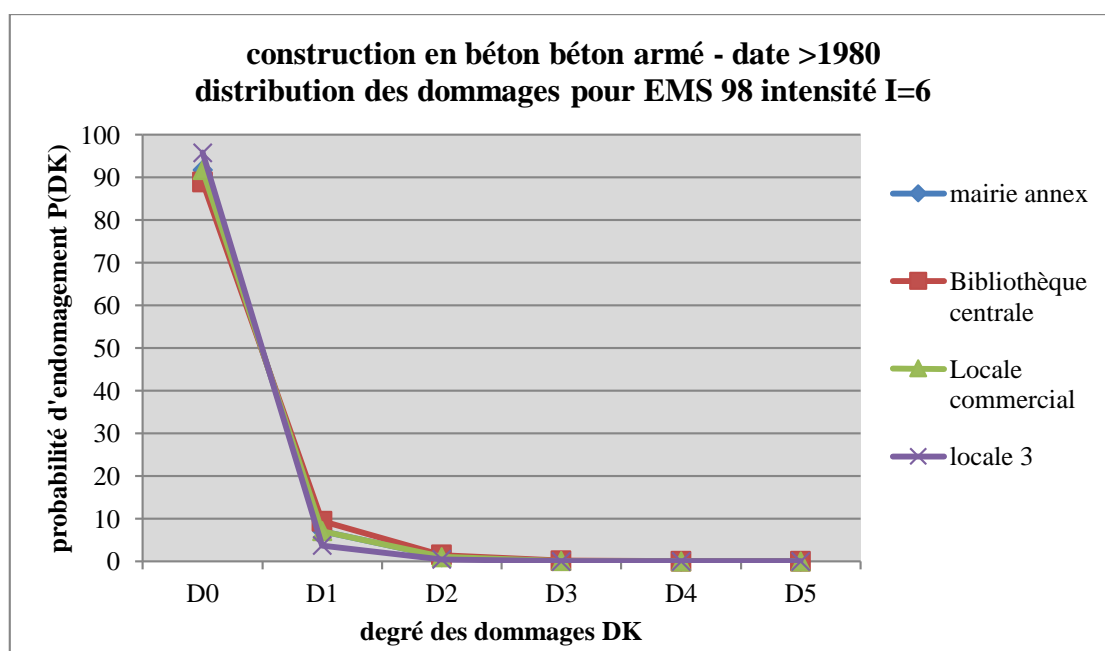


Figure.3.26 distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date >1980)

5.2.4 Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (Date >1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 27A»)

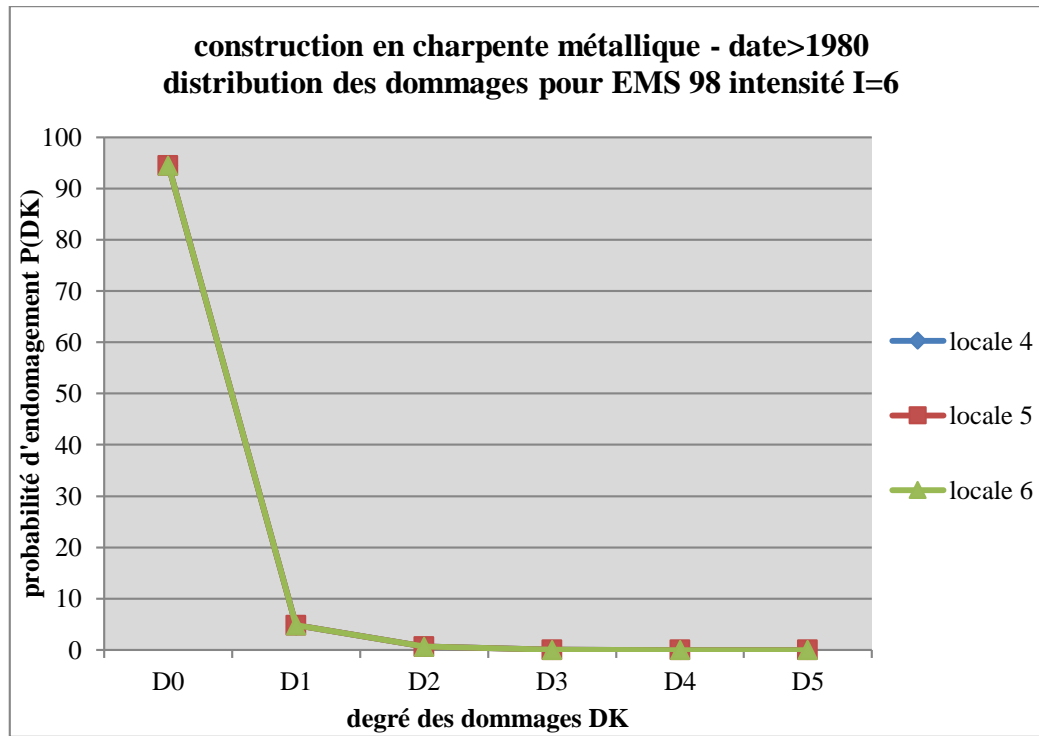


Figure.3.27 distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (date >1980)

Tableau.3.4- Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=6

| Date & type des constructions | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|--|-------|--------|--------|-------|----|----|
| Construction en maçonnerie date <1980 | 12 | 19 | 8 | 1 | -- | -- |
| Construction en béton armé date <1980 | 4 | -- | -- | -- | -- | -- |
| Construction en béton armé date >1980 | 4 | -- | -- | -- | -- | -- |
| Construction en charpente métallique date >1980 | 3 | -- | -- | -- | -- | -- |
| Totale | 23 | 19 | 8 | 1 | 0 | 0 |
| % | 45.1% | 35.26% | 15.69% | 1.96% | 0 | 0 |

5.3 Scénario sismique pour intensité I=7

5.3.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

(Date <1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 32A»)

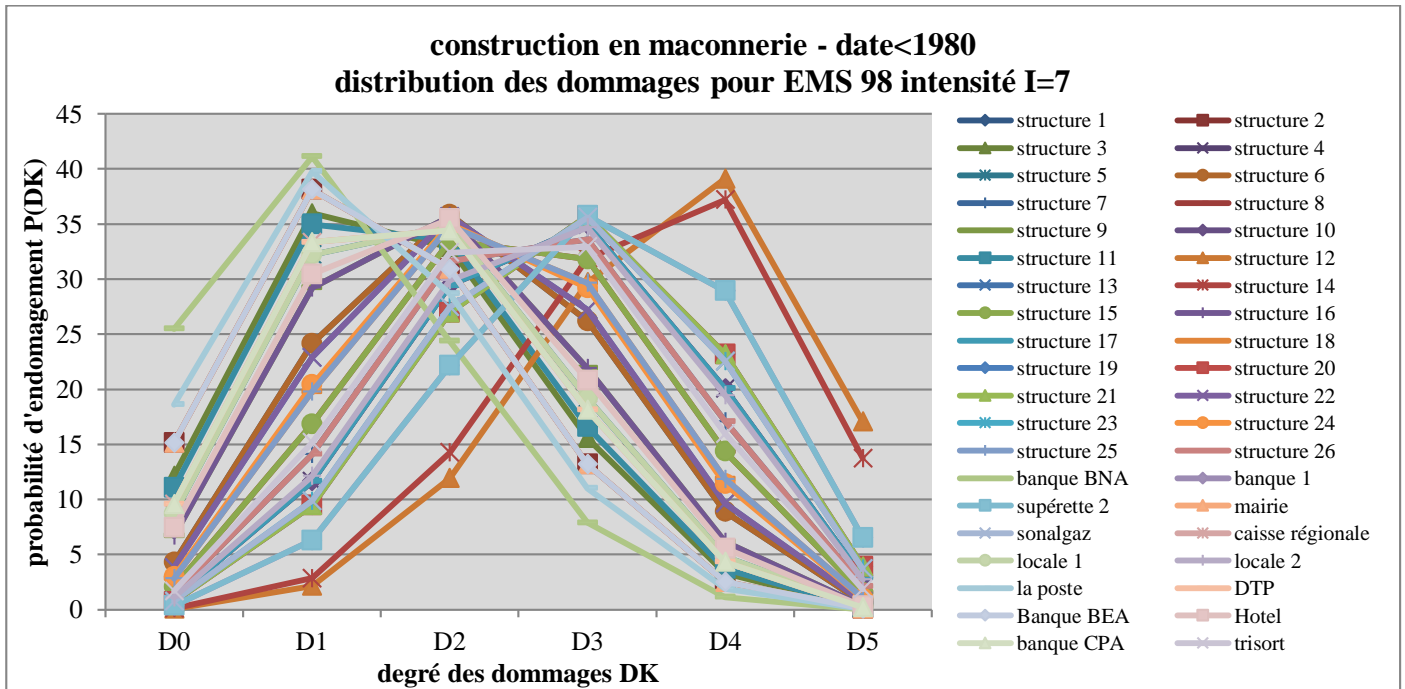


Figure.3.28 distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

5.3.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

(Date <1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 33A»)

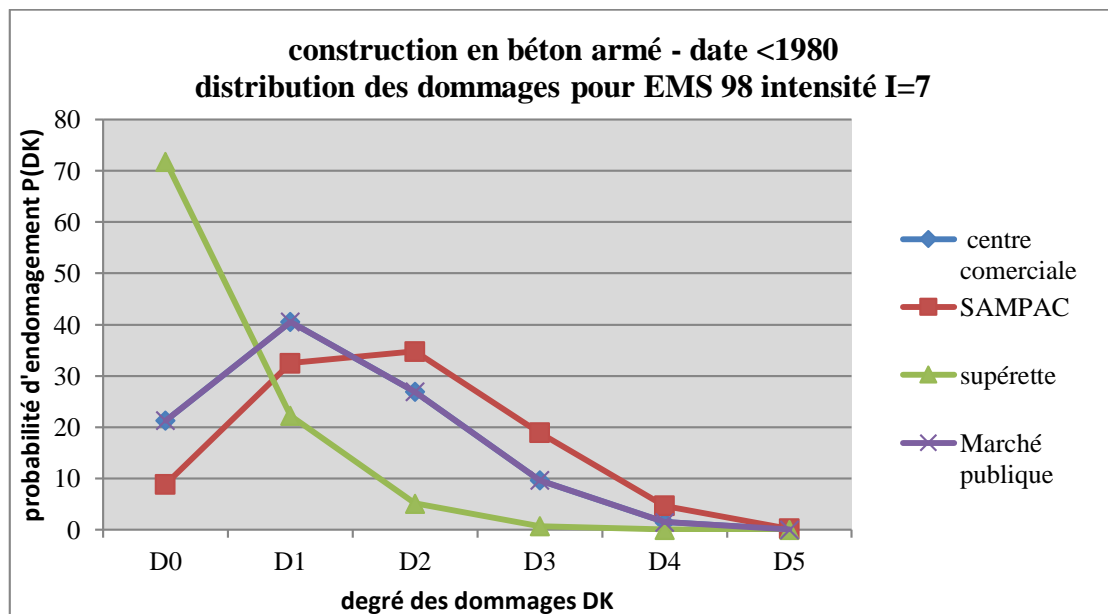


Figure.3.29 distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date<1980)

5.3.3 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

(Date >1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 34A»)

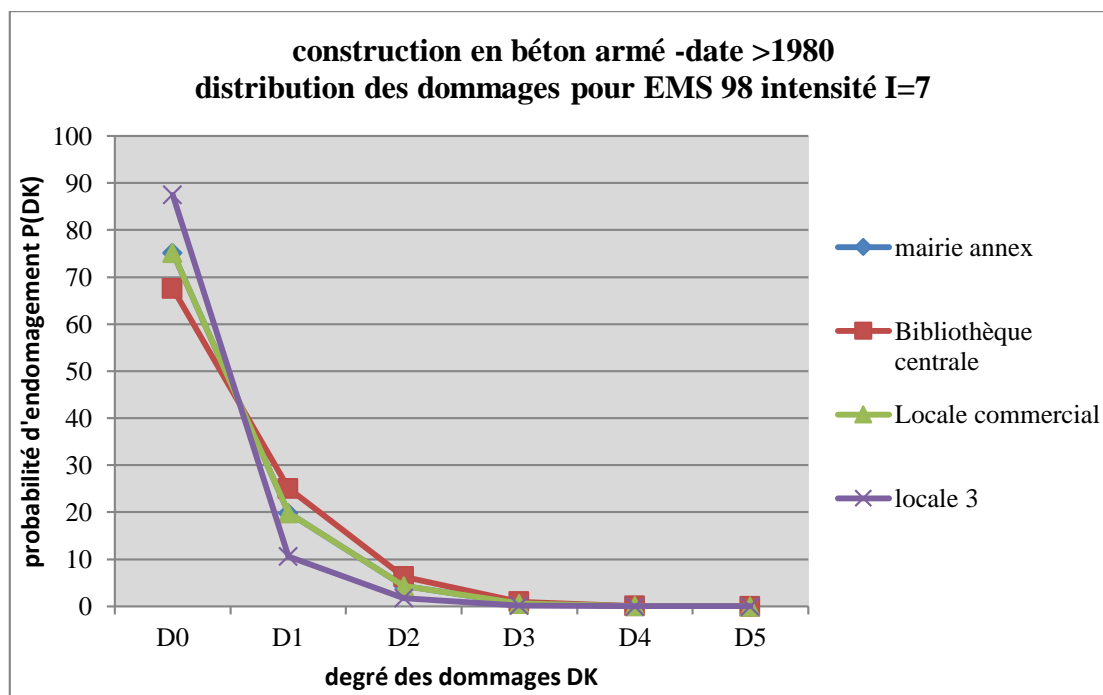


Figure.3.30 distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date>1980)

5.3.4 Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique

(Date >1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 35A»)

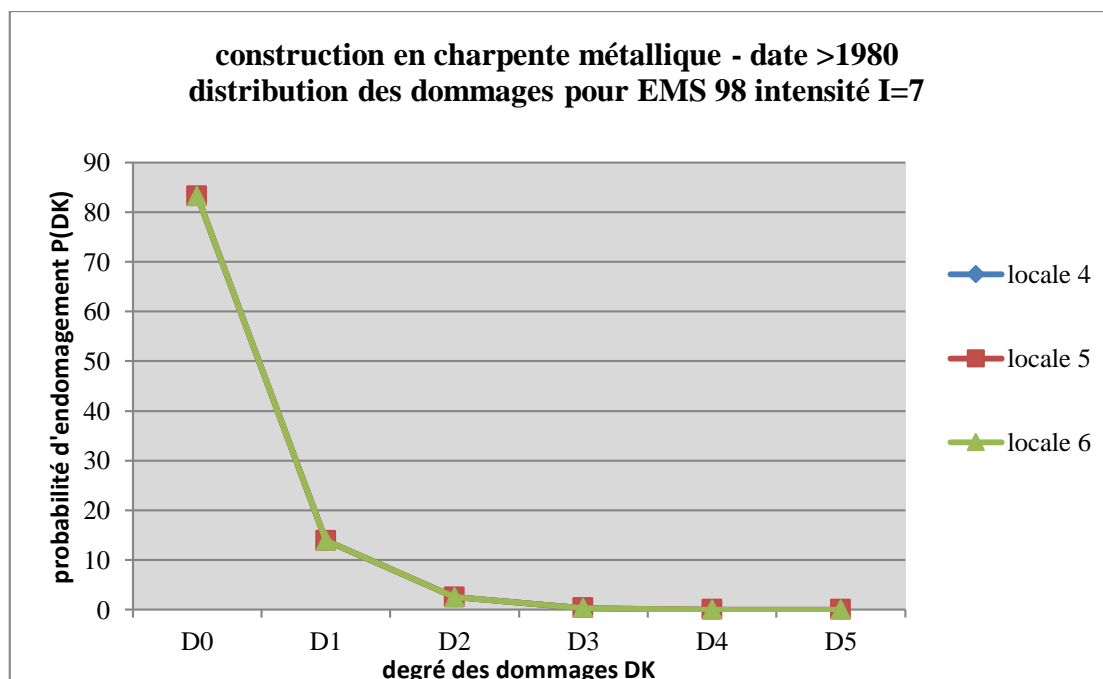


Figure.3.31 distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (date>1980)

Tableau 3.5- Synthèse de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I =7

| Date & type des constructions | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|-----------|
| Construction en maçonnerie date <1980 | 0 | 7 | 17 | 14 | 2 | -- |
| Construction en béton armé date <1980 | 1 | 2 | 1 | -- | -- | -- |
| Construction en béton armé date >1980 | 4 | -- | -- | -- | -- | -- |
| Construction en charpente métallique date >1980 | 3 | -- | -- | -- | -- | -- |
| Totale | 8 | 9 | 18 | 14 | 2 | 0 |
| % | 15.69% | 17.65% | 35.29% | 27.45% | 3.92% | 0% |

5.4 Scénario sismique pour intensité I=8

5.4.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

(Date <1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 40A»)

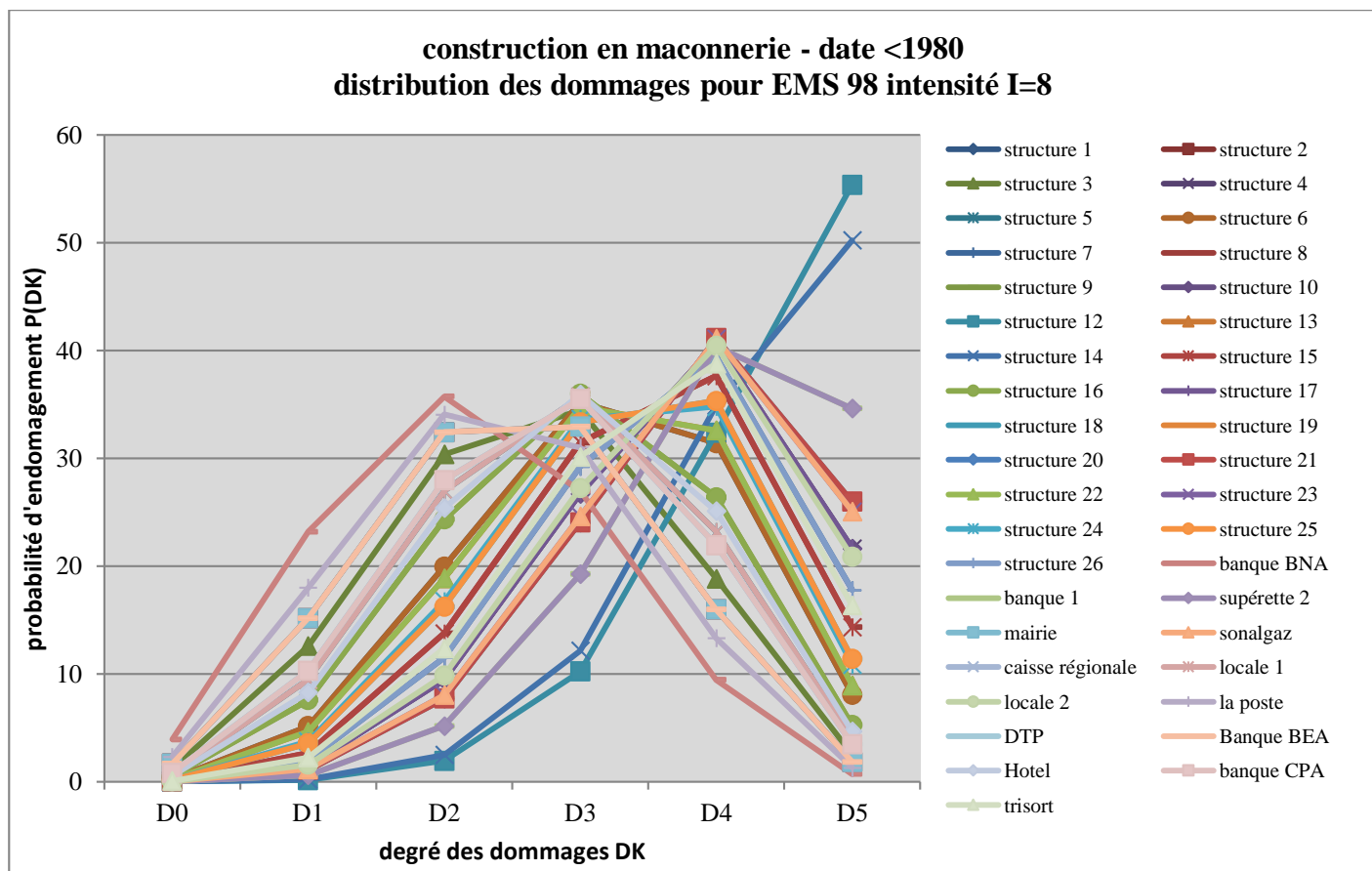


Figure.3.32 distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

5.4.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

(Date <1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 41A»)



Figure.3.33 distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date<1980)

5.4.3 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

(Date >1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 42A»)

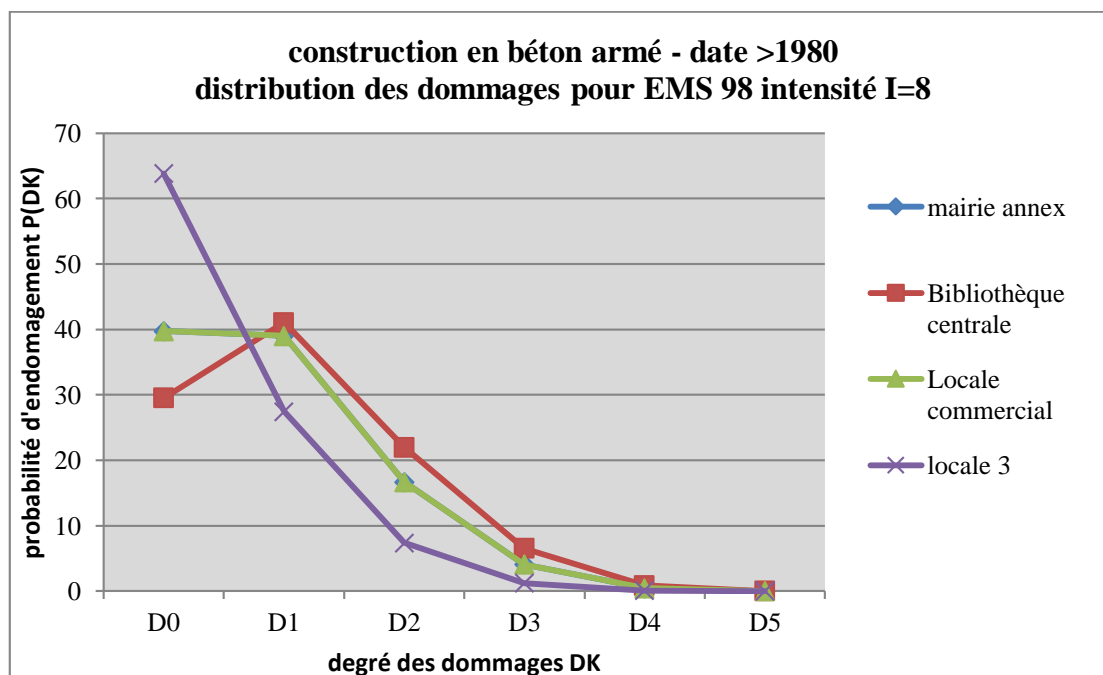


Figure.3.34 distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date>1980)

5.4.4 Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique

(Date >1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 43A»)

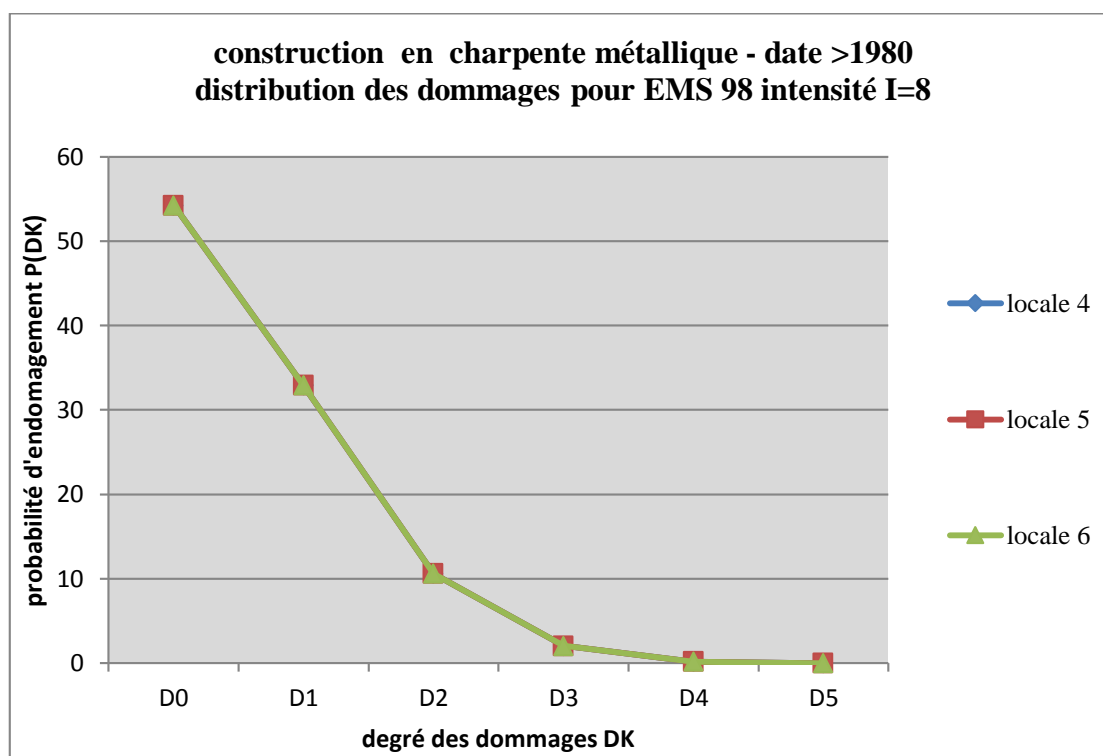


Figure.3.35 distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (date>1980)

Tableau.3.6- Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=8

| Date & type des constructions | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|---|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|----------|
| Construction en maçonnerie date <1980 | -- | -- | 2 | 17 | 20 | -- |
| Construction en béton armé date <1980 | -- | 1 | 2 | 1 | -- | -- |
| Construction en béton armé date >1980 | 3 | 1 | -- | -- | -- | -- |
| Construction en charpente métallique date >1980 | 3 | -- | -- | -- | -- | -- |
| Totale | 6 | 2 | 4 | 18 | 20 | 0 |
| % | 11.77% | 3.92% | 7.84% | 35.29% | 39.22% | 0 |

5.5 Scénario sismique pour intensité I=9

5.5.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

(Date <1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 48A»)

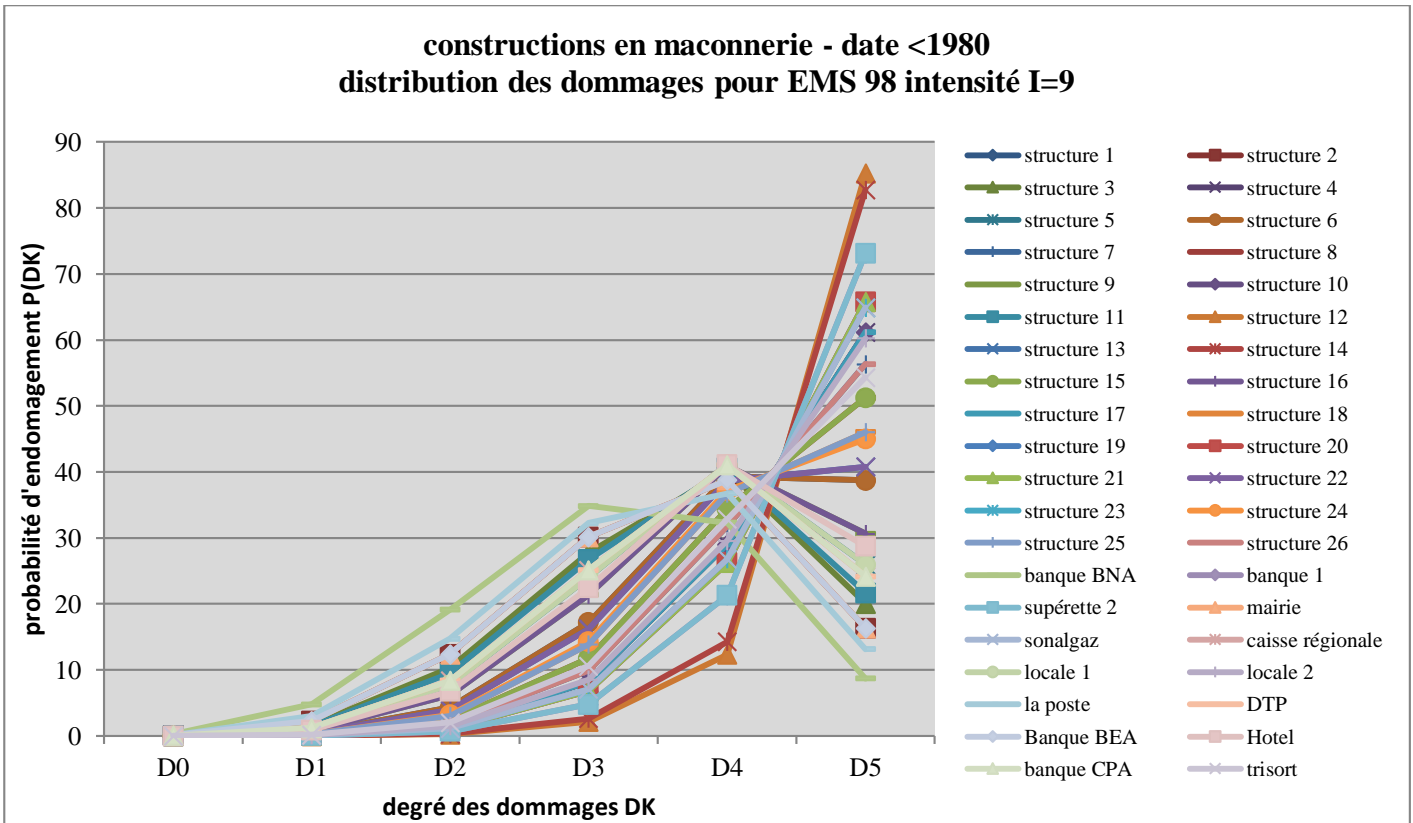


Figure.3.36 distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

5.5.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

(Date <1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 49A»)

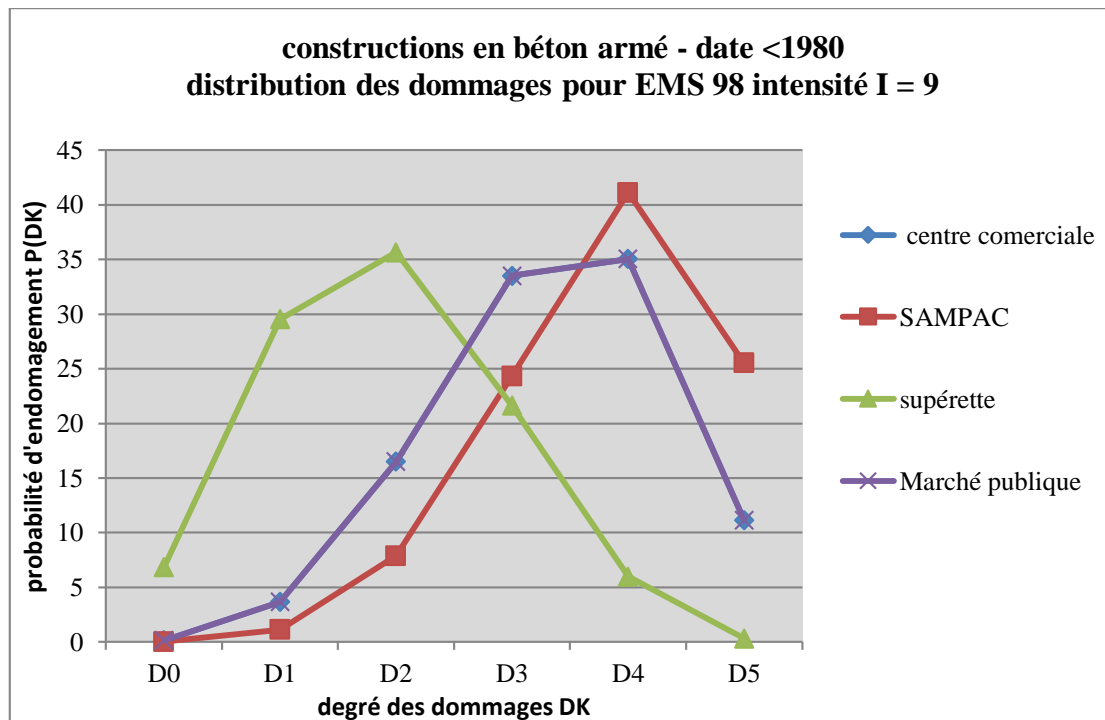


Figure.3.37 distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date<1980)

5.5.3 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

(Date >1980) (Voir annexe 7, «Tableaux 50A»)

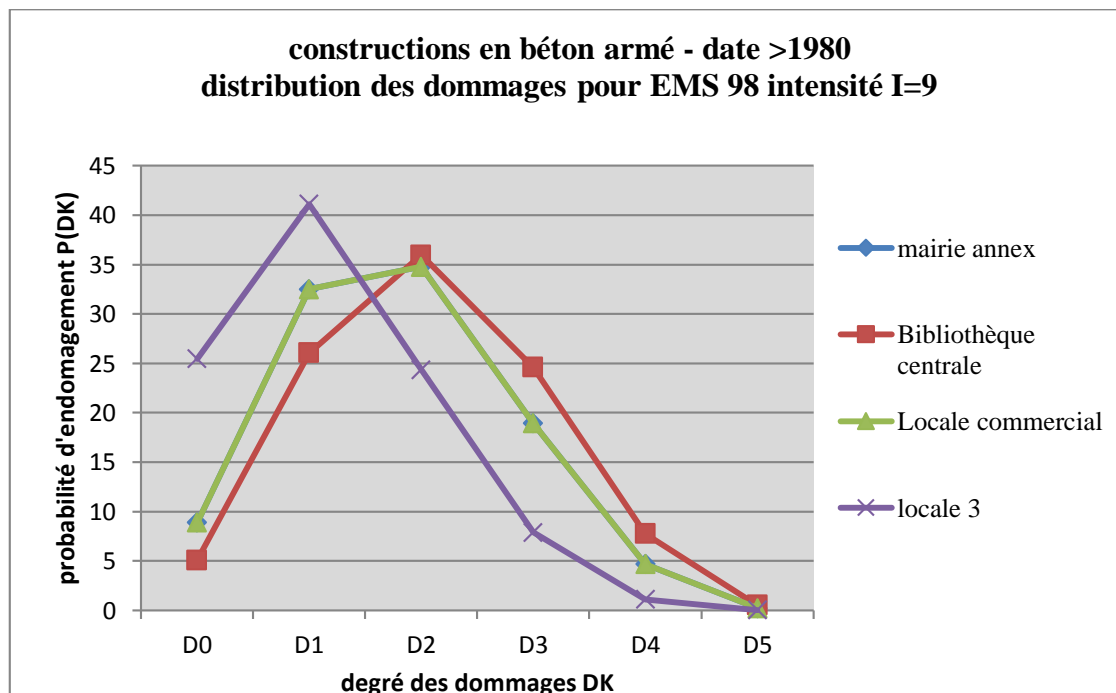


Figure.3.38 distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date>1980)

5.5.4 Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique

(Date >1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 51A»)

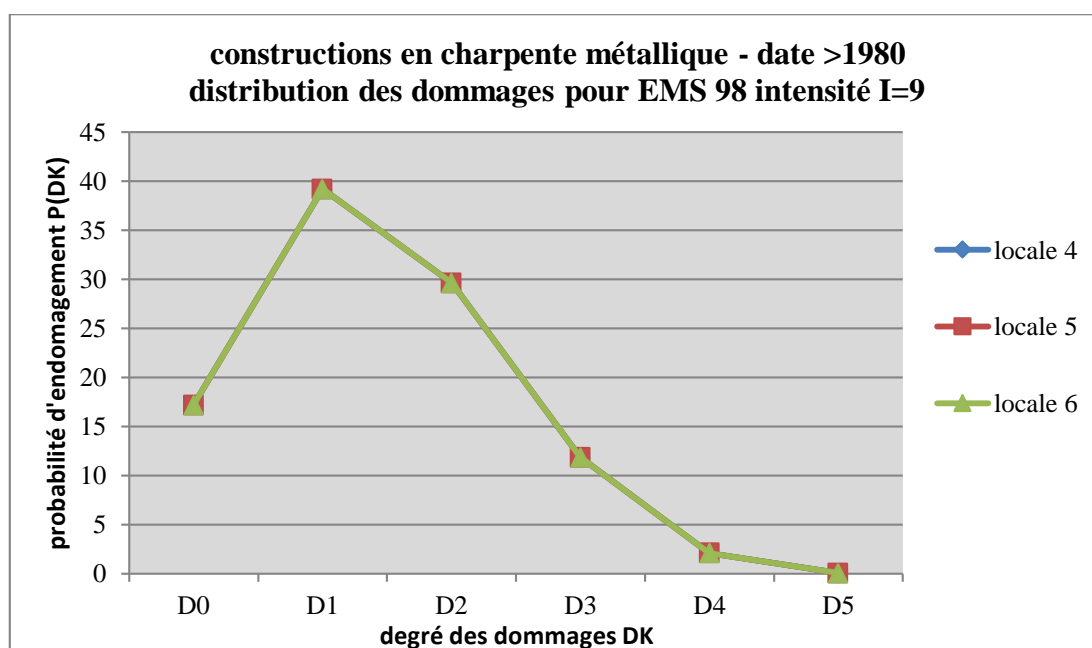


Figure.3.39 distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (date>1980)

Tableau.3.7- Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=9

| Date & type des constructions | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|---|----|-------|-------|-------|--------|-------|
| Construction en maçonnerie date <1980 | -- | -- | -- | 1 | 16 | 23 |
| Construction en béton armé date <1980 | -- | -- | 1 | -- | 3 | -- |
| Construction en béton armé date >1980 | -- | 1 | 3 | -- | -- | -- |
| Construction en charpente métallique date >1980 | -- | 3 | -- | -- | -- | -- |
| Totale | -- | 4 | 4 | 1 | 19 | 23 |
| % | 0% | 7.84% | 7.84% | 1.96% | 37.26% | 45.1% |

5.6 Scénarios sismique pour intensité I=10

5.6.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

(Date <1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 56A»)

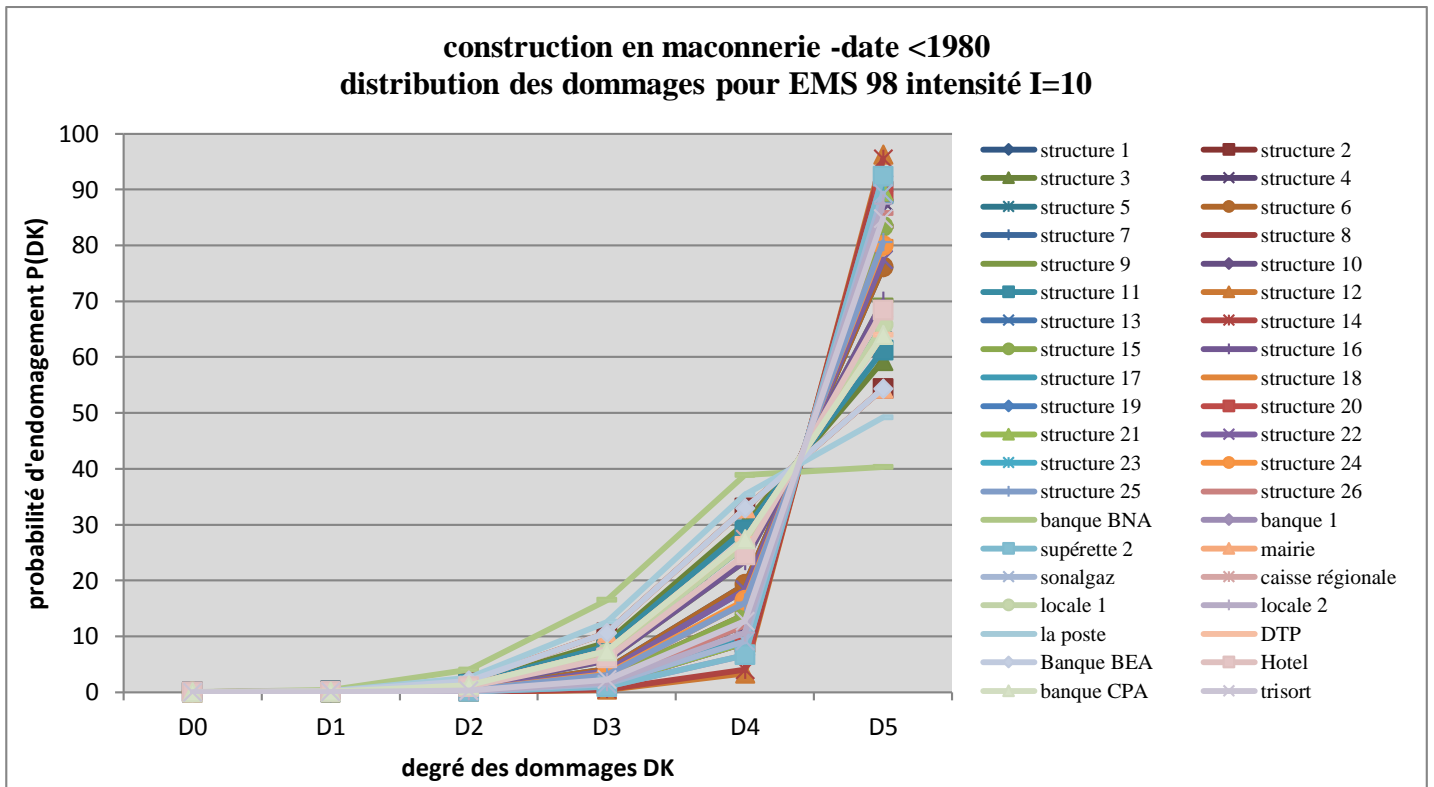


Figure.3.40 distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

5.6.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

(Date <1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 57A»)

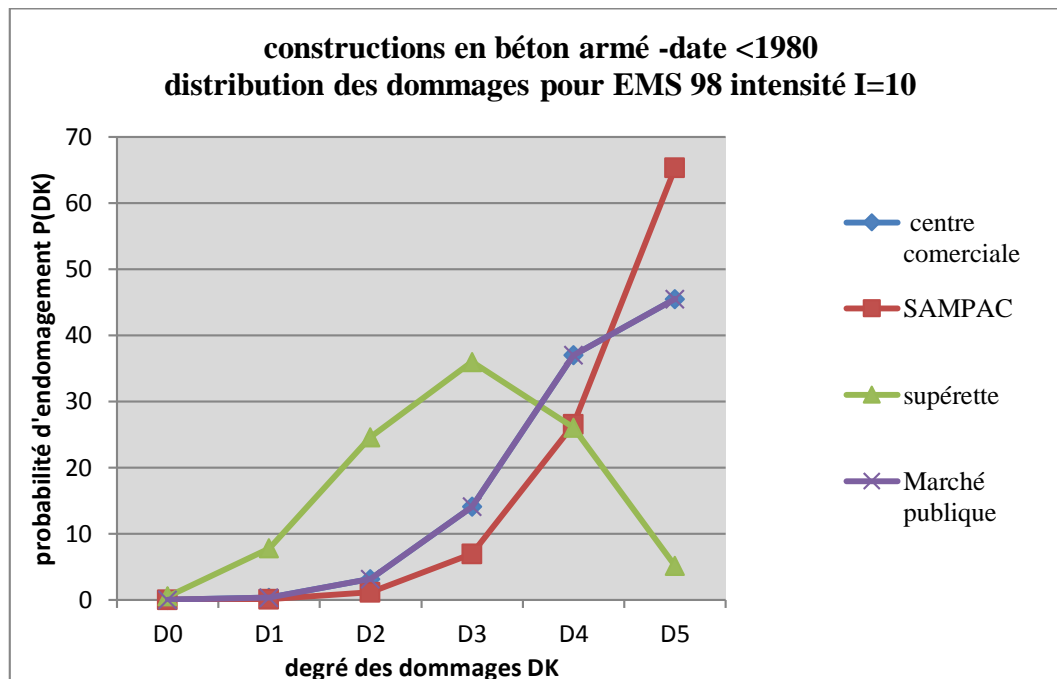
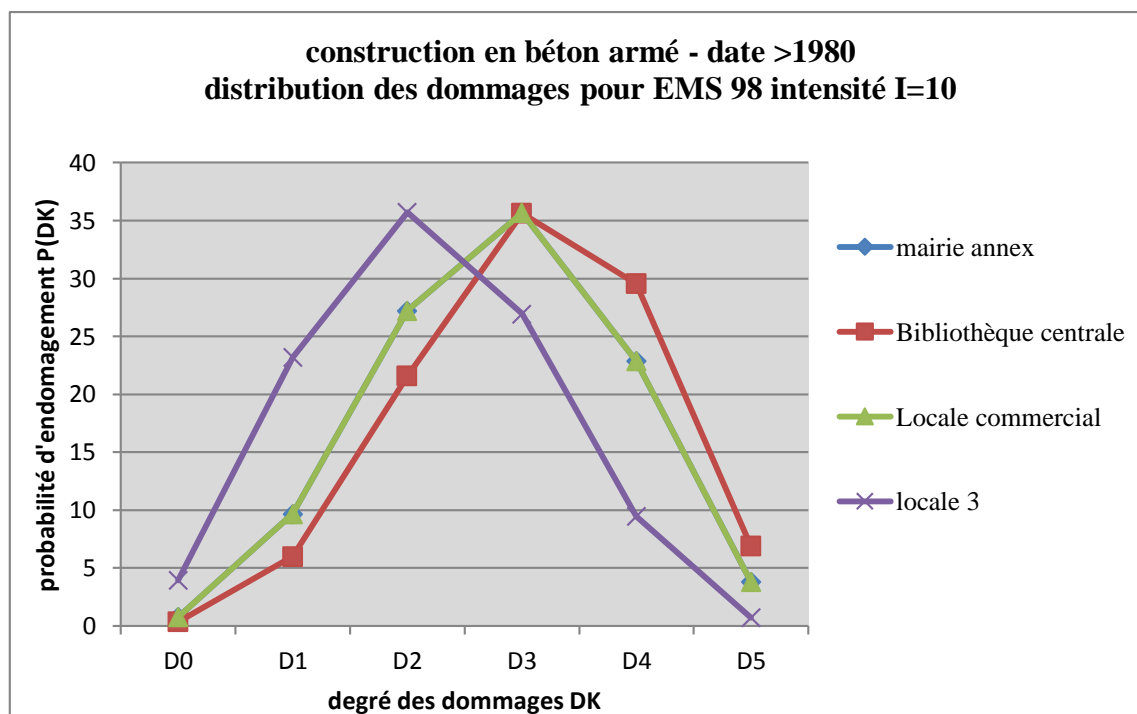


Figure.3.41 distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date<1980)

5.6.3 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

(Date >1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 58A»)

Figure.3.42 distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date>1980)



5.6.4 Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique

(Date >1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 59A »)

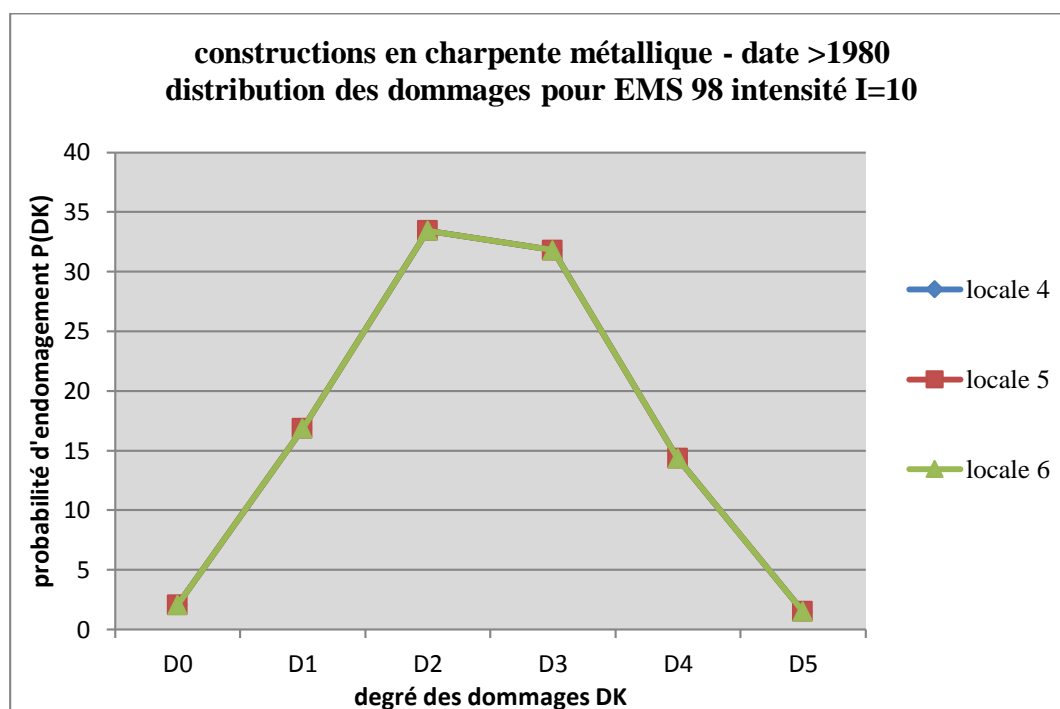


Figure.3.43 distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (date>1980)

Tableau.3.8- Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=10

| Date & type des constructions | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|---|-----------|-----------|--------------|--------------|-----------|---------------|
| Construction en maçonnerie date <1980 | -- | -- | -- | -- | -- | 40 |
| Construction en béton armé date <1980 | -- | -- | -- | 1 | -- | 3 |
| Construction en béton armé date >1980 | -- | -- | 1 | 3 | -- | -- |
| Construction en charpente métallique date >1980 | -- | -- | 3 | -- | -- | -- |
| Totale | -- | -- | 4 | 4 | 0 | 43 |
| % | 0% | 0% | 7.84% | 7.84% | 0% | 84.31% |

5.7 Scénarios sismique pour intensité I=11

5.7.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

(Date <1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 64A»)

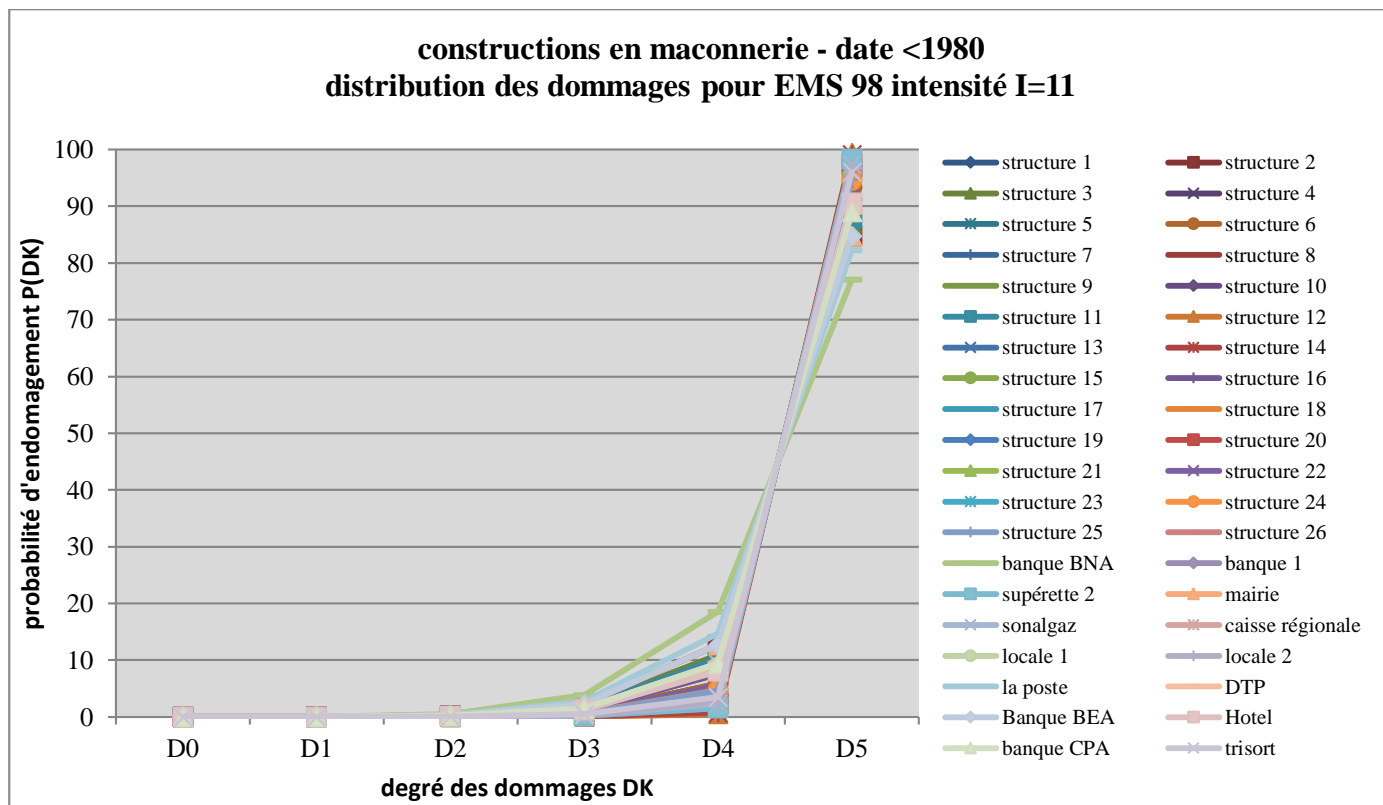


Figure.3.44 distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

5.7.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

(Date <1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 65A»)

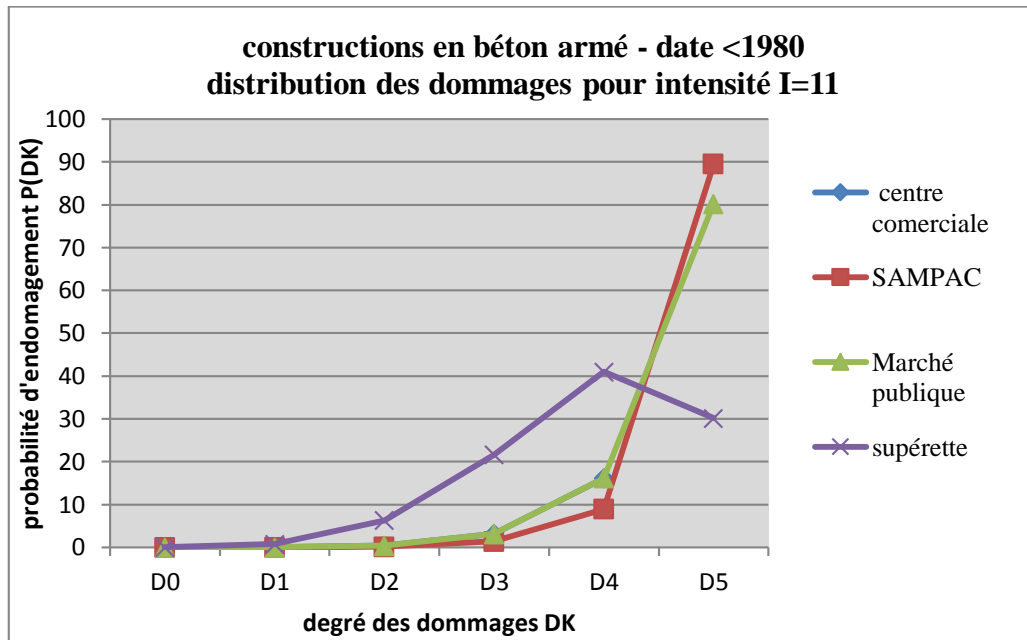


Figure.3.45 distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date<1980)

5.7.3 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

(Date >1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 66A»)

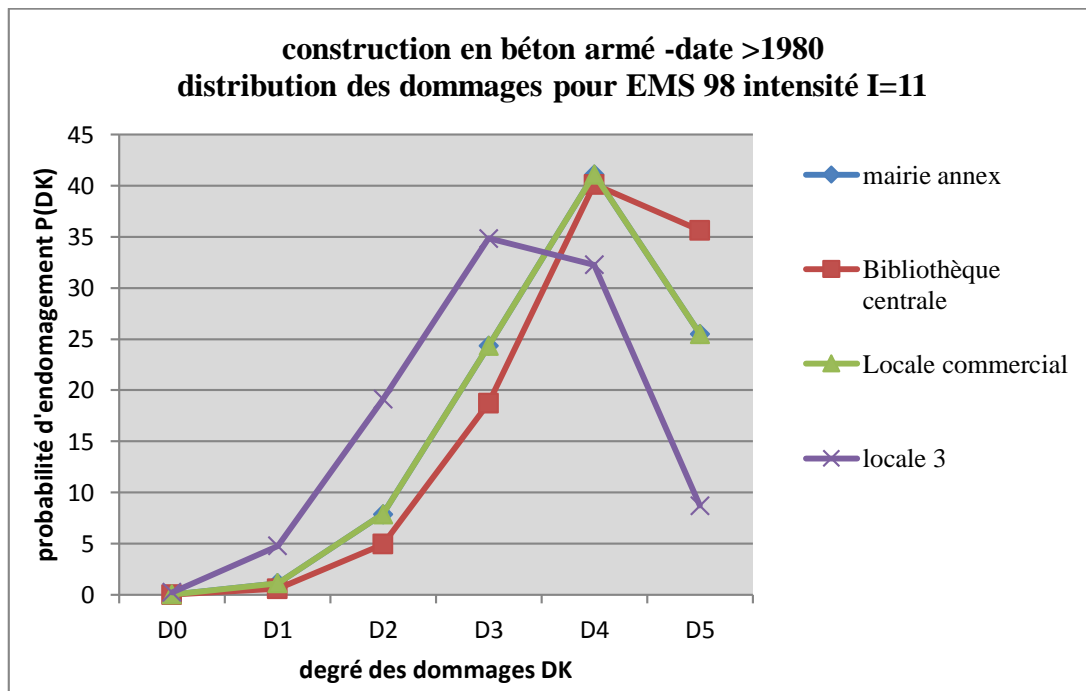


Figure.3.46 distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date>1980)

5.7.4 Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique

(Date >1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 67A»)

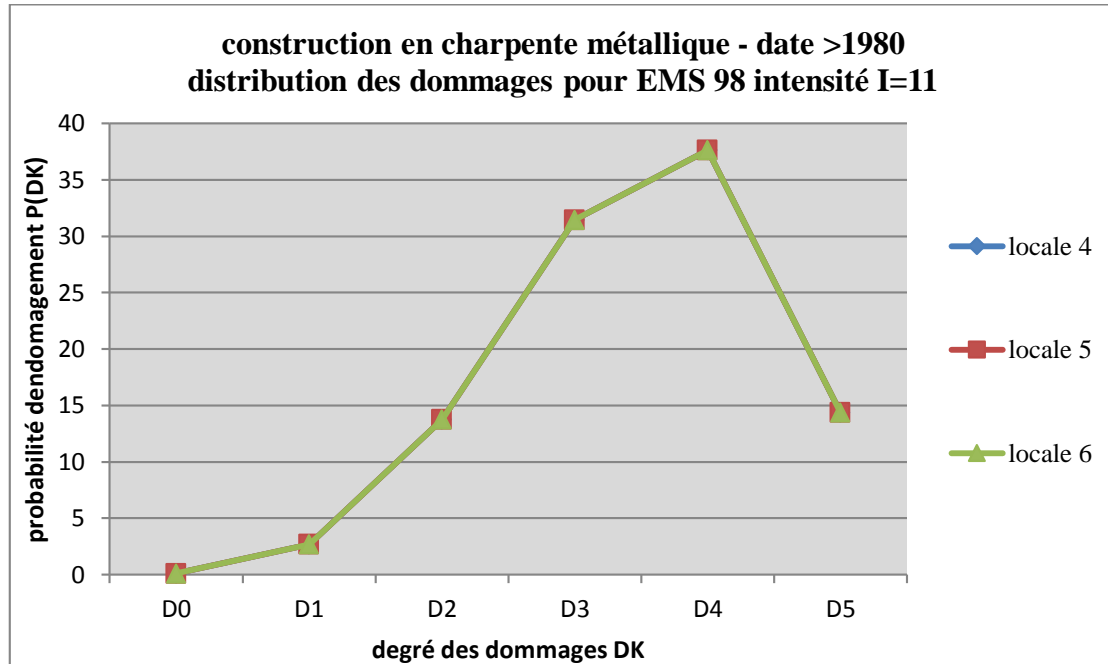


Figure.3.47 distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (date>1980)

Tableau.3.9- Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=11

| Date & type des constructions | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|---|-----------|-----------|-----------|--------------|--------------|---------------|
| Construction en maçonnerie date <1980 | -- | -- | -- | -- | -- | 40 |
| Construction en béton armé date <1980 | -- | -- | -- | -- | 1 | 3 |
| Construction en béton armé date >1980 | -- | -- | -- | 1 | 3 | -- |
| Construction en charpente métallique date >1980 | -- | -- | -- | 3 | -- | -- |
| Totale | -- | -- | -- | 4 | 4 | 43 |
| % | 0% | 0% | 0% | 7.84% | 7.84% | 84.31% |

5.8 Scénarios sismique pour intensité I=12

5.8.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

(Date <1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 72A»)

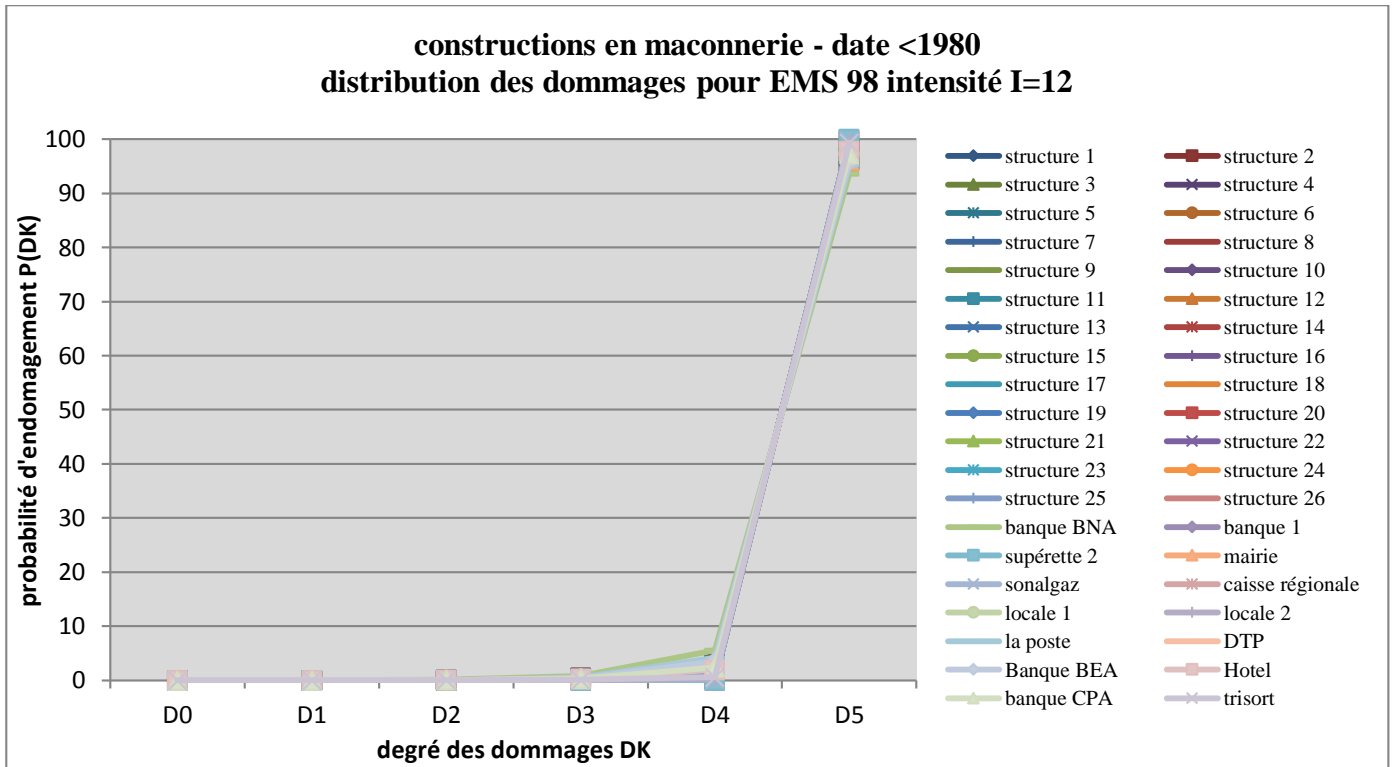


Figure.3.48 distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

5.8.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

(Date <1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 73A»)

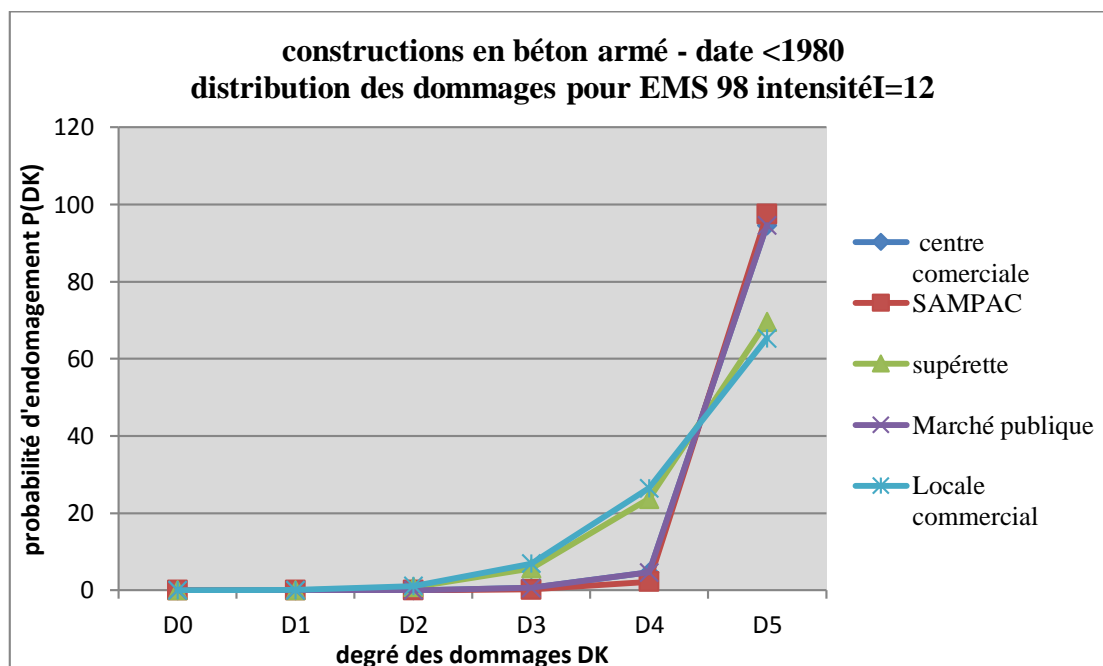


Figure.3.49 distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date<1980)

5.8.3 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

(Date >1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 74A»)

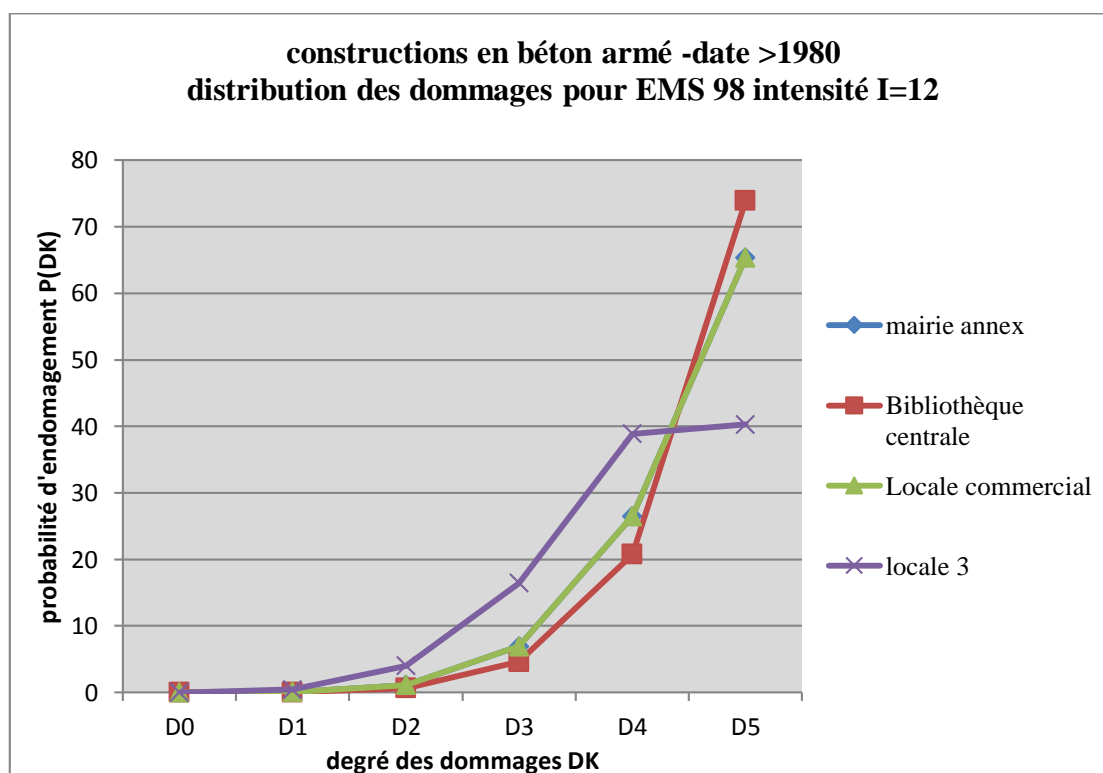


Figure.3.50 distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date>1980)

5.8.4 Distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (Date >1980) (Voir annexe 7, « Tableaux 75A»)

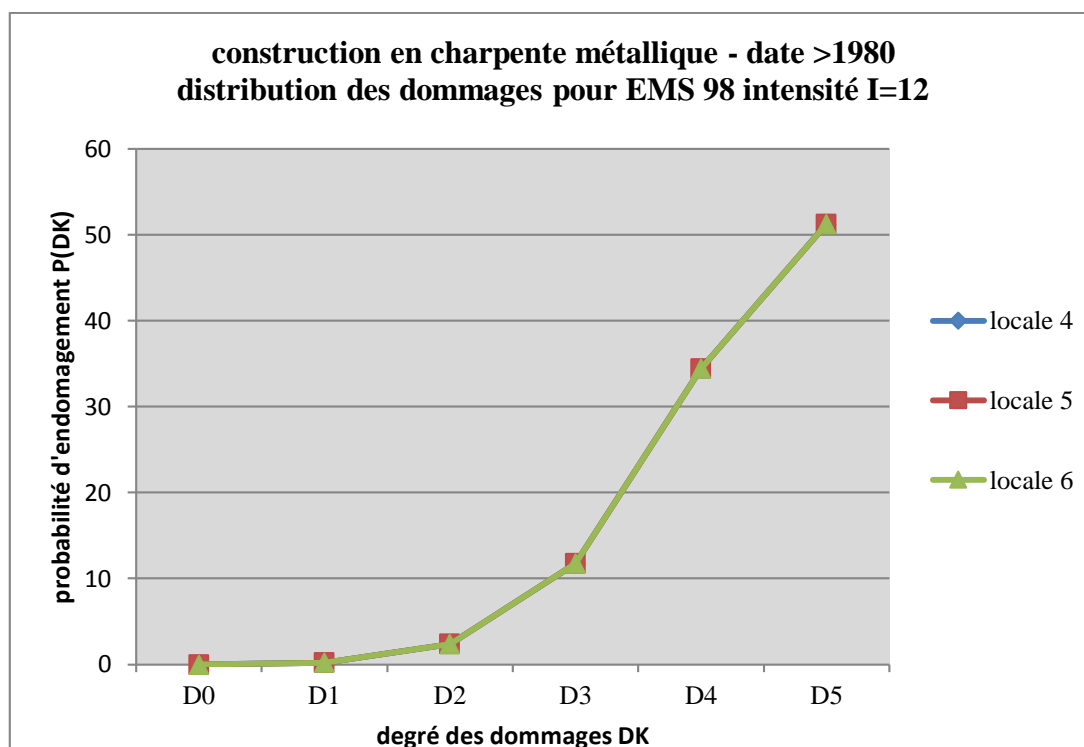


Figure.3.51 distribution des dommages pour les constructions en charpente métallique (date>1980)

Table.3.10 : Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=12

| Date & type des constructions | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|--|----|----|----|----|----|------|
| Construction en maçonnerie date <1980 | -- | -- | -- | -- | -- | 40 |
| Construction en béton armé date <1980 | -- | -- | -- | -- | -- | 4 |
| Construction en béton armé date >1980 | -- | -- | -- | -- | -- | 4 |
| Construction en charpente métallique date >1980 | -- | -- | -- | -- | -- | 3 |
| Totale | -- | -- | -- | -- | -- | 51 |
| % | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 100% |

6 Cartographie de distribution des dommages pour les constructions de la zone d'étude

Figure.3.52- Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=5



Figure.3.53- Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=6



Figure.3.54- Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=7



Figure.3.55- Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=8

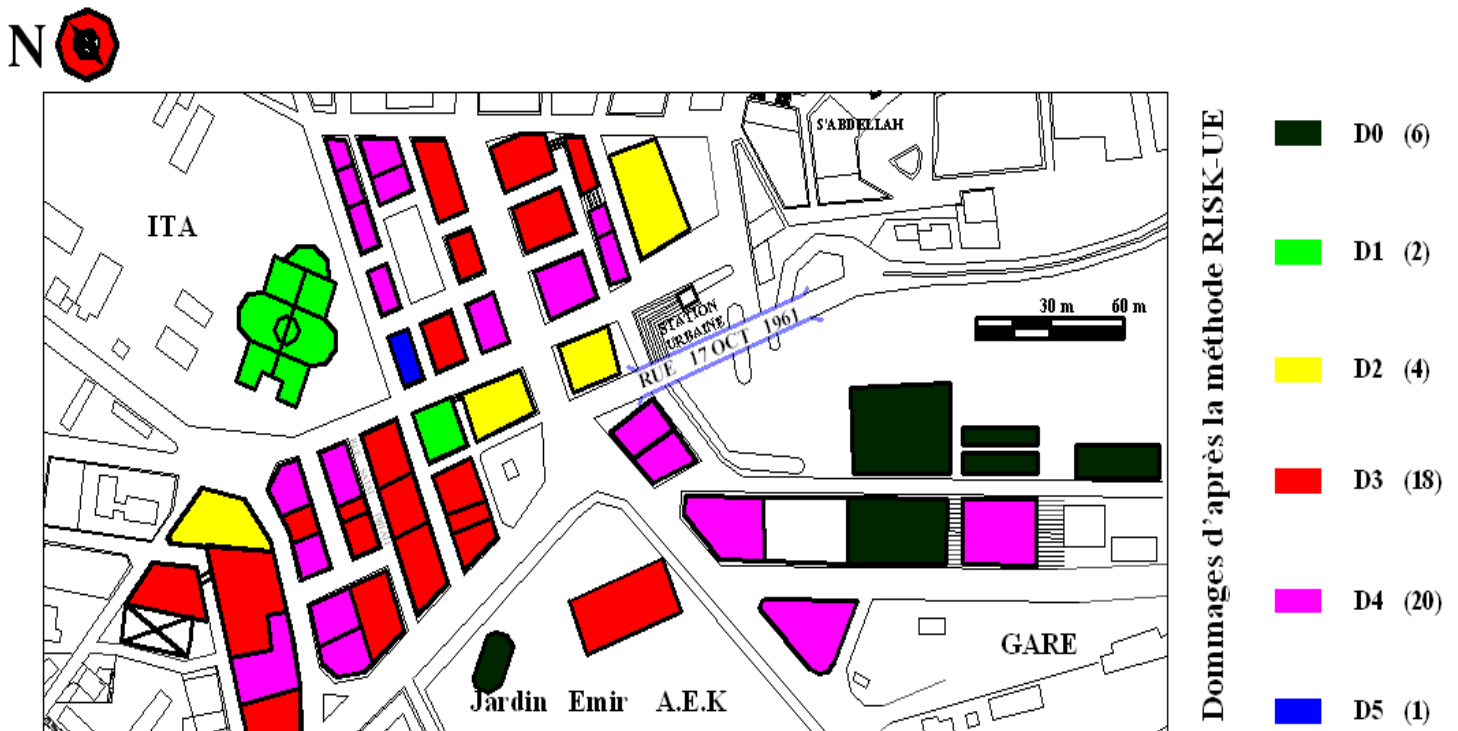


Figure.3.56- Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=9

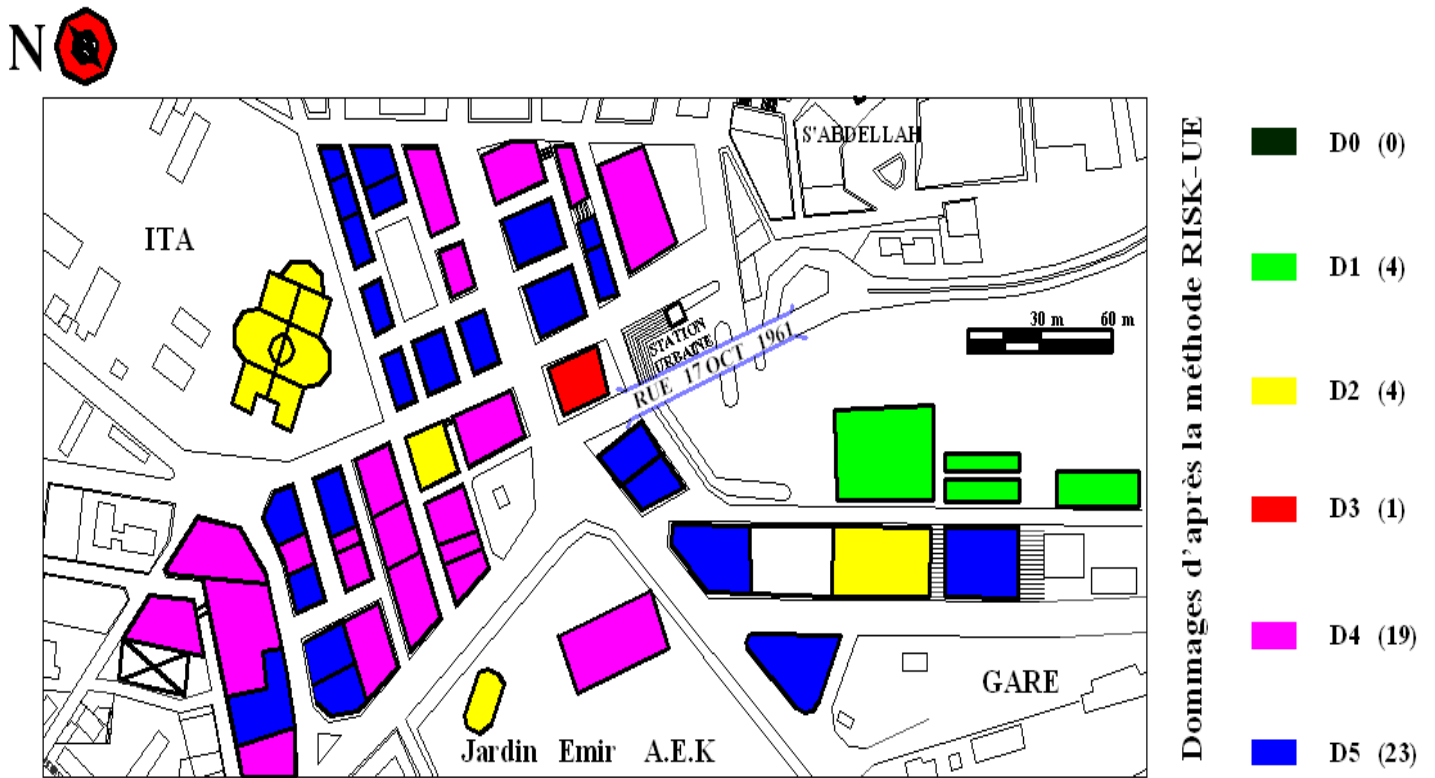


Figure.3.57- Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=10

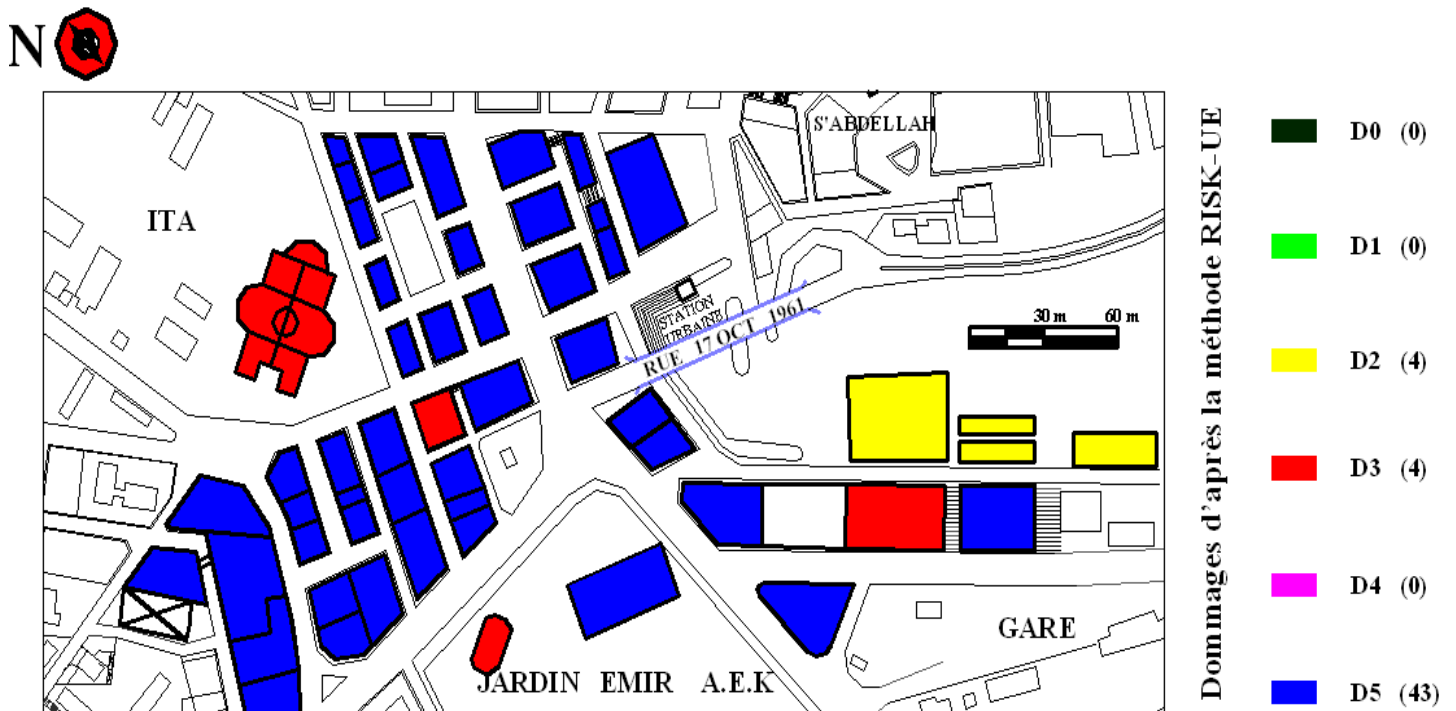


Figure.3.58 Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=11

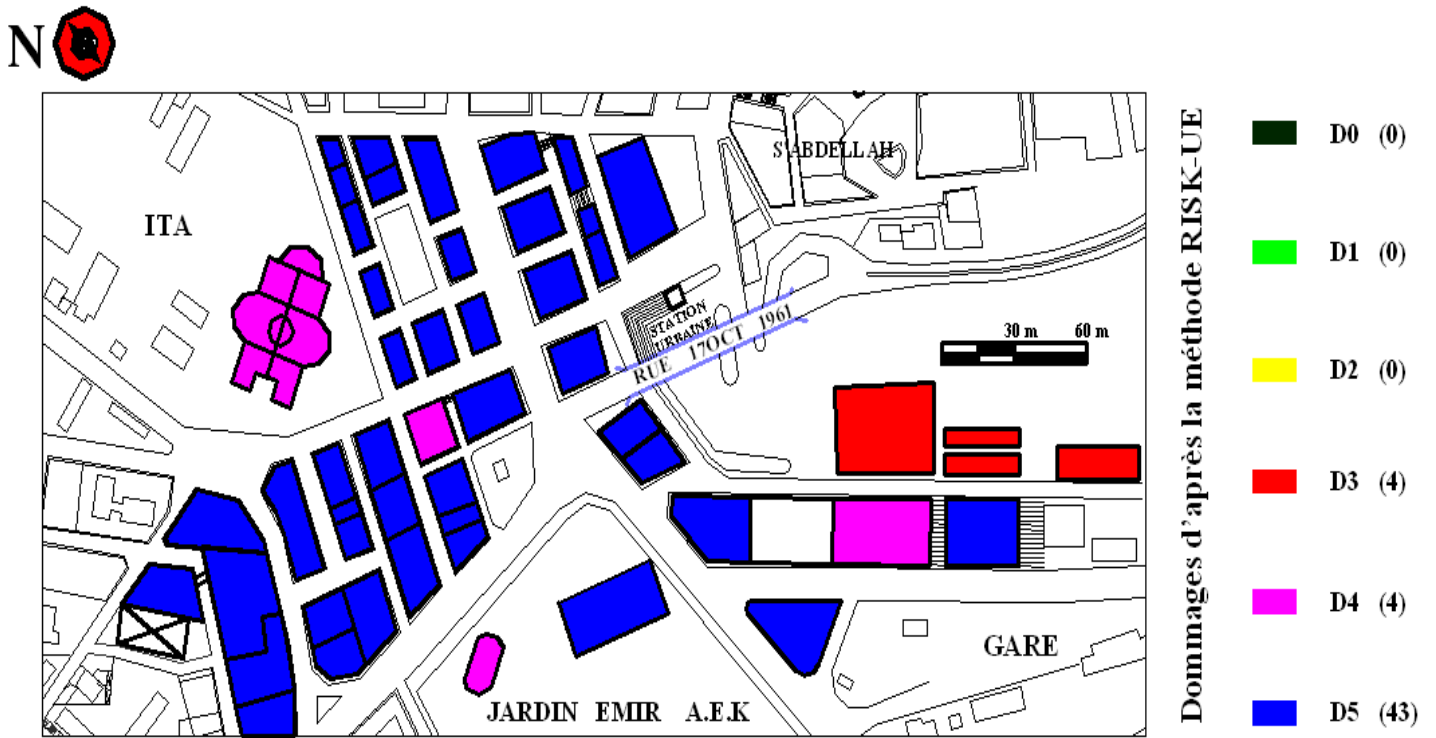


Figure.3.59- Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=12

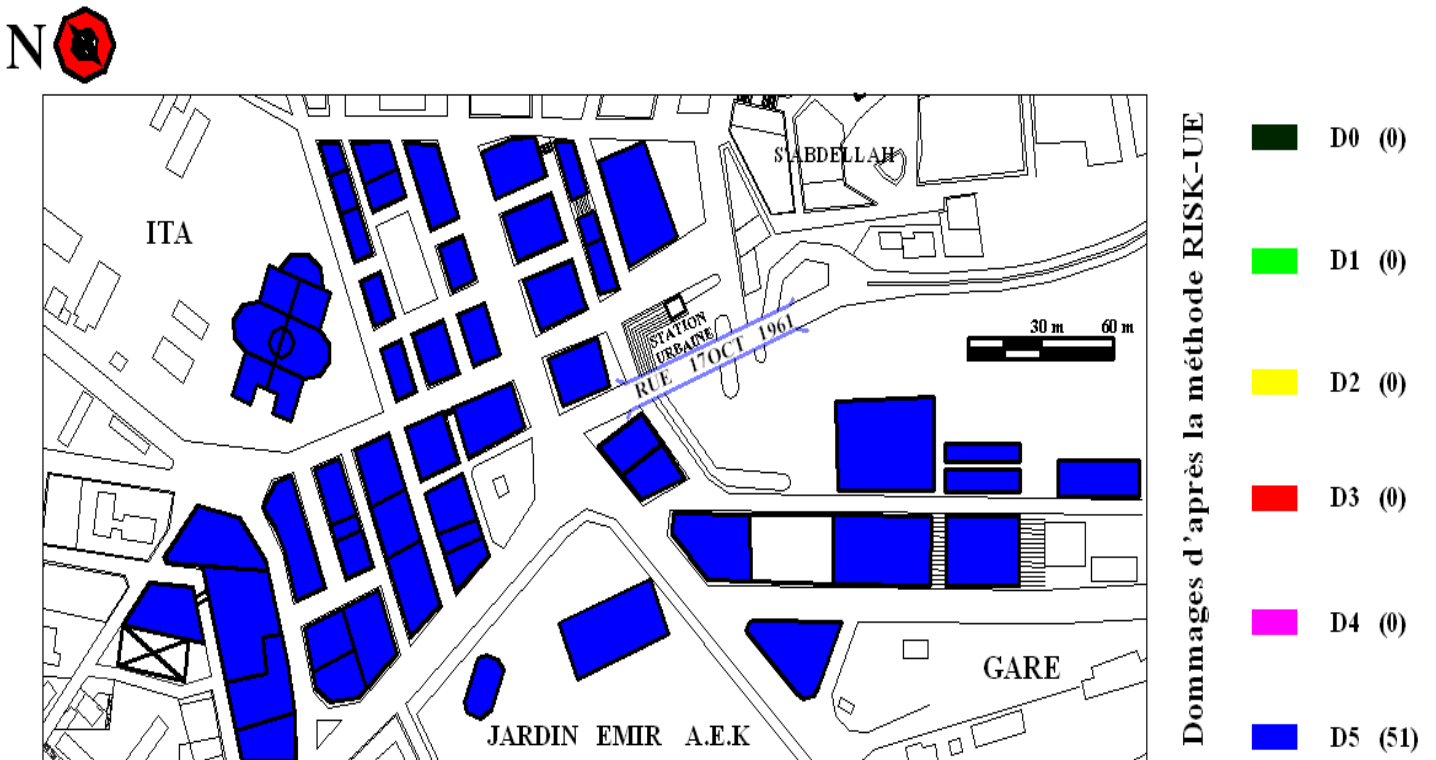
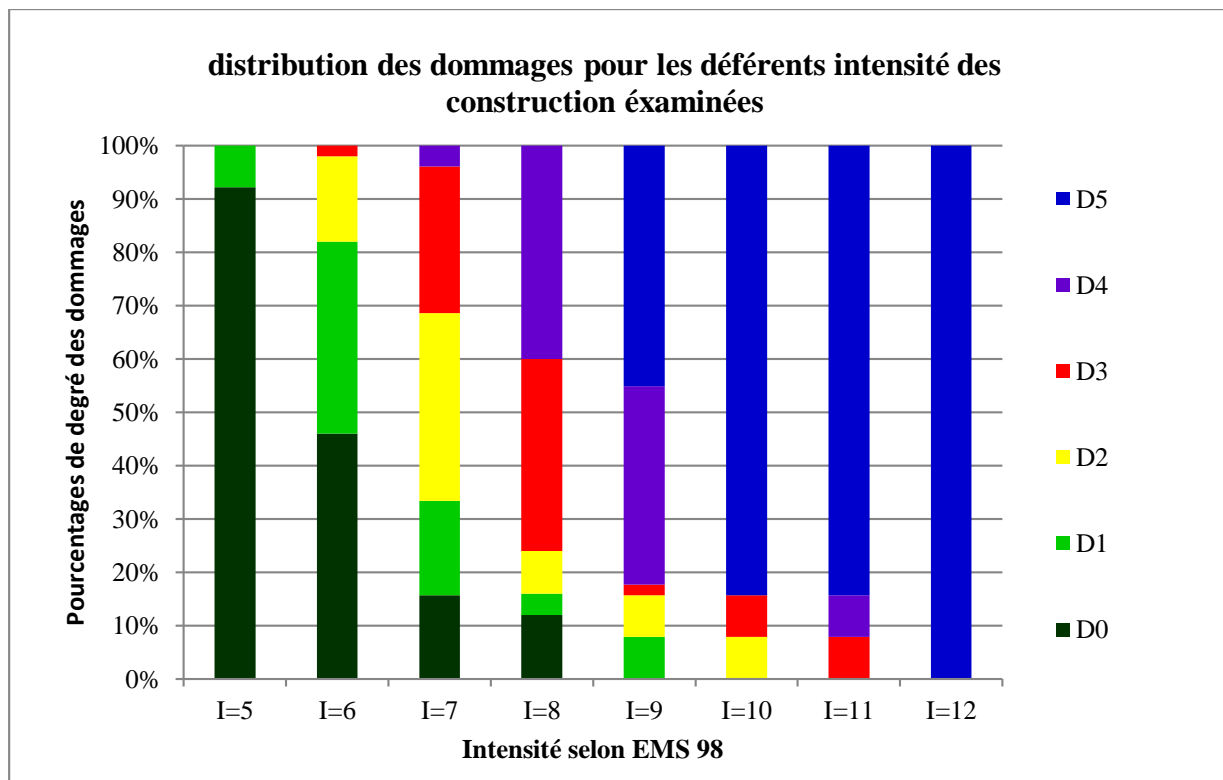


Figure.3.60- Synthèse des scénarios des déferents dommages globaux selon EMS 98 de déferentes intensités



7 Exemples de scénarios sismique de certains cas de bâtiments

7.1 Scénarios sismique des dommages pour la structure 14

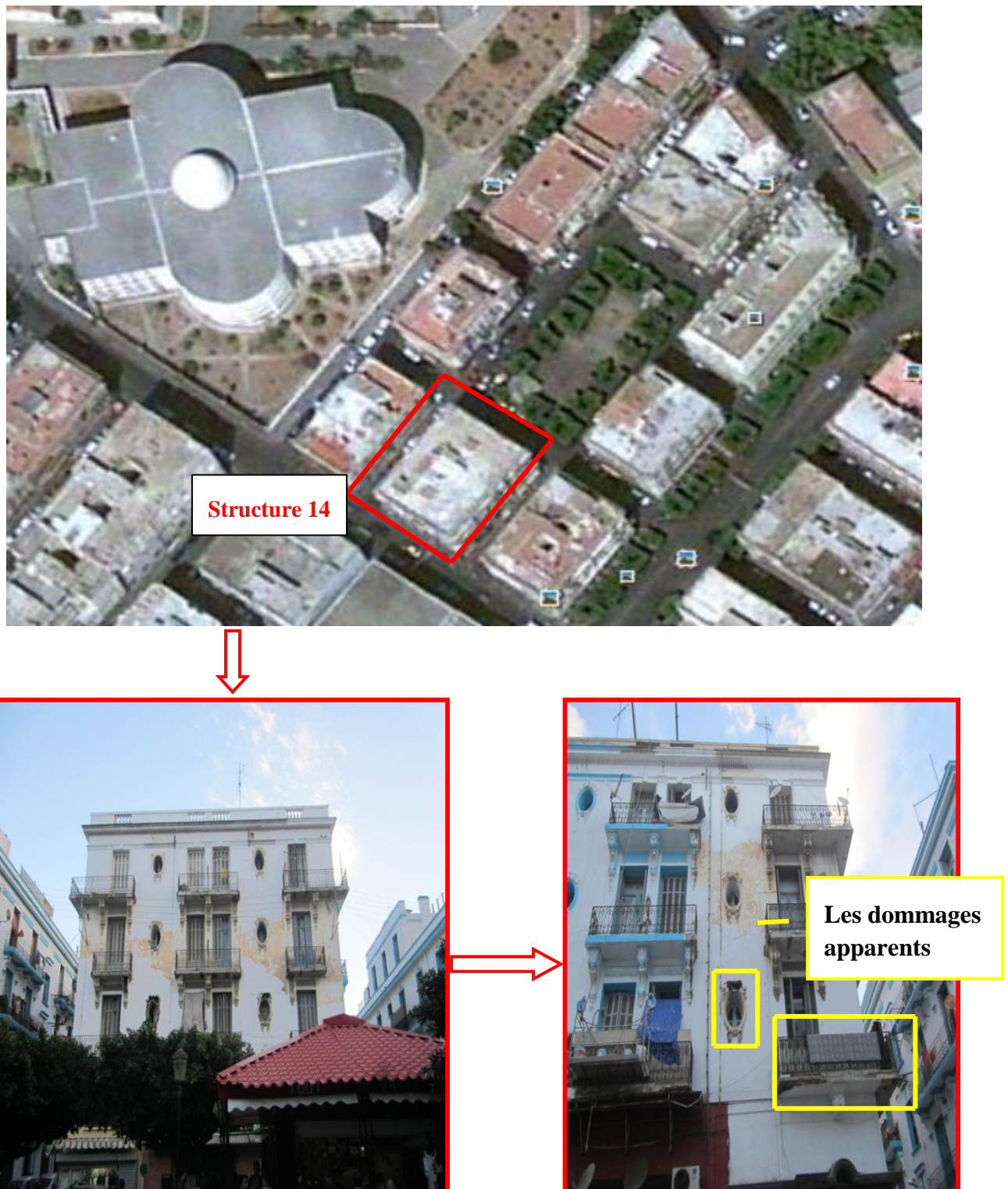


Figure.3.61- localisation et de détection des Dommages pour la structure 14

La structure 14 a été construite pendant la période coloniale française, localisé dans la municipalité de Mostaganem (centre ville). Le matériau de construction est en maçonnerie. La situation d'entretien de cette construction peut être classée comme très mauvaise, en particulier pour le renforcement de cet immeuble où l'on peut enregistrer un dommage très intenses, comme indiqué dans figure.39. Pour cette structure, on a constaté des dommages préliminaire dès premier enquête de diagnostique : fissures, l'apparence des bars D'IFE dans les balcons des plancher et le mortier des murs devient fragile... qui peuvent être dangereux pour la sécurité des structures en cas de tremblement de terre de l'avenir.

| Damage grade | Structure 14 (Vi=1.12) | | | | | | | |
|--------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| | I=5 | I=6 | I=7 | I=8 | I=9 | I=10 | I=11 | I=12 |
| D0 | 17,890 | 2,185 | 0,105 | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0 |
| D1 | 39,479 | 17,411 | 2,853 | 0,221 | 0,016 | 0,002 | 0,000 | 0 |
| D2 | 29,143 | 33,760 | 14,242 | 2,495 | 0,316 | 0,046 | 0,006 | 0 |
| D3 | 6,256 | 31,403 | 31,864 | 12,149 | 2,621 | 0,515 | 0,078 | 0 |
| D4 | 1,994 | 13,827 | 37,204 | 34,911 | 14,263 | 3,988 | 0,718 | 0 |
| D5 | 0,061 | 1,414 | 13,732 | 50,222 | 82,784 | 95,449 | 99,197 | 100 |

Tableau.3.11-Distribution des dommages pour le renforcement de la structure 14

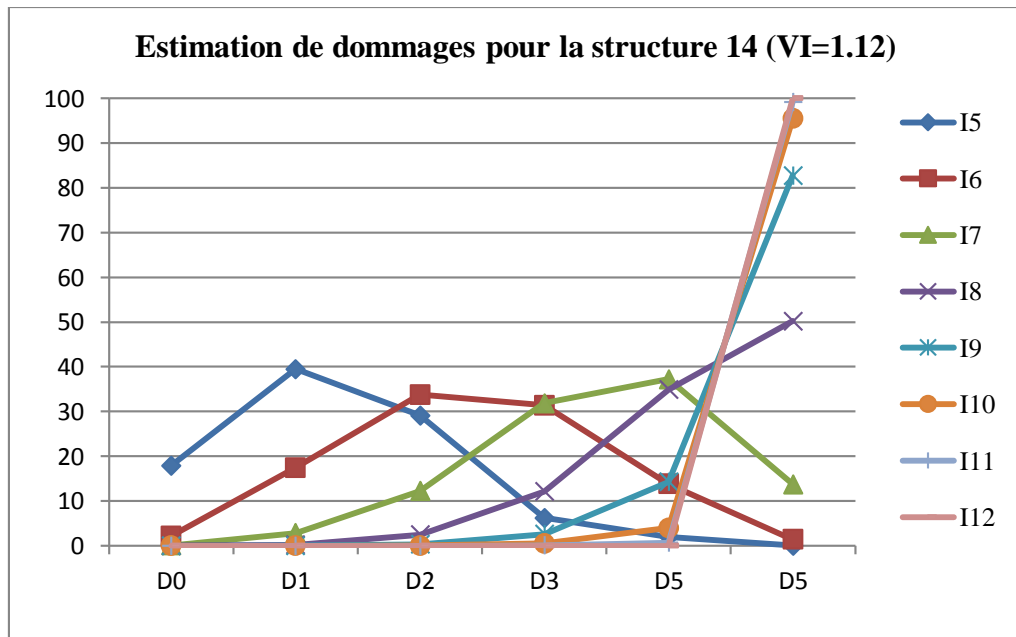


Figure.3.62 scénarios des dommages pour le renforcement de la structure 14

A partir de ces résultats, nous pouvons conclure que le bâtiment « structure 14 » présente les dommages suivants:

- Des dégâts modérés (grade 1 dommages – D1) estimer à **39,479 %** pour l'intensité sismique I = 5
- Des dégâts modérés (grade 2 dommages – D2) estimer à **33,760 %** pour l'intensité sismique I = 6
- Des dégâts modérés (grade 4 dommages – D4) estimer à **37,204 %** pour l'intensité sismique I = 7
- Des dégâts lourds (grade 5 dommages – D5) estimer à **50,222 %** pour l'intensité sismique I = 8
- Destruction ou détruire (grade 5 dommages - D5) estimer à **82,784%, 95,449%, 99,197%, 100%** à partir des intensités sismiques I = 9, I=10, I=11, I=12,

7.2 Scénarios sismique des dommages pour la structure 7

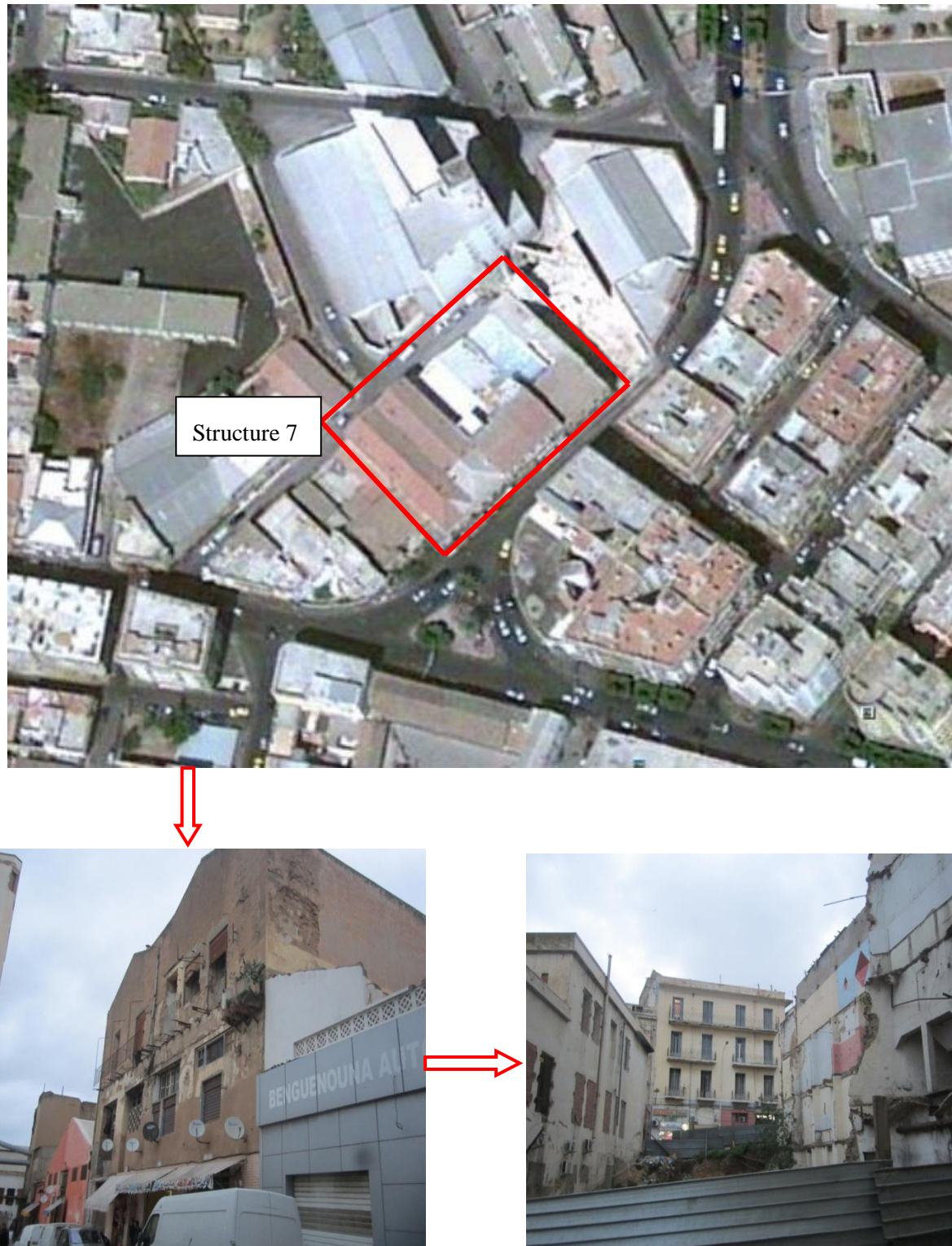


Figure.3.63 localisation et de détection des Dommages pour la structure 7

La structure 7 se trouve dans une zone d'activité commerciale « cette structure à usage commercial », l'état d'entretien de cette immeuble est considéré comme très mauvaise, le système porteur de

7. exemple de scénarios sismique de certains cas de bâtiments

ce bâtiment étant structure mixte (charpente métallique + remplissage en maçonnerie) on a constaté des dommages considérable dès première enquête comme fissures l'apparence des IPE sur les balcons dégradation des murs, la corrosion des fermes et les toitures ...qui peut influencé sur la stabilité de la structure.

| Damage grade | Structure 7 (Vi=0.968) | | | | | | | |
|--------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | I=5 | I=6 | I=7 | I=8 | I=9 | I=10 | I=11 | I=12 |
| D0 | 49,323 | 13,895 | 1,468 | 0,062 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| D1 | 35,327 | 37,318 | 14,111 | 2,013 | 0,147 | 0,011 | 0,001 | 0,000 |
| D2 | 12,507 | 31,758 | 31,627 | 11,500 | 1,837 | 0,234 | 0,035 | 0,004 |
| D3 | 2,606 | 14,115 | 33,590 | 29,218 | 9,861 | 2,053 | 0,402 | 0,051 |
| D4 | 0,234 | 2,811 | 17,095 | 39,432 | 31,807 | 11,974 | 3,222 | 0,480 |
| D5 | 0,003 | 0,103 | 2,109 | 17,774 | 56,347 | 85,729 | 96,340 | 99,465 |

Tableau.3.12-Distribution des dommages pour le renforcement de la structure 14

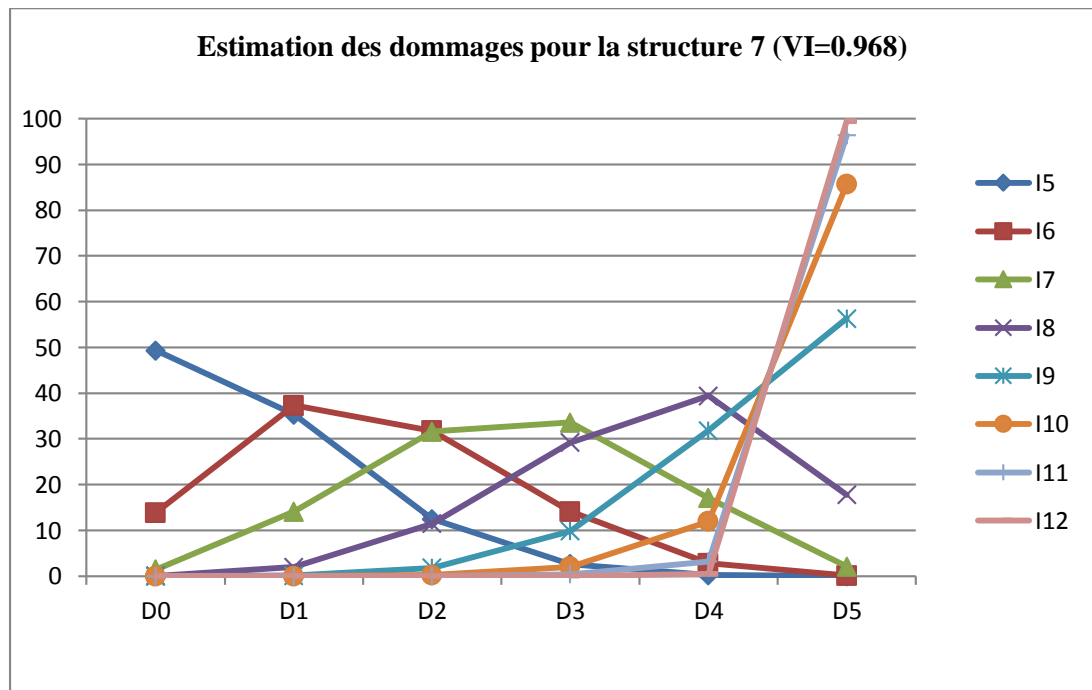


Figure.3.64 scénarios des dommages pour le renforcement de la structure 7

A partir de ces résultats, nous pouvons conclure que le bâtiment « structure 7 » interne les dommages suivants:

- Des dégâts modérés (grade 1 dommages – D0) estimer à **49.323 %** pour l'intensité sismique I = 5

7. exemple de scénarios sismique de certains cas de bâtiments

- Des dégâts modérés (grade 2 dommages – D1) estimer à **37.318 %** pour l'intensité sismique I = 6
- Des dégâts modérés (grade 2 dommages – D2) estimer à **33.59 %** pour l'intensité sismique I = 7
- Des dégâts grave (grade 4 dommages – D4) estimer à **39.432 %** pour l'intensité sismique I = 8
- Destruction totale (grade 5 dommages - D5) estimer à **56.347 %, 85.729 %, 96.34 %, 96.465 %** à partir des intensités sismiques I = 9, I=10, I=11, I=12

Conclusion

L'objectif principal de cette recherche était d'évaluer la vulnérabilité sismique de l'ensemble des 51 constructions de différentes typologies de la ville de Mostaganem, construites avant et après 1980 et de proposer une méthode d'évaluation globale afin de classer les constructions selon les degrés des dommages EMS-98.

Nous avons débuté la recherche avec une revue de l'information disponible sur le nord de l'Algérie quant au risque sismique qui y est associé et des dommages enregistrés. De cette première étape d'analyse, il résulte que :

- la majorité des constructions endommagées sont concentrées autour des régions épacentrales caractérisées par des secousses de haute fréquence;
- les dommages enregistrés affectent en premier lieu des parties de l'édifice qu'on peut les classer selon EMS-98 par des degrés des dommages (D0.D1.D2.D3.D4.D5)
- bien que limitée à quelques cas, l'observation de ces dommages, à l'échelle de la province, présente de nombreuses analogies avec le comportement des constructions européennes (RISK-UE), notamment la présence de dommages localisés par rupture hors-plan ou dans le plan.

Au chapitre 2, l'analyse des différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique des constructions a fait ressortir de nombreux points communs :

- description le principe de chaque méthode, le mode de l'évaluation des dommages sismique et la détermination de la vulnérabilité des bâtiments.
- la comparaison de différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique des constructions nous a permis de retenir une méthode RISK-UE qui a une validation scientifique élevée par rapport à d'autres méthodes.
- la méthode RISK-UE a pour but de classer les dommages des constructions selon EMS-98 par l'utilisation de la distribution BETA qui contient des paramètres liées à la vulnérabilité des constructions et l'intensité sismique.

Au chapitre 3, nous avons procédé à l'application de la méthode RISK-UE sur les 51 constructions afin de savoir l'endommagement de chaque structures (a quelle degrés de dommages on peut affecter ces structures) due a des déférentes intensités par la suivie des démarches suivants :

- présentation les caractéristiques générale du site d'étude (nombre des constructions, leurs usage, leurs distribution dans le site, leurs typologies)
- un indice de vulnérabilité IV_i de chaque structure a été élaboré selon un formulaire de diagnostique afin de permettre d'introduire le coefficient de dommage moyens μ_D qui est en fonction de l'indice de vulnérabilité et l'intensité sismique
- La distribution des dommages est calculée en utilisant une distribution bêta qui contient des facteurs en relation avec elles par exemple :

$$r=f(\mu_D), P(\beta)_{x=f(r, x)}$$

- une présentation de ces résultats sous forme graphique et cartographie pour permettre la lecture les conséquences des scénarios graphiquement et cartographique ment.

Dans l'ensemble, l'étude reste encore conservatrice car on a évalué l'endommagement de chaque structure c'est pour cette raison qu'on a montré à quelle intenté une structure peut effondrer.

Toutefois, les résultats peuvent, à court terme, être utilisés par les gestionnaires des construction patrimoniale quant au type d'interventions à mener pour conforter les bâtiments et identifier ceux à prioriser en fonction de l'aléa sismique local.

Bibliographie

- D'Ayala, D., et E. Speranza. 2003. « Definition of collapse mechanisms and seismic vulnerability of historic masonry buildings ». *Earthquake Spectra*, vol. 19, no 3 (Aug), p. 479-509.
- D'Ayala, D., et E. Speranza. 2002. « An integrated procedure for the assessment of seismic vulnerability of historic buildings ». In *12th European conference on earthquake engineering (Londres, 9-13 septembre 2002)*. Vol. 3, p. 3-3. Elsevier Science Ltd.
- FEMA. 1988. *Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: a handbook*. Rapport FEMA-154. Washington D.C.: Building Seismic Safety Council, Federal Emergency Management Agency.
- GNDT. 1994. *Rilevamento della vulnerabilità sismica degli edifici - Istruzioni per la compilazione della scheda di 2° livello : Muratura*. Roma: Groupe national de défense contre les tremblements de terre.
- Lagomarsino, S. 1998. « Sicurezza e conservazione delle chiese in zona sismica ». En ligne Groupe national de défense contre les tremblements de terre.
- Lang, K. 2002. « Seismic vulnerability of existing buildings ». Thèse Dr.sc.techn. en ligne, Switzerland, Eidgenössische Technische Hochschule Zuerich (Switzerland), 189 p. In Proquest.
- Lefebvre, K. 2004. « Caractérisation structurale et évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments historiques en maçonnerie du Vieux-Montréal ». Mémoire de maîtrise, Canada, École de technologie supérieure (Canada), 208 p. In Proquest.
- Lestuzzi, P., et M. Badoux. 2008. *Conception et dimensionnement des bâtiments*. Lausanne, Suisse: Presses polytechniques et universitaires, 346 p
- Davidovici V. (1999), *La construction en zone sismique*, Le moniteur US Army Corps of Enginneers (2005), *Seismic review procedures for existing military buildings*.
- Federal Emergency Management Agency (2002), *Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards*.
- AFPS (2005), *Vulnérabilité sismique du bâti existant : approche d'ensemble*, Cahier technique n°25.
- Bachmann H. (2002), *Conception parasismique des bâtiments principes de bases*, Ed office fédéral des eaux et de la géologie.

- AFPS (2003). Guide de la conception parasismique des bâtiments. Eyrolles. 159 p.
- AFPS (2002). Premières recommandations en vue de l'évaluation de la présomption de vulnérabilité du bâti existant. Cahier technique n° 24. 137 p.
- AFPS (2005). Vulnérabilité sismique du bâti existant : Approche d'ensemble. Cahier technique n° 25, 121 p
- ATC 21 (1988). Rapid Visual Screening of building for Potential Seismic Hazards: a Handbook. Applied Technology Council, FEMA-145, Redwood City, California.
- AUFFRET Chloé (2006). Analyse critique de méthodes de diagnostic qualitatif de vulnérabilité aux séismes de bâtiments. Travail de fin d'étude. ENTPE.
- BETBEDER-MATIBET Jacques (2003). Prévention parasismique. Génie parasismique. Volume 3. Mai 2003. Hermes Science publications. 333-351 p.
- BSSC (2002a). Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards : a handbook (Report N°FEMA-154, 2nd edition). Buildings Seismic Safety Council, Washington D.C.
- Lungu D., Aldea A., Arion A., Vacareanu R., Petrescu F., Cornea T. (2001). WP1 Report European distinctive features, inventory database and typology. Risk-UE Project: an advanced approach to earthquake risk scenarios with applications. <http://www.risk-ue.net>.
- GERARD Thomas (2005). La prévention du risque sismique en France : une nécessaire prise en compte de la vulnérabilité du bâti existant. Rapport de stage de Master 2 : Institut de géographie alpine, 85 p.
- JBDPA (2001), Standard for seismic evaluation of existing reinforced concrete buildings / Guidelines for seismic retrofit of existing reinforced concrete buildings / Technical manual for seismic evaluation and seismic retrofit of existing reinforced concrete buildings, 1st english version, Japanese Building Disaster Prevention Association, Ministry of Construction, Tokyo, Japan.
- MEDD (2005). Programme national de prévention du risque sismique. 32 p.
- Milutinovic Z. V. and Trendafiloski G. S. (2003) WP4: Vulnerability of current buildings. Risk-UE.
- Bezzeghoud, M; Ayadi A., Sebaï A., Aït Messaoud A., Mokrane A., Benhallou H. (1996). Seismicity of Algeria between 1365 and 1989: Map of Maximum Observed Intensities (MOI), Avances en Geofisica y Geodesia, I(1), Ministerio de Obras

Publicas, Transportes y Medio Ambiente, Instituto Geografico National Espagna, pp 107-114.

Askri H., Belmecheri A., Benrabah B., Boudjema A., Boumendjel K., Daoudi M., Drid M., Ghalem T., Docca A.M., Ghandriche A., Ghomari A., Guellati N., Khennous M., Lounici R., Naili H., Takherist D.,Terkmani M., « Géologie de l'Algérie ». Ayadi A., Ousadou-Ayadi F., Bourouis S., Benhallou H. (2002). Seismotectonics and seismic quietness of the Oranie region (Western Algeria): The Mascara earthquake of August 18th 1994, Mw=5.7,Ms=6.0. *J. Seismology*, 6, 13-23.

Boudiaf A., Philip H (1996). Tectonique active et risque sismique dans le bassin de la Soummam, Kabylie, Algérie. 1er colloque National de Génie Parasismique, Alger, 4-6 Juin.

Kieken M., 1962. Esquisse tectonique de l'Algérie. Service de la carte géologique de l'Algérie.

Annexe 1: Sigles utilisés

| | |
|----------------|---|
| GNDT | Groupe national de défense contre les tremblements de terre. |
| DUC | Direction de l'urbanisme et de la construction |
| RPA | Règlement parasismique algérien |
| R+1 | Rérez-de chaussée et premier étage |
| SIG | Système d'information géographique |
| CTC | Contrôle technique des constructions |
| RISK-UE | Advanced approach to earthquake risk scenario with applications to different European towns |
| PGA | Peak Ground Acceleration (accélération maximale au sol), g |
| HAZUS | Hazards U.S. |
| IRC | Institut de recherche en construction du CNRC |
| FEMA | Federal Emergency Management Agency |
| Ha | Hectare |
| EMS-98 | Échelle macroscopique européenne 1998 |
| DPM | Matrice de dommages probables |
| ATC | Applied Technology Council |
| NE-SO | Nord-est – Sud-ouest |
| CGS | Centre de Recherche en Génie Parasismique |
| CRAAG | Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique |
| AFPS | Association française de génie parasismique |
| DLEP | direction des logements et des équipements publics |
| NEIC | national earthquake information centre |

Annexe 2: Symbole utilisé

| | |
|---|---|
| Ivi, Vi | indice de vulnérabilité |
| Ki | coefficient de pénalité |
| I | intensité macrosismique |
| Dk | degrés des dommages |
| IPS | indice de priorité sismique |
| BSH | basic structurel hasard |
| SM | facteur de modification |
| NBS | new building standard |
| PAR | performance assesement ratio |
| E0 | indice structurel de base |
| SD | indice d'irrégularité du bâtiment |
| T | indice de visuellement |
| IS | indice de performance sismique |
| Z | caractérise le niveau de l'aléa selon la localisation du bâtiment |
| G | paramètre de sol |
| U | l'usage de bâtiment |
| D | dommages moyens |
| V-, V+, Vmin, Vmax | Limites d'indice de vulnérabilité |
| $\Delta Vf, \Delta Vr, \Delta Vm$ | Paramètres variables de vulnérabilité |
| Sa | Accélération spectrale, m/s ² |
| Sa(T) | Accélération spectrale de réponse pour une période T, g ou m/s ² |
| T | Période du bâtiment, s |
| Ta | Période naturelle du bâtiment, s |
| V | Indice de vulnérabilité |

Annexe 3 : Méthodologie de BASILI

MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE BASÉE SUR LE CADRE DE BASILI :

| 1. Définition | | | |
|---|---|--|---|
| Motivation | Objet | But | Utilisateurs |
| Fournir l'information sur la capacité des structures des constructions de la ville de Mostaganem à résister aux forces sismiques. | Structures construites avant et après 1980 (on a pris le séisme de Chéelif comme référence) | <ul style="list-style-type: none"> - Classer les constructions selon leur mode de construction (structures et architecture) - Identifier les éléments structuraux influençant la vulnérabilité sismique - des structures et définir les modes de rupture principaux - Proposer une méthode d'évaluation rapide de la vulnérabilité sismique des constructions adaptées au contexte mostaganémois | <p>Gestionnaires communaux</p> <p>Gestionnaires de biens patrimoniaux</p> |
| 2. Planification | | | |
| Étapes du projet | Intrants du projet | Livrables du projet | |
| Contexte théorique | Revue de la documentation scientifique sur les séismes et sur la protection de biens culturels et | <p>Livrables intermédiaires</p> <ul style="list-style-type: none"> - Notions de base sur la vulnérabilité sismique des structures - Données sur la zone d'étude - Lexique des mots clés | |
| | Revue de la documentation sur le comportement des structures au séisme | <ul style="list-style-type: none"> - Résumé des méthodes générales d'évaluation de la vulnérabilité sismique des structures - Comparaison des méthodes, avantages et inconvénients - Identification des paramètres de base de l'analyse du comportement - Résumés d'études de cas | |
| | - Revue de la documentation sur le patrimoine de la ville de Mostaganem : rapports d'experts, approche retenue à l'échelle internationale | <ul style="list-style-type: none"> - Typologie des structures de la ville de Mostaganem et choix des sites de l'étude - Classification en fonction de paramètres à déterminer (année de construction, architecture, etc.) - Fiches signalétiques des structures retenues - Cartographie | |

| | | |
|---|--|---|
| | Rencontres avec des personnes ressources dans le domaine de la protection du patrimoine: | - État des lieux sur la protection du patrimoine - Liste définitive des bâtiments de l'étude |
| 2. Planification | | |
| Étapes du projet | Intrants du projet | Livrables du projet |
| | | - Méthodologie de visite (détermination des paramètres, type de mesure, etc.) - Fiche de relevé de bâtiment |
| -Analyse descriptive de l'échantillon | - Visites de sites - Fiches signalétiques des bâtiments - Plans - Autres documents pertinents | - Fiche signalétique mise à jour |
| -Étude de cas (évaluation de la vulnérabilité sismique de bâtiments-types) | - Logiciel (SAP2000, Non linéaire) (pour connaître le système structurel) - Plans | - Identification des modes de rupture et des éléments structuraux contrôlant la vulnérabilité sismique des églises sélectionnées - Description du comportement des bâtiments - Courbes de capacité (courbes de fragilité) |
| -Application de la méthode à l'ensemble des structures | - Revue des méthodes générales d'évaluation de la vulnérabilité sismique d'ensemble de bâtiments - Comparaison des méthodes, avantages et inconvénients - Identification des paramètres de base de l'analyse du comportement | - Analyse des réponses de bâtiments similaires (année de construction, type de bâtiments...) aux séismes afin de valider le comportement des bâtiments - Courbes de fragilité des bâtiments |
| Analyse des résultats | - Cas concrets utilisant la méthode retenue | <i>Livrables finaux</i> - Conclusions de la recherche - Justification de la généralisation de la méthode. |
| 3. Réalisation | | |
| Préparation | Exécution | Analyse des données |
| - Revue de littérature - Identification de personnes-ressources | -Collecte de données - Visite des lieux - Validation des données - Révision par des experts | - Analyse préliminaire des données - Analyse formelle des données - Utilisation de logiciels d'analyse structurale (SAP2000, Non linéaire. ETABS.8.4.8...) |
| 4. Interprétation | | |
| Contexte d'interprétation | Extrapolation | Travaux subséquents |
| - Analyse de la méthode - Conformité de la méthode par rapport aux normes Algérienne (évaluation | - Représentativité de l'échantillon - Analyse statistique | - Identification des pistes de recherche à Poursuivre |

| | | |
|---|--|--|
| sismique bâtiment en maçonnerie) - Conformité de la méthode par rapport aux objectifs de l'étude | | |
|---|--|--|

| 3. Réalisation | | |
|--|--|--|
| Préparation | Exécution | Analyse des données |
| - Revue de littérature - Identification de personnes-ressources | -Collecte de données - Visite des lieux - Validation des données - Révision par des experts | - Analyse préliminaire des données - Analyse formelle des données - Utilisation de logiciels d'analyse structurale (SAP2000, Non linéaire. ETABS.8.4.8...) |
| 4. Interprétation | | |
| Contexte d'interprétation | Extrapolation | Travaux subséquents |
| - Analyse de la méthode - Conformité de la méthode par rapport aux normes canadiennes (évaluation sismique bâtiment en maçonnerie) - Conformité de la méthode par rapport aux objectifs de l'étude | - Représentativité de l'échantillon - Analyse statistique | - Identification des pistes de recherche à Poursuivre |

Annexe 4 : Valeur de la vulnérabilité

VALEUR DE LA VULNERABILITE DES CONSTRUCTIONS INTERROGENT

Tableau 1.A -les valeurs de la vulnérabilité pour les constructions en maçonnerie.

| 0 | Indice de vulnérabilité | structures | Indice de vulnérabilité |
|--------------|-------------------------|------------------|-------------------------|
| structure 1 | 0,916 | structure 21 | 1,024 |
| structure 2 | 0,816 | structure 22 | 0,924 |
| structure 3 | 0,836 | structure 23 | 1,02 |
| structure 4 | 1,004 | structure 24 | 0,94 |
| structure 5 | 0,864 | structure 25 | 0,944 |
| structure 6 | 0,916 | structure 26 | 0,984 |
| structure 7 | 0,984 | banque BNA | 0,762 |
| structure 8 | 0,964 | banque BADR | 1,06 |
| structure 9 | 0,884 | supérette 2 | 1,06 |
| structure 10 | 1,004 | mairie | 0,816 |
| structure 11 | 0,844 | sonal gaz | 1,02 |
| structure 12 | 1,14 | caisse régionale | 0,856 |
| structure 13 | 0,924 | locale 1 | 0,864 |
| structure 14 | 1,12 | locale 2 | 1 |
| structure 15 | 0,964 | la poste | 0,796 |
| structure 16 | 0,884 | DTP | 0,856 |
| structure 17 | 1,004 | Banque BEA | 0,816 |
| structure 18 | 0,944 | Hôtel | 0,876 |
| structure 19 | 1,024 | banque CPA | 0,856 |
| structure 20 | 1,024 | trésor | 0,976 |

Tableau 2.A -les valeurs de la vulnérabilité pour les constructions en béton armé.

| structures | Indice de vulnérabilité | structures | Indice de vulnérabilité |
|--------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| centre commerciale | 0,782 | Bibliothèque centrale | 0,584 |
| SAMPAC | 0,862 | Marché publique | 0,782 |
| supérette | 0,562 | Locale commercial | 0,542 |
| mairie annexe | 0,542 | locale 3 | 0,442 |

Tableau 3.A -les valeurs de la vulnérabilité pour les constructions en charpente métallique.

| structures | Indice de vulnérabilité | structures | Indice de vulnérabilité |
|------------|-------------------------|------------|-------------------------|
| locale 4 | 0,484 | locale 5 | 0,484 |
| locale 6 | 0,484 | | |



Figure 1-A -Image satellitaire pour la distribution des structures dans la zone d'étude.

Annexe 5 : Estimation des dommages moyens

ESTIMATION DES DOMMAGES MOYENS POUR LES CONSTRUCTIONS INTERROGENT

Formule :
$$\mu_D = 2.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6.25VI - 13.1}{2.3} \right) \right]$$

Tableau 4.A-Estimation des dommages moyens (μ_D) pour les constructions en maçonnerie (date <1980).

| Intensité Sismique Constructions | I ₅ | I ₆ | I ₇ | I ₈ | I ₉ | I ₁₀ | I ₁₁ | I ₁₂ |
|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| structure 1 | 0,563 | 1,161 | 2,096 | 3,163 | 4,021 | 4,537 | 4,795 | 4,912 |
| structure 2 | 0,343 | 0,747 | 1,477 | 2,500 | 3,523 | 4,253 | 4,657 | 4,850 |
| structure 3 | 0,379 | 0,819 | 1,592 | 2,636 | 3,634 | 4,319 | 4,690 | 4,865 |
| structure 4 | 0,849 | 1,640 | 2,690 | 3,677 | 4,345 | 4,703 | 4,871 | 4,945 |
| structure 5 | 0,436 | 0,928 | 1,762 | 2,824 | 3,780 | 4,404 | 4,732 | 4,884 |
| structure 6 | 0,563 | 1,161 | 2,096 | 3,163 | 4,021 | 4,537 | 4,795 | 4,912 |
| structure 7 | 0,775 | 1,522 | 2,554 | 3,568 | 4,280 | 4,671 | 4,857 | 4,939 |
| structure 8 | 0,707 | 1,410 | 2,419 | 3,455 | 4,210 | 4,636 | 4,841 | 4,932 |
| structure 9 | 0,481 | 1,013 | 1,888 | 2,957 | 3,877 | 4,459 | 4,758 | 4,896 |
| structure 10 | 0,849 | 1,640 | 2,690 | 3,677 | 4,345 | 4,703 | 4,871 | 4,945 |
| structure 11 | 0,395 | 0,849 | 1,640 | 2,690 | 3,677 | 4,345 | 4,703 | 4,871 |
| structure 12 | 1,499 | 2,527 | 3,546 | 4,267 | 4,664 | 4,853 | 4,938 | 4,974 |
| structure 13 | 0,585 | 1,200 | 2,149 | 3,213 | 4,055 | 4,555 | 4,803 | 4,916 |
| structure 14 | 1,388 | 2,391 | 3,431 | 4,196 | 4,628 | 4,837 | 4,930 | 4,971 |
| structure 15 | 0,707 | 1,410 | 2,419 | 3,455 | 4,210 | 4,636 | 4,841 | 4,932 |
| structure 16 | 0,481 | 1,013 | 1,888 | 2,957 | 3,877 | 4,459 | 4,758 | 4,896 |
| structure 17 | 0,849 | 1,640 | 2,690 | 3,677 | 4,345 | 4,703 | 4,871 | 4,945 |
| structure 18 | 0,643 | 1,302 | 2,283 | 3,336 | 4,136 | 4,597 | 4,823 | 4,924 |
| structure 19 | 0,928 | 1,762 | 2,824 | 3,780 | 4,404 | 4,732 | 4,884 | 4,951 |
| structure 20 | 0,928 | 1,762 | 2,824 | 3,780 | 4,404 | 4,732 | 4,884 | 4,951 |
| structure 21 | 0,928 | 1,762 | 2,824 | 3,780 | 4,404 | 4,732 | 4,884 | 4,951 |
| structure 22 | 0,585 | 1,200 | 2,149 | 3,213 | 4,055 | 4,555 | 4,803 | 4,916 |
| structure 23 | 0,912 | 1,737 | 2,797 | 3,759 | 4,392 | 4,726 | 4,881 | 4,950 |
| structure 24 | 0,631 | 1,282 | 2,256 | 3,312 | 4,120 | 4,589 | 4,819 | 4,923 |
| structure 25 | 0,643 | 1,302 | 2,283 | 3,336 | 4,136 | 4,597 | 4,823 | 4,924 |
| structure 26 | 0,775 | 1,522 | 2,554 | 3,568 | 4,280 | 4,671 | 4,857 | 4,939 |
| banque BNA | 0,260 | 0,579 | 1,191 | 2,136 | 3,201 | 4,047 | 4,551 | 4,801 |
| banque BADR | 1,086 | 1,991 | 3,061 | 3,951 | 4,499 | 4,777 | 4,904 | 4,959 |

| | | | | | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| supérette 2 | 1,086 | 1,991 | 3,061 | 3,951 | 4,499 | 4,777 | 4,904 | 4,959 |
| mairie | 0,343 | 0,747 | 1,477 | 2,500 | 3,523 | 4,253 | 4,657 | 4,850 |
| sonal gaz | 0,912 | 1,737 | 2,797 | 3,759 | 4,392 | 4,726 | 4,881 | 4,950 |
| caisse régionale | 0,419 | 0,896 | 1,712 | 2,771 | 3,739 | 4,381 | 4,720 | 4,879 |
| locale 1 | 0,436 | 0,928 | 1,762 | 2,824 | 3,780 | 4,404 | 4,732 | 4,884 |
| locale 2 | 0,834 | 1,616 | 2,663 | 3,655 | 4,332 | 4,696 | 4,868 | 4,944 |
| la poste | 0,310 | 0,681 | 1,366 | 2,364 | 3,408 | 4,181 | 4,621 | 4,834 |
| DTP | 0,419 | 0,896 | 1,712 | 2,771 | 3,739 | 4,381 | 4,720 | 4,879 |
| Banque BEA | 0,343 | 0,747 | 1,477 | 2,500 | 3,523 | 4,253 | 4,657 | 4,850 |
| Hôtel | 0,463 | 0,979 | 1,837 | 2,904 | 3,839 | 4,437 | 4,748 | 4,891 |
| banque CPA | 0,419 | 0,896 | 1,712 | 2,771 | 3,739 | 4,381 | 4,720 | 4,879 |
| trésor | 0,747 | 1,477 | 2,500 | 3,523 | 4,253 | 4,657 | 4,850 | 4,936 |

Tableau 5.A-Estimation des dommages moyens (μ_D) pour les constructions en béton armé (date <1980).

| Constructions \ Intensité Sismique | I ₅ | I ₆ | I ₇ | I ₈ | I ₉ | I ₁₀ | I ₁₁ | I ₁₂ |
|------------------------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | centre commerciale | 0,288 | 0,637 | 1,292 | 2,270 | 3,324 | 4,128 | 4,593 |
| SAMPAC | 0,432 | 0,920 | 1,749 | 2,811 | 3,770 | 4,398 | 4,729 | 4,883 |
| supérette | 0,091 | 0,212 | 0,477 | 1,005 | 1,875 | 2,944 | 3,868 | 4,453 |
| Marché publique | 0,288 | 0,637 | 1,292 | 2,270 | 3,324 | 4,128 | 4,593 | 4,821 |

Tableau 6.A-Estimation des dommages moyens (μ_D) pour les constructions en béton armé (date >1980).

| Constructions \ Intensité Sismique | I ₅ | I ₆ | I ₇ | I ₈ | I ₉ | I ₁₀ | I ₁₁ | I ₁₂ |
|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | mairie annexe | 0,082 | 0,191 | 0,432 | 0,920 | 1,749 | 2,811 | 3,770 |
| Bibliothèque centrale | 0,102 | 0,237 | 0,531 | 1,104 | 2,017 | 3,087 | 3,969 | 4,509 |
| Locale commercial | 0,082 | 0,191 | 0,432 | 0,920 | 1,749 | 2,811 | 3,770 | 4,398 |
| locale 3 | 0,048 | 0,112 | 0,260 | 0,579 | 1,191 | 2,136 | 3,201 | 4,047 |

Tableau.7.A-Estimation des dommages moyens (μ_D) pour les constructions en charpente métallique (date >1980).

| Constructions \ Intensité Sismique | I ₅ | I ₆ | I ₇ | I ₈ | I ₉ | I ₁₀ | I ₁₁ | I ₁₂ |
|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | locale 4 | 0,060 | 0,141 | 0,323 | 0,707 | 1,410 | 2,419 | 3,455 |
| locale 5 | 0,060 | 0,141 | 0,323 | 0,707 | 1,410 | 2,419 | 3,455 | 4,210 |
| locale 6 | 0,060 | 0,141 | 0,323 | 0,707 | 1,410 | 2,419 | 3,455 | 4,210 |

Annexe 6 : Estimation du paramètre (r)

ESTIMATION DU PARAMETRE (r) POUR LES CONSTRUCTIONS INTERROGENT

$$\text{Formule : } r = t(0.007(\mu D)^3 - 0.052(\mu D)^2 + 0.2875\mu D)$$

Tableau 8.A -Estimation du coefficient (r) pour les constructions en béton armé

(Date <1980).

| Intensité sismique Constructions | I ₅ | I ₆ | I ₇ | I ₈ | I ₉ | I ₁₀ | I ₁₁ | I ₁₂ |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| structure 1 | 1,172 | 2,198 | 3,509 | 4,885 | 6,163 | 7,102 | 7,638 | 7,897 |
| structure 2 | 0,742 | 1,510 | 2,670 | 4,025 | 5,389 | 6,565 | 7,345 | 7,759 |
| structure 3 | 0,816 | 1,635 | 2,834 | 4,198 | 5,552 | 6,686 | 7,414 | 7,792 |
| structure 4 | 1,687 | 2,900 | 4,267 | 5,616 | 6,733 | 7,440 | 7,805 | 7,973 |
| structure 5 | 0,929 | 1,822 | 3,067 | 4,439 | 5,774 | 6,844 | 7,501 | 7,834 |
| structure 6 | 1,172 | 2,198 | 3,509 | 4,885 | 6,163 | 7,102 | 7,638 | 7,897 |
| structure 7 | 1,559 | 2,735 | 4,094 | 5,454 | 6,614 | 7,373 | 7,773 | 7,958 |
| structure 8 | 1,437 | 2,573 | 3,922 | 5,290 | 6,489 | 7,301 | 7,737 | 7,943 |
| structure 9 | 1,017 | 1,962 | 3,236 | 4,611 | 5,928 | 6,949 | 7,558 | 7,860 |
| structure 10 | 1,687 | 2,900 | 4,267 | 5,616 | 6,733 | 7,440 | 7,805 | 7,973 |
| structure 11 | 0,847 | 1,687 | 2,900 | 4,267 | 5,616 | 6,733 | 7,440 | 7,805 |
| structure 12 | 2,702 | 4,060 | 5,422 | 6,590 | 7,359 | 7,766 | 7,955 | 8,039 |
| structure 13 | 1,214 | 2,258 | 3,577 | 4,953 | 6,220 | 7,138 | 7,656 | 7,906 |
| structure 14 | 2,541 | 3,887 | 5,256 | 6,463 | 7,286 | 7,730 | 7,939 | 8,032 |
| structure 15 | 1,437 | 2,573 | 3,922 | 5,290 | 6,489 | 7,301 | 7,737 | 7,943 |
| structure 16 | 1,017 | 1,962 | 3,236 | 4,611 | 5,928 | 6,949 | 7,558 | 7,860 |
| structure 17 | 1,687 | 2,900 | 4,267 | 5,616 | 6,733 | 7,440 | 7,805 | 7,973 |
| structure 18 | 1,322 | 2,414 | 3,749 | 5,122 | 6,358 | 7,223 | 7,699 | 7,925 |
| structure 19 | 1,822 | 3,067 | 4,439 | 5,774 | 6,844 | 7,501 | 7,834 | 7,986 |
| structure 20 | 1,822 | 3,067 | 4,439 | 5,774 | 6,844 | 7,501 | 7,834 | 7,986 |
| structure 21 | 1,822 | 3,067 | 4,439 | 5,774 | 6,844 | 7,501 | 7,834 | 7,986 |
| structure 22 | 1,214 | 2,258 | 3,577 | 4,953 | 6,220 | 7,138 | 7,656 | 7,906 |
| structure 23 | 1,794 | 3,034 | 4,405 | 5,743 | 6,822 | 7,490 | 7,828 | 7,983 |
| structure 24 | 1,300 | 2,382 | 3,715 | 5,089 | 6,331 | 7,206 | 7,690 | 7,921 |
| structure 25 | 1,322 | 2,414 | 3,749 | 5,122 | 6,358 | 7,223 | 7,699 | 7,925 |
| structure 26 | 1,559 | 2,735 | 4,094 | 5,454 | 6,614 | 7,373 | 7,773 | 7,958 |
| banque BNA | 0,571 | 1,203 | 2,243 | 3,560 | 4,936 | 6,206 | 7,129 | 7,651 |
| banque BADR | 2,078 | 3,372 | 4,749 | 6,047 | 7,028 | 7,599 | 7,879 | 8,006 |
| supérette 2 | 2,078 | 3,372 | 4,749 | 6,047 | 7,028 | 7,599 | 7,879 | 8,006 |
| mairie | 0,742 | 1,510 | 2,670 | 4,025 | 5,389 | 6,565 | 7,345 | 7,759 |

| | | | | | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| sonal gaz | 1,794 | 3,034 | 4,405 | 5,743 | 6,822 | 7,490 | 7,828 | 7,983 |
| caisse régionale | 0,895 | 1,767 | 3,000 | 4,370 | 5,711 | 6,800 | 7,478 | 7,823 |
| locale 1 | 0,929 | 1,822 | 3,067 | 4,439 | 5,774 | 6,844 | 7,501 | 7,834 |
| locale 2 | 1,661 | 2,867 | 4,232 | 5,584 | 6,709 | 7,427 | 7,799 | 7,970 |
| la poste | 0,674 | 1,390 | 2,509 | 3,853 | 5,223 | 6,437 | 7,270 | 7,722 |
| DTP | 0,895 | 1,767 | 3,000 | 4,370 | 5,711 | 6,800 | 7,478 | 7,823 |
| Banque BEA | 0,742 | 1,510 | 2,670 | 4,025 | 5,389 | 6,565 | 7,345 | 7,759 |
| Hôtel | 0,981 | 1,905 | 3,168 | 4,542 | 5,867 | 6,908 | 7,536 | 7,850 |
| banque CPA | 0,895 | 1,767 | 3,000 | 4,370 | 5,711 | 6,800 | 7,478 | 7,823 |
| trésor | 1,510 | 2,670 | 4,025 | 5,389 | 6,565 | 7,345 | 7,759 | 7,952 |

Tableau .9.A-Estimation du coefficient (Γ) pour les constructions en béton armé

(Date <1980).

| Intensité sismique Constructions | I ₅ | I ₆ | I ₇ | I ₈ | I ₉ | I ₁₀ | I ₁₁ | I ₁₂ |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| centre commerciale | 0,630 | 1,311 | 2,398 | 3,732 | 5,106 | 6,344 | 7,214 | 7,694 |
| SAMPAC | 0,920 | 1,808 | 3,050 | 4,422 | 5,758 | 6,833 | 7,496 | 7,831 |
| supérette | 0,206 | 0,468 | 1,008 | 1,948 | 3,219 | 4,594 | 5,913 | 6,939 |
| Marché publique | 0,630 | 1,311 | 2,398 | 3,732 | 5,106 | 6,344 | 7,214 | 7,694 |

Tableau .10.A-Estimation du coefficient (Γ) pour les constructions en béton armé

(Date >1980).

| Intensité sismique Constructions | I ₅ | I ₆ | I ₇ | I ₈ | I ₉ | I ₁₀ | I ₁₁ | I ₁₂ |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| mairie annexe | 0,185 | 0,424 | 0,920 | 1,808 | 3,050 | 4,422 | 5,758 | 6,833 |
| Bibliothèque centrale | 0,231 | 0,523 | 1,112 | 2,108 | 3,406 | 4,783 | 6,077 | 7,047 |
| Locale commercial | 0,185 | 0,424 | 0,920 | 1,808 | 3,050 | 4,422 | 5,758 | 6,833 |
| locale 3 | 0,109 | 0,254 | 0,571 | 1,203 | 2,243 | 3,560 | 4,936 | 6,206 |

Tableau .11.A-Estimation du coefficient (Γ) pour les constructions en charpente métallique

(date >1980).

| Intensité sismique Constructions | I ₅ | I ₆ | I ₇ | I ₈ | I ₉ | I ₁₀ | I ₁₁ | I ₁₂ |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| locale 4 | 0,136 | 0,315 | 0,701 | 1,437 | 2,573 | 3,922 | 5,290 | 6,489 |
| locale 5 | 0,136 | 0,315 | 0,701 | 1,437 | 2,573 | 3,922 | 5,290 | 6,489 |
| locale 6 | 0,136 | 0,315 | 0,701 | 1,437 | 2,573 | 3,922 | 5,290 | 6,489 |

Annexe 7 : Estimation de la distribution des dommages

ESTIMATION DE LA DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR LES CONSTRUCTIONS INTERROGENT

➤ Intensité = I₅

1- calcule la probabilité des dommages par la loi béta.

Formule :
$$P\beta(X) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(r) + \Gamma(t-r)} (x-a)^{r-1} (b-x)^{t-r-1}$$

$X=0, \dots, 6$

Tableau.12.A-Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en maçonnerie

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| structure 1 | 0,000 | 65,130 | 91,778 | 98,784 | 99,921 | 99,999 | 100,000 |
| structure 2 | 0,000 | 81,810 | 96,818 | 99,636 | 99,982 | 100,000 | 100,000 |
| structure 3 | 0,000 | 79,158 | 96,158 | 99,541 | 99,976 | 100,000 | 100,000 |
| structure 4 | 0,000 | 44,298 | 81,746 | 96,363 | 99,671 | 99,995 | 100,000 |
| structure 5 | 0,000 | 74,883 | 94,986 | 99,359 | 99,964 | 100,000 | 100,000 |
| structure 6 | 0,000 | 65,130 | 91,778 | 98,784 | 99,921 | 99,999 | 100,000 |
| structure 7 | 0,000 | 49,323 | 84,651 | 97,157 | 99,763 | 99,997 | 100,000 |
| structure 8 | 0,000 | 54,239 | 87,164 | 97,784 | 99,829 | 99,998 | 100,000 |
| structure 9 | 0,000 | 71,410 | 93,933 | 99,182 | 99,952 | 100,000 | 100,000 |
| structure 10 | 0,000 | 44,298 | 81,746 | 96,363 | 99,671 | 99,995 | 100,000 |
| structure 11 | 0,000 | 78,005 | 95,855 | 99,495 | 99,973 | 100,000 | 100,000 |
| structure 12 | 0,000 | 14,516 | 52,249 | 83,602 | 97,248 | 99,905 | 100,000 |
| structure 13 | 0,000 | 63,428 | 91,134 | 98,657 | 99,910 | 99,999 | 100,000 |
| structure 14 | 0,000 | 17,890 | 57,370 | 86,512 | 97,944 | 99,939 | 100,000 |
| structure 15 | 0,000 | 54,239 | 87,164 | 97,784 | 99,829 | 99,998 | 100,000 |
| structure 16 | 0,000 | 71,410 | 93,933 | 99,182 | 99,952 | 100,000 | 100,000 |
| structure 17 | 0,000 | 44,298 | 81,746 | 96,363 | 99,671 | 99,995 | 100,000 |
| structure 18 | 0,000 | 58,962 | 89,314 | 98,275 | 99,876 | 99,999 | 100,000 |
| structure 19 | 0,000 | 39,258 | 78,434 | 95,365 | 99,544 | 99,993 | 100,000 |
| structure 20 | 0,000 | 39,258 | 78,434 | 95,365 | 99,544 | 99,993 | 100,000 |
| structure 21 | 0,000 | 39,258 | 78,434 | 95,365 | 99,544 | 99,993 | 100,000 |
| structure 22 | 0,000 | 63,428 | 91,134 | 98,657 | 99,910 | 99,999 | 100,000 |

| | | | | | | | |
|------------------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| structure 23 | 0,000 | 40,263 | 79,129 | 95,582 | 99,573 | 99,993 | 100,000 |
| structure 24 | 0,000 | 59,878 | 89,703 | 98,359 | 99,884 | 99,999 | 100,000 |
| structure 25 | 0,000 | 58,962 | 89,314 | 98,275 | 99,876 | 99,999 | 100,000 |
| structure 26 | 0,000 | 49,323 | 84,651 | 97,157 | 99,763 | 99,997 | 100,000 |
| banque BNA | 0,000 | 87,482 | 98,064 | 99,801 | 99,991 | 100,000 | 100,000 |
| banque BADR | 0,000 | 30,469 | 71,453 | 92,929 | 99,186 | 99,984 | 100,000 |
| supérette 2 | 0,000 | 30,469 | 71,453 | 92,929 | 99,186 | 99,984 | 100,000 |
| mairie | 0,000 | 81,810 | 96,818 | 99,636 | 99,982 | 100,000 | 100,000 |
| sonal gaz | 0,000 | 40,263 | 79,129 | 95,582 | 99,573 | 99,993 | 100,000 |
| caisse régionale | 0,000 | 76,173 | 95,354 | 99,418 | 99,968 | 100,000 | 100,000 |
| locale 1 | 0,000 | 74,883 | 94,986 | 99,359 | 99,964 | 100,000 | 100,000 |
| locale 2 | 0,000 | 45,308 | 82,359 | 96,537 | 99,692 | 99,996 | 100,000 |
| la poste | 0,000 | 84,149 | 97,359 | 99,710 | 99,986 | 100,000 | 100,000 |
| DTP | 0,000 | 76,173 | 95,354 | 99,418 | 99,968 | 100,000 | 100,000 |
| Banque BEA | 0,000 | 81,810 | 96,818 | 99,636 | 99,982 | 100,000 | 100,000 |
| Hôtels | 0,000 | 72,841 | 94,379 | 99,258 | 99,957 | 100,000 | 100,000 |
| banque CPA | 0,000 | 76,173 | 95,354 | 99,418 | 99,968 | 100,000 | 100,000 |
| trésor | 0,000 | 51,308 | 85,702 | 97,426 | 99,792 | 99,997 | 100,000 |

Tableau.13.A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi bêta pour les constructions en béton armé (date <1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| centre commerciale | 0,000 | 85,614 | 97,678 | 99,752 | 99,989 | 100,000 | 100,000 |
| SAMPAC | 0,000 | 75,211 | 95,081 | 99,374 | 99,965 | 100,000 | 100,000 |
| supérette | 0,000 | 96,765 | 99,619 | 99,969 | 99,999 | 100,000 | 100,000 |
| Marché publique | 0,000 | 85,614 | 97,678 | 99,752 | 99,989 | 100,000 | 100,000 |

Tableau.14.A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi bêta pour les constructions en béton armé (date>1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------------------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| mairie annexe | 0,000 | 97,154 | 99,670 | 99,973 | 99,999 | 100,000 | 100,000 |
| Bibliothèque centrale | 0,000 | 96,268 | 99,552 | 99,963 | 99,999 | 100,000 | 100,000 |
| Locale commercial | 0,000 | 97,154 | 99,670 | 99,973 | 99,999 | 100,000 | 100,000 |
| locale 3 | 0,000 | 98,470 | 99,833 | 99,987 | 100,000 | 100,000 | 100,000 |







Tableau.15.A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en charpente métallique (date >1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| locale 4 | 0,000 | 98,022 | 99,779 | 99,983 | 99,999 | 100,000 | 100,000 |
| locale 5 | 0,000 | 98,022 | 99,779 | 99,983 | 99,999 | 100,000 | 100,000 |
| locale 6 | 0,000 | 98,022 | 99,779 | 99,983 | 99,999 | 100,000 | 100,000 |

2- calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k s'écrit sous la forme :

Formule :
$$P_k = P_{\beta}(k+1) - P_{\beta}(k)$$

Tableau.16.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en maçonnerie (date < 1980).

| Degré des dommages Constructions | D0  | D1  | D2  | D3  | D4  | D5  |
|-------------------------------------|---|---|---|--|---|---|
| structure 1 | 65,130 | 26,648 | 7,006 | 1,136 | 0,079 | 0,001 |
| structure 2 | 81,810 | 15,008 | 2,819 | 0,346 | 0,018 | 0,000 |
| structure 3 | 79,158 | 17,000 | 3,383 | 0,435 | 0,024 | 0,000 |
| structure 4 | 44,298 | 37,448 | 14,617 | 3,309 | 0,324 | 0,005 |
| structure 5 | 74,883 | 20,104 | 4,372 | 0,605 | 0,036 | 0,000 |
| structure 6 | 65,130 | 26,648 | 7,006 | 1,136 | 0,079 | 0,001 |
| structure 7 | 49,323 | 35,327 | 12,507 | 2,606 | 0,234 | 0,003 |
| structure 8 | 54,239 | 32,926 | 10,619 | 2,045 | 0,169 | 0,002 |
| structure 9 | 71,410 | 22,523 | 5,249 | 0,770 | 0,048 | 0,000 |
| structure 10 | 44,298 | 37,448 | 14,617 | 3,309 | 0,324 | 0,005 |
| structure 11 | 78,005 | 17,850 | 3,640 | 0,478 | 0,027 | 0,000 |
| structure 12 | 14,516 | 37,733 | 31,354 | 13,646 | 2,657 | 0,095 |
| structure 13 | 63,428 | 27,706 | 7,523 | 1,253 | 0,089 | 0,001 |
| structure 14 | 17,890 | 39,479 | 29,143 | 11,432 | 1,994 | 0,061 |
| structure 15 | 54,239 | 32,926 | 10,619 | 2,045 | 0,169 | 0,002 |
| structure 16 | 71,410 | 22,523 | 5,249 | 0,770 | 0,048 | 0,000 |
| structure 17 | 44,298 | 37,448 | 14,617 | 3,309 | 0,324 | 0,005 |
| structure 18 | 58,962 | 30,352 | 8,960 | 1,602 | 0,123 | 0,001 |
| structure 19 | 39,258 | 39,176 | 16,930 | 4,180 | 0,448 | 0,007 |
| structure 20 | 39,258 | 39,176 | 16,930 | 4,180 | 0,448 | 0,007 |

| | | | | | | |
|------------------|---------------|---------------|--------|-------|-------|-------|
| structure 21 | 39,258 | 39,176 | 16,930 | 4,180 | 0,448 | 0,007 |
| structure 22 | 63,428 | 27,706 | 7,523 | 1,253 | 0,089 | 0,001 |
| structure 23 | 40,263 | 38,867 | 16,453 | 3,991 | 0,420 | 0,007 |
| structure 24 | 59,878 | 29,826 | 8,655 | 1,525 | 0,115 | 0,001 |
| structure 25 | 58,962 | 30,352 | 8,960 | 1,602 | 0,123 | 0,001 |
| structure 26 | 49,323 | 35,327 | 12,507 | 2,606 | 0,234 | 0,003 |
| banque BNA | 87,482 | 10,582 | 1,737 | 0,191 | 0,009 | 0,000 |
| banque BADR | 30,469 | 40,983 | 21,477 | 6,256 | 0,798 | 0,016 |
| supérette 2 | 30,469 | 40,983 | 21,477 | 6,256 | 0,798 | 0,016 |
| mairie | 81,810 | 15,008 | 2,819 | 0,346 | 0,018 | 0,000 |
| sonal gaz | 40,263 | 38,867 | 16,453 | 3,991 | 0,420 | 0,007 |
| caisse régionale | 76,173 | 19,181 | 4,063 | 0,551 | 0,032 | 0,000 |
| locale 1 | 74,883 | 20,104 | 4,372 | 0,605 | 0,036 | 0,000 |
| locale 2 | 45,308 | 37,051 | 14,178 | 3,155 | 0,304 | 0,004 |
| la poste | 84,149 | 13,209 | 2,352 | 0,276 | 0,014 | 0,000 |
| DTP | 76,173 | 19,181 | 4,063 | 0,551 | 0,032 | 0,000 |
| Banque BEA | 81,810 | 15,008 | 2,819 | 0,346 | 0,018 | 0,000 |
| Hôtel | 72,841 | 21,537 | 4,880 | 0,699 | 0,043 | 0,000 |
| banque CPA | 76,173 | 19,181 | 4,063 | 0,551 | 0,032 | 0,000 |
| trésor | 51,308 | 34,394 | 11,724 | 2,366 | 0,206 | 0,003 |

Tableau.17.A - Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en béton armé (date<1980).







| Degré des dommages | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|--------------------|---|---|---|--|---|---|
| Constructions |  |  |  |  |  |  |
| centre commerciale | 85,614 | 12,064 | 2,074 | 0,236 | 0,011 | 0,000 |
| SAMPAC | 75,211 | 19,870 | 4,293 | 0,591 | 0,035 | 0,000 |
| supérette | 96,765 | 2,854 | 0,350 | 0,030 | 0,001 | 0,000 |
| Marché publique | 85,614 | 12,064 | 2,074 | 0,236 | 0,011 | 0,000 |

Tableau.18.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en béton armé (date>1980).













| Degré des dommages | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|-----------------------|---|---|---|---|---|---|
| Constructions |  |  |  |  |  |  |
| mairie annexe | 97,154 | 2,516 | 0,303 | 0,026 | 0,001 | 0,000 |
| Bibliothèque centrale | 96,268 | 3,284 | 0,411 | 0,036 | 0,001 | 0,000 |
| Locale commercial | 97,154 | 2,516 | 0,303 | 0,026 | 0,001 | 0,000 |
| locale 3 | 98,470 | 1,362 | 0,154 | 0,013 | 0,000 | 0,000 |

Tableau.19.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en charpente métallique (date >1980).

| Degré des dommages | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|--------------------|---|---|---|--|---|---|
| Constructions |  |  |  |  |  |  |
| locale 4 | 98,022 | 1,757 | 0,204 | 0,017 | 0,001 | 0,000 |
| locale 5 | 98,022 | 1,757 | 0,204 | 0,017 | 0,001 | 0,000 |
| locale 6 | 98,022 | 1,757 | 0,204 | 0,017 | 0,001 | 0,000 |

➤ **Intensité =I₆**

1- calcule la probabilité des dommages par la loi béta.

Formule :
$$P_{\beta}(X) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(r) + \Gamma(t-r)} (x-a)^{r-1} (b-x)^{t-r-1}$$

$$X=0, \dots, 6$$

Tableau.20.A-Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en maçonnerie

| Valeurs de x | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Constructions | | | | | | | |
| structure 1 | 0,000 | 26,802 | 67,957 | 91,534 | 98,951 | 99,977 | 100,000 |
| structure 2 | 0,000 | 51,308 | 85,702 | 97,426 | 99,792 | 99,997 | 100,000 |
| structure 3 | 0,000 | 46,316 | 82,956 | 96,703 | 99,712 | 99,996 | 100,000 |
| structure 4 | 0,000 | 11,063 | 46,028 | 79,574 | 96,149 | 99,843 | 100,000 |
| structure 5 | 0,000 | 39,258 | 78,434 | 95,365 | 99,544 | 99,993 | 100,000 |
| structure 6 | 0,000 | 26,802 | 67,957 | 91,534 | 98,951 | 99,977 | 100,000 |

| | | | | | | | |
|------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| structure 7 | 0,000 | 13,895 | 51,214 | 82,972 | 97,087 | 99,897 | 100,000 |
| structure 8 | 0,000 | 17,180 | 56,355 | 85,963 | 97,819 | 99,933 | 100,000 |
| structure 9 | 0,000 | 34,304 | 74,713 | 94,124 | 99,370 | 99,989 | 100,000 |
| structure 10 | 0,000 | 11,063 | 46,028 | 79,574 | 96,149 | 99,843 | 100,000 |
| structure 11 | 0,000 | 44,298 | 81,746 | 96,363 | 99,671 | 99,995 | 100,000 |
| structure 12 | 0,000 | 1,571 | 16,207 | 48,231 | 81,499 | 98,024 | 100,000 |
| structure 13 | 0,000 | 25,044 | 66,129 | 90,754 | 98,811 | 99,972 | 100,000 |
| structure 14 | 0,000 | 2,185 | 19,596 | 53,355 | 84,759 | 98,586 | 100,000 |
| structure 15 | 0,000 | 17,180 | 56,355 | 85,963 | 97,819 | 99,933 | 100,000 |
| structure 16 | 0,000 | 34,304 | 74,713 | 94,124 | 99,370 | 99,989 | 100,000 |
| structure 17 | 0,000 | 11,063 | 46,028 | 79,574 | 96,149 | 99,843 | 100,000 |
| structure 18 | 0,000 | 20,907 | 61,356 | 88,551 | 98,383 | 99,957 | 100,000 |
| structure 19 | 0,000 | 8,673 | 40,895 | 75,780 | 94,970 | 99,764 | 100,000 |
| structure 20 | 0,000 | 8,673 | 40,895 | 75,780 | 94,970 | 99,764 | 100,000 |
| structure 21 | 0,000 | 8,673 | 40,895 | 75,780 | 94,970 | 99,764 | 100,000 |
| structure 22 | 0,000 | 25,044 | 66,129 | 90,754 | 98,811 | 99,972 | 100,000 |
| structure 23 | 0,000 | 9,117 | 41,913 | 76,569 | 95,227 | 99,783 | 100,000 |
| structure 24 | 0,000 | 21,703 | 62,332 | 89,022 | 98,479 | 99,960 | 100,000 |
| structure 25 | 0,000 | 20,907 | 61,356 | 88,551 | 98,383 | 99,957 | 100,000 |
| structure 26 | 0,000 | 13,895 | 51,214 | 82,972 | 97,087 | 99,897 | 100,000 |
| banque BNA | 0,000 | 63,858 | 91,299 | 98,690 | 99,913 | 99,999 | 100,000 |
| banque BADR | 0,000 | 5,384 | 32,084 | 68,052 | 92,109 | 99,522 | 100,000 |
| supérette 2 | 0,000 | 5,384 | 32,084 | 68,052 | 92,109 | 99,522 | 100,000 |
| mairie | 0,000 | 51,308 | 85,702 | 97,426 | 99,792 | 99,997 | 100,000 |
| sonal gaz | 0,000 | 9,117 | 41,913 | 76,569 | 95,227 | 99,783 | 100,000 |
| caisse régionale | 0,000 | 41,270 | 79,808 | 95,791 | 99,600 | 99,994 | 100,000 |
| locale 1 | 0,000 | 39,258 | 78,434 | 95,365 | 99,544 | 99,993 | 100,000 |
| locale 2 | 0,000 | 11,594 | 47,064 | 80,285 | 96,355 | 99,856 | 100,000 |
| la poste | 0,000 | 56,155 | 88,066 | 97,995 | 99,850 | 99,998 | 100,000 |
| DTP | 0,000 | 41,270 | 79,808 | 95,791 | 99,600 | 99,994 | 100,000 |
| Banque BEA | 0,000 | 51,308 | 85,702 | 97,426 | 99,792 | 99,997 | 100,000 |
| Hôtel | 0,000 | 36,269 | 76,250 | 94,652 | 99,446 | 99,990 | 100,000 |
| banque CPA | 0,000 | 41,270 | 79,808 | 95,791 | 99,600 | 99,994 | 100,000 |
| trésor | 0,000 | 15,155 | 53,281 | 84,217 | 97,402 | 99,913 | 100,000 |

Tableau.21.A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en béton armé (date <1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| centre commerciale | 0,000 | 59,421 | 89,510 | 98,317 | 99,880 | 99,999 | 100,000 |
| SAMPAC | 0,000 | 39,760 | 78,784 | 95,475 | 99,559 | 99,993 | 100,000 |
| supérette | 0,000 | 90,522 | 98,641 | 99,869 | 99,995 | 100,000 | 100,000 |
| Marché publique | 0,000 | 59,421 | 89,510 | 98,317 | 99,880 | 99,999 | 100,000 |
| locale 3 | 0,000 | 95,801 | 99,487 | 99,957 | 99,998 | 100,000 | 100,000 |

Tableau.22.A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en béton armé (date >1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| mairie annexe | 0,000 | 91,747 | 98,855 | 99,892 | 99,996 | 100,000 | 100,000 |
| Bibliothèque centrale | 0,000 | 88,956 | 98,352 | 99,835 | 99,993 | 100,000 | 100,000 |
| Locale commercial | 0,000 | 91,747 | 98,855 | 99,892 | 99,996 | 100,000 | 100,000 |
| locale 3 | 0,000 | 95,801 | 99,487 | 99,957 | 99,998 | 100,000 | 100,000 |







Tableau.23.A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en charpente métallique (date >1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| locale 4 | 0,000 | 94,445 | 99,289 | 99,937 | 99,998 | 100,000 | 100,000 |
| locale 5 | 0,000 | 94,445 | 99,289 | 99,937 | 99,998 | 100,000 | 100,000 |
| locale 6 | 0,000 | 94,445 | 99,289 | 99,937 | 99,998 | 100,000 | 100,000 |

2- calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k
s'écrit sous la forme :

Formule :
$$P_k = P_{\beta(k+1)} - P_{\beta(k)}$$

Tableau.24.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en maçonnerie (date < 1980).

| Degré des dommages Constructions | D0  | D1  | D2  | D3  | D4  | D5  |
|-------------------------------------|---|---|---|--|---|---|
| structure 1 | 26,802 | 41,155 | 23,577 | 7,417 | 1,025 | 0,023 |
| structure 2 | 51,308 | 34,394 | 11,724 | 2,366 | 0,206 | 0,003 |
| structure 3 | 46,316 | 36,640 | 13,747 | 3,009 | 0,285 | 0,004 |
| structure 4 | 11,063 | 34,964 | 33,546 | 16,576 | 3,694 | 0,157 |
| structure 5 | 39,258 | 39,176 | 16,930 | 4,180 | 0,448 | 0,007 |
| structure 6 | 26,802 | 41,155 | 23,577 | 7,417 | 1,025 | 0,023 |
| structure 7 | 13,895 | 37,318 | 31,758 | 14,115 | 2,811 | 0,103 |
| structure 8 | 17,180 | 39,176 | 29,608 | 11,856 | 2,114 | 0,067 |
| structure 9 | 34,304 | 40,410 | 19,410 | 5,246 | 0,618 | 0,011 |
| structure 10 | 11,063 | 34,964 | 33,546 | 16,576 | 3,694 | 0,157 |
| structure 11 | 44,298 | 37,448 | 14,617 | 3,309 | 0,324 | 0,005 |
| structure 12 | 1,571 | 14,636 | 32,024 | 33,268 | 16,526 | 1,976 |
| structure 13 | 25,044 | 41,085 | 24,626 | 8,057 | 1,161 | 0,028 |
| structure 14 | 2,185 | 17,411 | 33,760 | 31,403 | 13,827 | 1,414 |
| structure 15 | 17,180 | 39,176 | 29,608 | 11,856 | 2,114 | 0,067 |
| structure 16 | 34,304 | 40,410 | 19,410 | 5,246 | 0,618 | 0,011 |
| structure 17 | 11,063 | 34,964 | 33,546 | 16,576 | 3,694 | 0,157 |
| structure 18 | 20,907 | 40,449 | 27,195 | 9,832 | 1,573 | 0,043 |
| structure 19 | 8,673 | 32,222 | 34,885 | 19,189 | 4,795 | 0,236 |
| structure 20 | 8,673 | 32,222 | 34,885 | 19,189 | 4,795 | 0,236 |
| structure 21 | 8,673 | 32,222 | 34,885 | 19,189 | 4,795 | 0,236 |
| structure 22 | 25,044 | 41,085 | 24,626 | 8,057 | 1,161 | 0,028 |
| structure 23 | 9,117 | 32,796 | 34,657 | 18,657 | 4,556 | 0,217 |
| structure 24 | 21,703 | 40,629 | 26,690 | 9,457 | 1,482 | 0,040 |
| structure 25 | 20,907 | 40,449 | 27,195 | 9,832 | 1,573 | 0,043 |
| structure 26 | 13,895 | 37,318 | 31,758 | 14,115 | 2,811 | 0,103 |
| banque BNA | 63,858 | 27,441 | 7,390 | 1,223 | 0,086 | 0,001 |
| banque BADR | 5,384 | 26,700 | 35,968 | 24,058 | 7,413 | 0,478 |
| supérette 2 | 5,384 | 26,700 | 35,968 | 24,058 | 7,413 | 0,478 |
| mairie | 51,308 | 34,394 | 11,724 | 2,366 | 0,206 | 0,003 |
| sonal gaz | 9,117 | 32,796 | 34,657 | 18,657 | 4,556 | 0,217 |

| | | | | | | |
|------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| caisse régionale | 41,270 | 38,538 | 15,982 | 3,809 | 0,394 | 0,006 |
| locale 1 | 39,258 | 39,176 | 16,930 | 4,180 | 0,448 | 0,007 |
| locale 2 | 11,594 | 35,470 | 33,222 | 16,070 | 3,501 | 0,144 |
| la poste | 56,155 | 31,911 | 9,929 | 1,855 | 0,149 | 0,002 |
| DTP | 41,270 | 38,538 | 15,982 | 3,809 | 0,394 | 0,006 |
| Banque BEA | 51,308 | 34,394 | 11,724 | 2,366 | 0,206 | 0,003 |
| Hôtel | 36,269 | 39,981 | 18,402 | 4,795 | 0,544 | 0,010 |
| banque CPA | 41,270 | 38,538 | 15,982 | 3,809 | 0,394 | 0,006 |
| trésor | 15,155 | 38,126 | 30,936 | 13,185 | 2,511 | 0,087 |

Tableau.25.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en béton armé (date<1980).







| Degré des dommages | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|--------------------|---|---|---|--|---|---|
| Constructions |  |  |  |  |  |  |
| centre commerciale | 59,421 | 30,089 | 8,807 | 1,563 | 0,119 | 0,001 |
| SAMPAC | 39,760 | 39,024 | 16,691 | 4,084 | 0,434 | 0,007 |
| supérette | 90,522 | 8,119 | 1,228 | 0,126 | 0,005 | 0,000 |
| Marché publique | 59,421 | 30,089 | 8,807 | 1,563 | 0,119 | 0,001 |

Tableau.26.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en béton armé (date>1980).













| Degré des dommages | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|-----------------------|---|---|---|--|---|---|
| Constructions |  |  |  |  |  |  |
| mairie annexe | 91,747 | 7,108 | 1,037 | 0,103 | 0,004 | 0,000 |
| Bibliothèque centrale | 88,956 | 9,396 | 1,483 | 0,158 | 0,007 | 0,000 |
| Locale commercial | 91,747 | 7,108 | 1,037 | 0,103 | 0,004 | 0,000 |
| locale 3 | 95,801 | 3,686 | 0,469 | 0,042 | 0,002 | 0,000 |

Tableau.27.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en charpente métallique (date >1980).

| Degré des dommages | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|--------------------|---|---|---|--|---|---|
| Constructions |  |  |  |  |  |  |
| locale 4 | 94,445 | 4,845 | 0,648 | 0,060 | 0,002 | 0,000 |
| locale 5 | 94,445 | 4,845 | 0,648 | 0,060 | 0,002 | 0,000 |
| locale 6 | 94,445 | 4,845 | 0,648 | 0,060 | 0,002 | 0,000 |

➤ Intensité = I₇

1- calcule la probabilité des dommages par la loi béta.

Formule :
$$P\beta(X) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(r) + \Gamma(t-r)} (x-a)^{r-1} (b-x)^{t-r-1}$$

$X=0, \dots, 6$

Tableau.28.A-Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en maçonnerie (date < 1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| structure 1 | 0,000 | 4,288 | 28,442 | 64,305 | 90,488 | 99,354 | 100,000 |
| structure 2 | 0,000 | 15,155 | 53,281 | 84,217 | 97,402 | 99,913 | 100,000 |
| structure 3 | 0,000 | 12,142 | 48,101 | 80,981 | 96,551 | 99,867 | 100,000 |
| structure 4 | 0,000 | 1,037 | 12,684 | 42,121 | 77,039 | 97,103 | 100,000 |
| structure 5 | 0,000 | 8,673 | 40,895 | 75,780 | 94,970 | 99,764 | 100,000 |
| structure 6 | 0,000 | 4,288 | 28,442 | 64,305 | 90,488 | 99,354 | 100,000 |
| structure 7 | 0,000 | 1,468 | 15,579 | 47,206 | 80,797 | 97,891 | 100,000 |
| structure 8 | 0,000 | 2,048 | 18,885 | 52,333 | 84,140 | 98,486 | 100,000 |
| structure 9 | 0,000 | 6,695 | 35,910 | 71,618 | 93,508 | 99,649 | 100,000 |
| structure 10 | 0,000 | 1,037 | 12,684 | 42,121 | 77,039 | 97,103 | 100,000 |
| structure 11 | 0,000 | 11,063 | 46,028 | 79,574 | 96,149 | 99,843 | 100,000 |
| structure 12 | 0,000 | 0,068 | 2,204 | 14,138 | 43,829 | 82,947 | 100,000 |
| structure 13 | 0,000 | 3,814 | 26,700 | 62,374 | 89,589 | 99,252 | 100,000 |
| structure 14 | 0,000 | 0,105 | 2,958 | 17,200 | 49,064 | 86,268 | 100,000 |
| structure 15 | 0,000 | 2,048 | 18,885 | 52,333 | 84,140 | 98,486 | 100,000 |
| structure 16 | 0,000 | 6,695 | 35,910 | 71,618 | 93,508 | 99,649 | 100,000 |
| structure 17 | 0,000 | 1,037 | 12,684 | 42,121 | 77,039 | 97,103 | 100,000 |
| structure 18 | 0,000 | 2,815 | 22,599 | 57,416 | 87,067 | 98,928 | 100,000 |
| structure 19 | 0,000 | 0,722 | 10,189 | 37,158 | 72,885 | 96,076 | 100,000 |
| structure 20 | 0,000 | 0,722 | 10,189 | 37,158 | 72,885 | 96,076 | 100,000 |
| structure 21 | 0,000 | 0,722 | 10,189 | 37,158 | 72,885 | 96,076 | 100,000 |
| structure 22 | 0,000 | 3,814 | 26,700 | 62,374 | 89,589 | 99,252 | 100,000 |
| structure 23 | 0,000 | 0,778 | 10,657 | 38,137 | 73,746 | 96,303 | 100,000 |
| structure 24 | 0,000 | 2,995 | 23,389 | 58,420 | 87,603 | 99,001 | 100,000 |
| structure 25 | 0,000 | 2,815 | 22,599 | 57,416 | 87,067 | 98,928 | 100,000 |
| structure 26 | 0,000 | 1,468 | 15,579 | 47,206 | 80,797 | 97,891 | 100,000 |
| banque BNA | 0,000 | 25,478 | 66,591 | 90,955 | 98,848 | 99,973 | 100,000 |
| banque BADR | 0,000 | 0,364 | 6,641 | 28,777 | 64,534 | 93,466 | 100,000 |

| | | | | | | | |
|------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| supérette 2 | 0,000 | 0,364 | 6,641 | 28,777 | 64,534 | 93,466 | 100,000 |
| mairie | 0,000 | 15,155 | 53,281 | 84,217 | 97,402 | 99,913 | 100,000 |
| sonal gaz | 0,000 | 0,778 | 10,657 | 38,137 | 73,746 | 96,303 | 100,000 |
| caisse régionale | 0,000 | 9,577 | 42,935 | 77,344 | 95,473 | 99,800 | 100,000 |
| locale 1 | 0,000 | 8,673 | 40,895 | 75,780 | 94,970 | 99,764 | 100,000 |
| locale 2 | 0,000 | 1,113 | 13,230 | 43,131 | 77,823 | 97,278 | 100,000 |
| la poste | 0,000 | 18,619 | 58,378 | 87,046 | 98,063 | 99,944 | 100,000 |
| DTP | 0,000 | 9,577 | 42,935 | 77,344 | 95,473 | 99,800 | 100,000 |
| Banque BEA | 0,000 | 15,155 | 53,281 | 84,217 | 97,402 | 99,913 | 100,000 |
| Hôtel | 0,000 | 7,439 | 37,880 | 73,325 | 94,129 | 99,700 | 100,000 |
| banque CPA | 0,000 | 9,577 | 42,935 | 77,344 | 95,473 | 99,800 | 100,000 |
| trésor | 0,000 | 1,680 | 16,852 | 49,257 | 82,184 | 98,150 | 100,000 |

Tableau.29.A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en béton armé (date <1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| centre commerciale | 0,000 | 21,303 | 61,845 | 88,789 | 98,432 | 99,959 | 100,000 |
| SAMPAC | 0,000 | 8,893 | 41,403 | 76,177 | 95,100 | 99,774 | 100,000 |
| supérette | 0,000 | 71,773 | 94,048 | 99,202 | 99,953 | 100,000 | 100,000 |
| Marché publique | 0,000 | 21,303 | 61,845 | 88,789 | 98,432 | 99,959 | 100,000 |

Tableau.30.A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en béton armé (date>1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| mairie annexe | 0,000 | 75,211 | 95,081 | 99,374 | 99,965 | 100,000 | 100,000 |
| Bibliothèque centrale | 0,000 | 67,587 | 92,661 | 98,953 | 99,934 | 99,999 | 100,000 |
| Locale commercial | 0,000 | 75,211 | 95,081 | 99,374 | 99,965 | 100,000 | 100,000 |

Tableau.31.A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi bêta pour les constructions en charpente métallique (date >1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| locale 4 | 0,000 | 83,249 | 97,155 | 99,683 | 99,985 | 100,000 | 100,000 |
| locale 5 | 0,000 | 83,249 | 97,155 | 99,683 | 99,985 | 100,000 | 100,000 |
| locale 6 | 0,000 | 83,249 | 97,155 | 99,683 | 99,985 | 100,000 | 100,000 |

2- calcule La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k s'écrit sous la forme :

Formule :

$$p_k = P_{\beta}(k+1) - P_{\beta}(k)$$

Tableau.32.A -Calcule La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en maçonnerie (date < 1980).

| Degré des dommages Constructions | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|-------------------------------------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------|
| structure 1 | 4,288 | 24,154 | 35,862 | 26,183 | 8,866 | 0,646 |
| structure 2 | 15,155 | 38,126 | 30,936 | 13,185 | 2,511 | 0,087 |
| structure 3 | 12,142 | 35,959 | 32,880 | 15,570 | 3,316 | 0,133 |
| structure 4 | 1,037 | 11,646 | 29,437 | 34,918 | 20,064 | 2,897 |
| structure 5 | 8,673 | 32,222 | 34,885 | 19,189 | 4,795 | 0,236 |
| structure 6 | 4,288 | 24,154 | 35,862 | 26,183 | 8,866 | 0,646 |
| structure 7 | 1,468 | 14,111 | 31,627 | 33,590 | 17,095 | 2,109 |
| structure 8 | 2,048 | 16,837 | 33,447 | 31,807 | 14,346 | 1,514 |
| structure 9 | 6,695 | 29,214 | 35,709 | 21,889 | 6,141 | 0,351 |
| structure 10 | 1,037 | 11,646 | 29,437 | 34,918 | 20,064 | 2,897 |
| structure 11 | 11,063 | 34,964 | 33,546 | 16,576 | 3,694 | 0,157 |
| structure 12 | 0,068 | 2,136 | 11,934 | 29,690 | 39,118 | 17,053 |
| structure 13 | 3,814 | 22,887 | 35,674 | 27,215 | 9,663 | 0,748 |
| structure 14 | 0,105 | 2,853 | 14,242 | 31,864 | 37,204 | 13,732 |
| structure 15 | 2,048 | 16,837 | 33,447 | 31,807 | 14,346 | 1,514 |
| structure 16 | 6,695 | 29,214 | 35,709 | 21,889 | 6,141 | 0,351 |
| structure 17 | 1,037 | 11,646 | 29,437 | 34,918 | 20,064 | 2,897 |
| structure 18 | 2,815 | 19,783 | 34,817 | 29,652 | 11,861 | 1,072 |
| structure 19 | 0,722 | 9,467 | 26,969 | 35,727 | 23,191 | 3,924 |
| structure 20 | 0,722 | 9,467 | 26,969 | 35,727 | 23,191 | 3,924 |

| | | | | | | |
|------------------|--------|---------------|---------------|---------------|--------|-------|
| structure 21 | 0,722 | 9,467 | 26,969 | 35,727 | 23,191 | 3,924 |
| structure 22 | 3,814 | 22,887 | 35,674 | 27,215 | 9,663 | 0,748 |
| structure 23 | 0,778 | 9,879 | 27,480 | 35,609 | 22,557 | 3,697 |
| structure 24 | 2,995 | 20,394 | 35,031 | 29,184 | 11,398 | 0,999 |
| structure 25 | 2,815 | 19,783 | 34,817 | 29,652 | 11,861 | 1,072 |
| structure 26 | 1,468 | 14,111 | 31,627 | 33,590 | 17,095 | 2,109 |
| banque BNA | 25,478 | 41,112 | 24,364 | 7,893 | 1,125 | 0,027 |
| banque BADR | 0,364 | 6,277 | 22,137 | 35,756 | 28,932 | 6,534 |
| supérette 2 | 0,364 | 6,277 | 22,137 | 35,756 | 28,932 | 6,534 |
| mairie | 15,155 | 38,126 | 30,936 | 13,185 | 2,511 | 0,087 |
| sonal gaz | 0,778 | 9,879 | 27,480 | 35,609 | 22,557 | 3,697 |
| caisse régionale | 9,577 | 33,358 | 34,408 | 18,130 | 4,326 | 0,200 |
| locale 1 | 8,673 | 32,222 | 34,885 | 19,189 | 4,795 | 0,236 |
| locale 2 | 1,113 | 12,117 | 29,901 | 34,692 | 19,455 | 2,722 |
| la poste | 18,619 | 39,759 | 28,668 | 11,017 | 1,881 | 0,056 |
| DTP | 9,577 | 33,358 | 34,408 | 18,130 | 4,326 | 0,200 |
| Banque BEA | 15,155 | 38,126 | 30,936 | 13,185 | 2,511 | 0,087 |
| Hôtel | 7,439 | 30,442 | 35,444 | 20,804 | 5,572 | 0,300 |
| banque CPA | 9,577 | 33,358 | 34,408 | 18,130 | 4,326 | 0,200 |
| trésor | 1,680 | 15,172 | 32,404 | 32,927 | 15,966 | 1,850 |

Tableau.33.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en béton armé (date<1980).







| Degré des dommages | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|--------------------|---|---|---|--|---|---|
| Constructions |  |  |  |  |  |  |
| centre commerciale | 21,303 | 40,542 | 26,944 | 9,643 | 1,527 | 0,041 |
| SAMPAC | 8,893 | 32,510 | 34,774 | 18,923 | 4,674 | 0,226 |
| supérette | 71,773 | 22,274 | 5,154 | 0,751 | 0,047 | 0,000 |
| Marché publique | 21,303 | 40,542 | 26,944 | 9,643 | 1,527 | 0,041 |

Tableau.34.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en béton armé (date>1980).













| Degré des dommages | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|-----------------------|---|---|---|--|---|---|
| Constructions |  |  |  |  |  |  |
| mairie annexe | 75,211 | 19,870 | 4,293 | 0,591 | 0,035 | 0,000 |
| Bibliothèque centrale | 67,587 | 25,074 | 6,292 | 0,981 | 0,065 | 0,001 |
| Locale commercial | 75,211 | 19,870 | 4,293 | 0,591 | 0,035 | 0,000 |
| locale 3 | 87,482 | 10,582 | 1,737 | 0,191 | 0,009 | 0,000 |

Tableau.35.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en charpente métallique (date >1980).

| Degré des dommages Constructions | D0  | D1  | D2  | D3  | D4  | D5  |
|-------------------------------------|---|---|---|--|---|---|
| locale 4 | 83,249 | 13,906 | 2,528 | 0,302 | 0,015 | 0,000 |
| locale 5 | 83,249 | 13,906 | 2,528 | 0,302 | 0,015 | 0,000 |
| locale 6 | 83,249 | 13,906 | 2,528 | 0,302 | 0,015 | 0,000 |

➤ **Intensité = I₈**

1- calcule la probabilité des dommages par la loi béta.

Formule :
$$P\beta(X) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(r) + \Gamma(t-r)} (x-a)^{r-1} (b-x)^{t-r-1}$$

$$X=0, \dots, 6$$

Tableau.36.A-Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en maçonnerie (date < 1980).

| Valeurs de x constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|
| structure 1 | 0,000 | 0,264 | 5,414 | 25,362 | 60,535 | 91,927 | 100,000 |
| structure 2 | 0,000 | 1,680 | 16,852 | 49,257 | 82,184 | 98,150 | 100,000 |
| structure 3 | 0,000 | 1,194 | 13,793 | 44,145 | 78,591 | 97,444 | 100,000 |
| structure 4 | 0,000 | 0,040 | 1,527 | 11,005 | 37,724 | 78,343 | 100,000 |
| structure 5 | 0,000 | 0,722 | 10,189 | 37,158 | 72,885 | 96,076 | 100,000 |
| structure 6 | 0,000 | 0,264 | 5,414 | 25,362 | 60,535 | 91,927 | 100,000 |
| structure 7 | 0,000 | 0,062 | 2,076 | 13,575 | 42,794 | 82,226 | 100,000 |
| structure 8 | 0,000 | 0,097 | 2,792 | 16,555 | 48,011 | 85,642 | 100,000 |
| structure 9 | 0,000 | 0,496 | 8,076 | 32,396 | 68,370 | 94,761 | 100,000 |
| structure 10 | 0,000 | 0,040 | 1,527 | 11,005 | 37,724 | 78,343 | 100,000 |
| structure 11 | 0,000 | 1,037 | 12,684 | 42,121 | 77,039 | 97,103 | 100,000 |
| structure 12 | 0,000 | 0,002 | 0,159 | 2,092 | 12,310 | 44,656 | 100,000 |
| structure 13 | 0,000 | 0,224 | 4,873 | 23,739 | 58,488 | 91,060 | 100,000 |
| structure 14 | 0,000 | 0,003 | 0,224 | 2,718 | 14,867 | 49,778 | 100,000 |
| structure 15 | 0,000 | 0,097 | 2,792 | 16,555 | 48,011 | 85,642 | 100,000 |
| structure 16 | 0,000 | 0,496 | 8,076 | 32,396 | 68,370 | 94,761 | 100,000 |
| structure 17 | 0,000 | 0,040 | 1,527 | 11,005 | 37,724 | 78,343 | 100,000 |
| structure 18 | 0,000 | 0,148 | 3,711 | 19,946 | 53,277 | 88,582 | 100,000 |
| structure 19 | 0,000 | 0,025 | 1,112 | 8,825 | 32,894 | 74,029 | 100,000 |
| structure 20 | 0,000 | 0,025 | 1,112 | 8,825 | 32,894 | 74,029 | 100,000 |
| structure 21 | 0,000 | 0,025 | 1,112 | 8,825 | 32,894 | 74,029 | 100,000 |
| structure 22 | 0,000 | 0,224 | 4,873 | 23,739 | 58,488 | 91,060 | 100,000 |
| structure 23 | 0,000 | 0,028 | 1,186 | 9,231 | 33,837 | 74,924 | 100,000 |
| structure 24 | 0,000 | 0,161 | 3,923 | 20,673 | 54,326 | 89,114 | 100,000 |
| structure 25 | 0,000 | 0,148 | 3,711 | 19,946 | 53,277 | 88,582 | 100,000 |
| structure 26 | 0,000 | 0,062 | 2,076 | 13,575 | 42,794 | 82,226 | 100,000 |
| banque BNA | 0,000 | 3,928 | 27,131 | 62,860 | 89,819 | 99,278 | 100,000 |
| banque BADR | 0,000 | 0,011 | 0,617 | 5,789 | 25,036 | 65,383 | 100,000 |

| | | | | | | | |
|------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|
| supérette 2 | 0,000 | 0,011 | 0,617 | 5,789 | 25,036 | 65,383 | 100,000 |
| mairie | 0,000 | 1,680 | 16,852 | 49,257 | 82,184 | 98,150 | 100,000 |
| sonal gaz | 0,000 | 0,028 | 1,186 | 9,231 | 33,837 | 74,924 | 100,000 |
| caisse régionale | 0,000 | 0,836 | 11,140 | 39,123 | 74,592 | 96,519 | 100,000 |
| locale 1 | 0,000 | 0,722 | 10,189 | 37,158 | 72,885 | 96,076 | 100,000 |
| locale 2 | 0,000 | 0,044 | 1,625 | 11,487 | 38,722 | 79,156 | 100,000 |
| la poste | 0,000 | 2,330 | 20,323 | 54,376 | 85,361 | 98,679 | 100,000 |
| DTP | 0,000 | 0,836 | 11,140 | 39,123 | 74,592 | 96,519 | 100,000 |
| Banque BEA | 0,000 | 1,680 | 16,852 | 49,257 | 82,184 | 98,150 | 100,000 |
| Hôtel | 0,000 | 0,578 | 8,877 | 34,272 | 70,217 | 95,325 | 100,000 |
| banque CPA | 0,000 | 0,836 | 11,140 | 39,123 | 74,592 | 96,519 | 100,000 |
| trésor | 0,000 | 0,074 | 2,340 | 14,717 | 44,869 | 83,649 | 100,000 |

Tableau.37A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en béton armé (date <1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| centre commerciale | 0,000 | 2,904 | 22,992 | 57,918 | 87,337 | 98,965 | 100,000 |
| SAMPAC | 0,000 | 0,750 | 10,421 | 37,646 | 73,318 | 96,191 | 100,000 |
| supérette | 0,000 | 34,792 | 75,104 | 94,260 | 99,390 | 99,989 | 100,000 |
| Marché publique | 0,000 | 2,904 | 22,992 | 57,918 | 87,337 | 98,965 | 100,000 |

Tableau.38.A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en béton armé (date>1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| mairie annexe | 0,000 | 39,760 | 78,784 | 95,475 | 99,559 | 99,993 | 100,000 |
| Bibliothèque centrale | 0,000 | 29,535 | 70,600 | 92,600 | 99,132 | 99,982 | 100,000 |
| Locale commercial | 0,000 | 39,760 | 78,784 | 95,475 | 99,559 | 99,993 | 100,000 |
| locale 3 | 0,000 | 63,858 | 91,299 | 98,690 | 99,913 | 99,999 | 100,000 |







Tableau.39.A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en charpente métallique (date >1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| locale 4 | 0,000 | 54,239 | 87,164 | 97,784 | 99,829 | 99,998 | 100,000 |
| locale 5 | 0,000 | 54,239 | 87,164 | 97,784 | 99,829 | 99,998 | 100,000 |
| locale 6 | 0,000 | 54,239 | 87,164 | 97,784 | 99,829 | 99,998 | 100,000 |

2- calcule La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k s'écrit sous la forme :

Formule :
$$P_k = P_\beta(k+1) - P_\beta(k)$$

Tableau.40.A -Calcule La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en maçonnerie (date < 1980).

| Degré des dommages Constructions | D0  | D1  | D2  | D3  | D4  | D5  |
|-------------------------------------|---|---|---|--|---|---|
| structure 1 | 0,264 | 5,150 | 19,948 | 35,173 | 31,393 | 8,073 |
| structure 2 | 1,680 | 15,172 | 32,404 | 32,927 | 15,966 | 1,850 |
| structure 3 | 1,194 | 12,599 | 30,352 | 34,446 | 18,853 | 2,556 |
| structure 4 | 0,040 | 1,487 | 9,478 | 26,720 | 40,619 | 21,657 |
| structure 5 | 0,722 | 9,467 | 26,969 | 35,727 | 23,191 | 3,924 |
| structure 6 | 0,264 | 5,150 | 19,948 | 35,173 | 31,393 | 8,073 |
| structure 7 | 0,062 | 2,013 | 11,500 | 29,218 | 39,432 | 17,774 |
| structure 8 | 0,097 | 2,695 | 13,763 | 31,457 | 37,630 | 14,358 |
| structure 9 | 0,496 | 7,580 | 24,320 | 35,975 | 26,390 | 5,239 |
| structure 10 | 0,040 | 1,487 | 9,478 | 26,720 | 40,619 | 21,657 |
| structure 11 | 1,037 | 11,646 | 29,437 | 34,918 | 20,064 | 2,897 |
| structure 12 | 0,002 | 0,157 | 1,933 | 10,218 | 32,345 | 55,344 |
| structure 13 | 0,224 | 4,648 | 18,866 | 34,749 | 32,572 | 8,940 |
| structure 14 | 0,003 | 0,221 | 2,495 | 12,149 | 34,911 | 50,222 |
| structure 15 | 0,097 | 2,695 | 13,763 | 31,457 | 37,630 | 14,358 |
| structure 16 | 0,496 | 7,580 | 24,320 | 35,975 | 26,390 | 5,239 |
| structure 17 | 0,040 | 1,487 | 9,478 | 26,720 | 40,619 | 21,657 |
| structure 18 | 0,148 | 3,563 | 16,235 | 33,330 | 35,306 | 11,418 |
| structure 19 | 0,025 | 1,087 | 7,712 | 24,069 | 41,135 | 25,971 |
| structure 20 | 0,025 | 1,087 | 7,712 | 24,069 | 41,135 | 25,971 |

| | | | | | | |
|------------------|-------|--------|---------------|---------------|---------------|--------|
| structure 21 | 0,025 | 1,087 | 7,712 | 24,069 | 41,135 | 25,971 |
| structure 22 | 0,224 | 4,648 | 18,866 | 34,749 | 32,572 | 8,940 |
| structure 23 | 0,028 | 1,158 | 8,045 | 24,606 | 41,087 | 25,076 |
| structure 24 | 0,161 | 3,762 | 16,750 | 33,653 | 34,788 | 10,886 |
| structure 25 | 0,148 | 3,563 | 16,235 | 33,330 | 35,306 | 11,418 |
| structure 26 | 0,062 | 2,013 | 11,500 | 29,218 | 39,432 | 17,774 |
| banque BNA | 3,928 | 23,202 | 35,729 | 26,959 | 9,459 | 0,722 |
| banque BADR | 0,011 | 0,606 | 5,172 | 19,247 | 40,347 | 34,617 |
| supérette 2 | 0,011 | 0,606 | 5,172 | 19,247 | 40,347 | 34,617 |
| mairie | 1,680 | 15,172 | 32,404 | 32,927 | 15,966 | 1,850 |
| sonal gaz | 0,028 | 1,158 | 8,045 | 24,606 | 41,087 | 25,076 |
| caisse régionale | 0,836 | 10,303 | 27,983 | 35,469 | 21,926 | 3,481 |
| locale 1 | 0,722 | 9,467 | 26,969 | 35,727 | 23,191 | 3,924 |
| locale 2 | 0,044 | 1,581 | 9,862 | 27,235 | 40,434 | 20,844 |
| la poste | 2,330 | 17,993 | 34,053 | 30,985 | 13,319 | 1,321 |
| DTP | 0,836 | 10,303 | 27,983 | 35,469 | 21,926 | 3,481 |
| Banque BEA | 1,680 | 15,172 | 32,404 | 32,927 | 15,966 | 1,850 |
| Hôtel | 0,578 | 8,300 | 25,395 | 35,945 | 25,108 | 4,675 |
| banque CPA | 0,836 | 10,303 | 27,983 | 35,469 | 21,926 | 3,481 |
| trésor | 0,074 | 2,266 | 12,377 | 30,151 | 38,781 | 16,351 |

Tableau.41.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en béton armé (date<1980).







| Degré des dommages | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|--------------------|---|---|---|--|---|---|
| Constructions |  |  |  |  |  |  |
| centre commerciale | 2,904 | 20,088 | 34,927 | 29,419 | 11,628 | 1,035 |
| SAMPAC | 0,750 | 9,671 | 27,225 | 35,671 | 22,873 | 3,809 |
| supérette | 34,792 | 40,311 | 19,156 | 5,130 | 0,599 | 0,011 |
| Marché publique | 2,904 | 20,088 | 34,927 | 29,419 | 11,628 | 1,035 |

Tableau.42.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en béton armé (date>1980).













| Degré des dommages | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|-----------------------|---|---|---|--|---|---|
| Constructions |  |  |  |  |  |  |
| mairie annexe | 39,760 | 39,024 | 16,691 | 4,084 | 0,434 | 0,007 |
| Bibliothèque centrale | 29,535 | 41,065 | 22,000 | 6,532 | 0,850 | 0,018 |
| Locale commercial | 39,760 | 39,024 | 16,691 | 4,084 | 0,434 | 0,007 |
| locale 3 | 63,858 | 27,441 | 7,390 | 1,223 | 0,086 | 0,001 |

Tableau.43.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en charpente métallique (date >1980).

| Degré des dommages Constructions | D0  | D1  | D2  | D3  | D4  | D5  |
|-------------------------------------|---|---|---|--|---|---|
| locale 4 | 54,239 | 32,926 | 10,619 | 2,045 | 0,169 | 0,002 |
| locale 5 | 54,239 | 32,926 | 10,619 | 2,045 | 0,169 | 0,002 |
| locale 6 | 54,239 | 32,926 | 10,619 | 2,045 | 0,169 | 0,002 |

➤ **Intensité =I₉**

1- calcule la probabilité des dommages par la loi béta.

Formule :
$$P\beta(X) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(r) + \Gamma(t-r)} (x-a)^{r-1} (b-x)^{t-r-1}$$

$$X=0,\dots,6$$

Tableau.44.A-Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en maçonnerie (date < 1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|
| structure 1 | 0,000 | 0,008 | 0,472 | 4,758 | 21,951 | 61,287 | 100,000 |
| structure 2 | 0,000 | 0,074 | 2,340 | 14,717 | 44,869 | 83,649 | 100,000 |
| structure 3 | 0,000 | 0,048 | 1,728 | 11,985 | 39,728 | 79,951 | 100,000 |
| structure 4 | 0,000 | 0,001 | 0,106 | 1,523 | 9,742 | 38,782 | 100,000 |
| structure 5 | 0,000 | 0,025 | 1,112 | 8,825 | 32,894 | 74,029 | 100,000 |
| structure 6 | 0,000 | 0,008 | 0,472 | 4,758 | 21,951 | 61,287 | 100,000 |
| structure 7 | 0,000 | 0,002 | 0,148 | 1,985 | 11,846 | 43,653 | 100,000 |
| structure 8 | 0,000 | 0,003 | 0,209 | 2,580 | 14,324 | 48,741 | 100,000 |
| structure 9 | 0,000 | 0,016 | 0,804 | 7,007 | 28,380 | 69,344 | 100,000 |
| structure 10 | 0,000 | 0,001 | 0,106 | 1,523 | 9,742 | 38,782 | 100,000 |
| structure 11 | 0,000 | 0,040 | 1,527 | 11,005 | 37,724 | 78,343 | 100,000 |
| structure 12 | 0,000 | 0,000 | 0,012 | 0,257 | 2,396 | 14,730 | 100,000 |
| structure 13 | 0,000 | 0,006 | 0,412 | 4,306 | 20,510 | 59,205 | 100,000 |
| structure 14 | 0,000 | 0,000 | 0,016 | 0,332 | 2,952 | 17,216 | 100,000 |
| structure 15 | 0,000 | 0,003 | 0,209 | 2,580 | 14,324 | 48,741 | 100,000 |
| structure 16 | 0,000 | 0,016 | 0,804 | 7,007 | 28,380 | 69,344 | 100,000 |
| structure 17 | 0,000 | 0,001 | 0,106 | 1,523 | 9,742 | 38,782 | 100,000 |
| structure 18 | 0,000 | 0,004 | 0,294 | 3,342 | 17,205 | 53,960 | 100,000 |

| | | | | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|
| structure 19 | 0,000 | 0,001 | 0,076 | 1,168 | 7,975 | 34,198 | 100,000 |
| structure 20 | 0,000 | 0,001 | 0,076 | 1,168 | 7,975 | 34,198 | 100,000 |
| structure 21 | 0,000 | 0,001 | 0,076 | 1,168 | 7,975 | 34,198 | 100,000 |
| structure 22 | 0,000 | 0,006 | 0,412 | 4,306 | 20,510 | 59,205 | 100,000 |
| structure 23 | 0,000 | 0,001 | 0,081 | 1,232 | 8,304 | 35,089 | 100,000 |
| structure 24 | 0,000 | 0,004 | 0,314 | 3,517 | 17,832 | 55,010 | 100,000 |
| structure 25 | 0,000 | 0,004 | 0,294 | 3,342 | 17,205 | 53,960 | 100,000 |
| structure 26 | 0,000 | 0,002 | 0,148 | 1,985 | 11,846 | 43,653 | 100,000 |
| banque BNA | 0,000 | 0,234 | 5,004 | 24,139 | 59,002 | 91,283 | 100,000 |
| banque BADR | 0,000 | 0,000 | 0,042 | 0,725 | 5,518 | 26,819 | 100,000 |
| supérette 2 | 0,000 | 0,000 | 0,042 | 0,725 | 5,518 | 26,819 | 100,000 |
| mairie | 0,000 | 0,074 | 2,340 | 14,717 | 44,869 | 83,649 | 100,000 |
| sonal gaz | 0,000 | 0,001 | 0,081 | 1,232 | 8,304 | 35,089 | 100,000 |
| caisse régionale | 0,000 | 0,030 | 1,264 | 9,651 | 34,792 | 75,803 | 100,000 |
| locale 1 | 0,000 | 0,025 | 1,112 | 8,825 | 32,894 | 74,029 | 100,000 |
| locale 2 | 0,000 | 0,001 | 0,113 | 1,606 | 10,134 | 39,735 | 100,000 |
| la poste | 0,000 | 0,115 | 3,133 | 17,862 | 50,117 | 86,875 | 100,000 |
| DTP | 0,000 | 0,030 | 1,264 | 9,651 | 34,792 | 75,803 | 100,000 |
| Banque BEA | 0,000 | 0,074 | 2,340 | 14,717 | 44,869 | 83,649 | 100,000 |
| Hôtel | 0,000 | 0,019 | 0,916 | 7,693 | 30,144 | 71,258 | 100,000 |
| banque CPA | 0,000 | 0,030 | 1,264 | 9,651 | 34,792 | 75,803 | 100,000 |
| trésor | 0,000 | 0,002 | 0,170 | 2,205 | 12,790 | 45,667 | 100,000 |

Tableau.45.A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi bêta pour les constructions en béton armé (date <1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|
| centre commerciale | 0,000 | 0,154 | 3,816 | 20,308 | 53,802 | 88,850 | 100,000 |
| SAMPAC | 0,000 | 0,027 | 1,149 | 9,026 | 33,364 | 74,479 | 100,000 |
| supérette | 0,000 | 6,875 | 36,399 | 72,050 | 93,668 | 99,663 | 100,000 |
| Marché publique | 0,000 | 0,154 | 3,816 | 20,308 | 53,802 | 88,850 | 100,000 |

Tableau.46.A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en béton armé (date>1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| mairie annexe | 0,000 | 8,893 | 41,403 | 76,177 | 95,100 | 99,774 | 100,000 |
| Bibliothèque centrale | 0,000 | 5,091 | 31,155 | 67,131 | 91,726 | 99,484 | 100,000 |
| Locale commercial | 0,000 | 8,893 | 41,403 | 76,177 | 95,100 | 99,774 | 100,000 |
| locale 3 | 0,000 | 25,478 | 66,591 | 90,955 | 98,848 | 99,973 | 100,000 |







Tableau.47.A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en charpente métallique (date >1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| locale 4 | 0,000 | 17,180 | 56,355 | 85,963 | 97,819 | 99,933 | 100,000 |
| locale 5 | 0,000 | 17,180 | 56,355 | 85,963 | 97,819 | 99,933 | 100,000 |
| locale 6 | 0,000 | 17,180 | 56,355 | 85,963 | 97,819 | 99,933 | 100,000 |

2- **calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k s'écrit sous la forme :**

Formule :
$$P_k = P_{\beta}(k+1) - P_{\beta}(k)$$

Tableau.48.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en maçonnerie (date < 1980).

| Degré des dommages Constructions | D0  | D1  | D2  | D3  | D4  | D5  |
|-------------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| structure 1 | 0,008 | 0,464 | 4,286 | 17,193 | 39,336 | 38,713 |
| structure 2 | 0,074 | 2,266 | 12,377 | 30,151 | 38,781 | 16,351 |
| structure 3 | 0,048 | 1,681 | 10,256 | 27,743 | 40,222 | 20,049 |
| structure 4 | 0,001 | 0,105 | 1,418 | 8,218 | 29,040 | 61,218 |
| structure 5 | 0,025 | 1,087 | 7,712 | 24,069 | 41,135 | 25,971 |
| structure 6 | 0,008 | 0,464 | 4,286 | 17,193 | 39,336 | 38,713 |
| structure 7 | 0,002 | 0,147 | 1,837 | 9,861 | 31,807 | 56,347 |
| structure 8 | 0,003 | 0,206 | 2,372 | 11,743 | 34,418 | 51,259 |
| structure 9 | 0,016 | 0,788 | 6,203 | 21,373 | 40,964 | 30,656 |
| structure 10 | 0,001 | 0,105 | 1,418 | 8,218 | 29,040 | 61,218 |

| | | | | | | |
|------------------|-------|-------|--------|---------------|---------------|---------------|
| structure 11 | 0,040 | 1,487 | 9,478 | 26,720 | 40,619 | 21,657 |
| structure 12 | 0,000 | 0,012 | 0,245 | 2,138 | 12,334 | 85,270 |
| structure 13 | 0,006 | 0,406 | 3,894 | 16,203 | 38,696 | 40,795 |
| structure 14 | 0,000 | 0,016 | 0,316 | 2,621 | 14,263 | 82,784 |
| structure 15 | 0,003 | 0,206 | 2,372 | 11,743 | 34,418 | 51,259 |
| structure 16 | 0,016 | 0,788 | 6,203 | 21,373 | 40,964 | 30,656 |
| structure 17 | 0,001 | 0,105 | 1,418 | 8,218 | 29,040 | 61,218 |
| structure 18 | 0,004 | 0,290 | 3,048 | 13,864 | 36,754 | 46,040 |
| structure 19 | 0,001 | 0,075 | 1,092 | 6,807 | 26,223 | 65,802 |
| structure 20 | 0,001 | 0,075 | 1,092 | 6,807 | 26,223 | 65,802 |
| structure 21 | 0,001 | 0,075 | 1,092 | 6,807 | 26,223 | 65,802 |
| structure 22 | 0,006 | 0,406 | 3,894 | 16,203 | 38,696 | 40,795 |
| structure 23 | 0,001 | 0,080 | 1,151 | 7,072 | 26,786 | 64,911 |
| structure 24 | 0,004 | 0,310 | 3,203 | 14,315 | 37,178 | 44,990 |
| structure 25 | 0,004 | 0,290 | 3,048 | 13,864 | 36,754 | 46,040 |
| structure 26 | 0,002 | 0,147 | 1,837 | 9,861 | 31,807 | 56,347 |
| banque BNA | 0,234 | 4,770 | 19,135 | 34,863 | 32,281 | 8,717 |
| banque BADR | 0,000 | 0,041 | 0,683 | 4,794 | 21,301 | 73,181 |
| supérette 2 | 0,000 | 0,041 | 0,683 | 4,794 | 21,301 | 73,181 |
| mairie | 0,074 | 2,266 | 12,377 | 30,151 | 38,781 | 16,351 |
| sonal gaz | 0,001 | 0,080 | 1,151 | 7,072 | 26,786 | 64,911 |
| caisse régionale | 0,030 | 1,233 | 8,388 | 25,141 | 41,011 | 24,197 |
| locale 1 | 0,025 | 1,087 | 7,712 | 24,069 | 41,135 | 25,971 |
| locale 2 | 0,001 | 0,112 | 1,493 | 8,528 | 29,601 | 60,265 |
| la poste | 0,115 | 3,018 | 14,729 | 32,255 | 36,757 | 13,125 |
| DTP | 0,030 | 1,233 | 8,388 | 25,141 | 41,011 | 24,197 |
| Banque BEA | 0,074 | 2,266 | 12,377 | 30,151 | 38,781 | 16,351 |
| Hôtel | 0,019 | 0,897 | 6,776 | 22,451 | 41,114 | 28,742 |
| banque CPA | 0,030 | 1,233 | 8,388 | 25,141 | 41,011 | 24,197 |
| trésor | 0,002 | 0,168 | 2,035 | 10,585 | 32,877 | 54,333 |

Tableau.49.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en béton armé (date<1980).







| Degré des dommages | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|--------------------|---|---|---|---|---|---|
| Constructions |  |  |  |  |  |  |
| centre commerciale | 0,154 | 3,662 | 16,492 | 33,494 | 35,049 | 11,150 |
| SAMPAC | 0,027 | 1,122 | 7,877 | 24,338 | 41,115 | 25,521 |
| supérette | 6,875 | 29,524 | 35,651 | 21,618 | 5,995 | 0,337 |
| Marché publique | 0,154 | 3,662 | 16,492 | 33,494 | 35,049 | 11,150 |

Tableau.50.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en béton armé (date>1980).

| Degré des dommages Constructions | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|-------------------------------------|--------|---------------|---------------|--------|---------------|--------|
| centre commerciale | 0,154 | 3,662 | 16,492 | 33,494 | 35,049 | 11,150 |
| Bibliothèque centrale | 5,091 | 26,064 | 35,976 | 24,595 | 7,759 | 0,516 |
| Locale commercial | 8,893 | 32,510 | 34,774 | 18,923 | 4,674 | 0,226 |
| locale 3 | 25,478 | 41,112 | 24,364 | 7,893 | 1,125 | 0,027 |

Tableau.51.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en charpente métallique (date >1980).

| Degré des dommages Constructions | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|-------------------------------------|--------|---------------|--------|--------|-------|-------|
| locale 4 | 17,180 | 39,176 | 29,608 | 11,856 | 2,114 | 0,067 |
| locale 5 | 17,180 | 39,176 | 29,608 | 11,856 | 2,114 | 0,067 |
| locale 6 | 17,180 | 39,176 | 29,608 | 11,856 | 2,114 | 0,067 |

➤ **Intensité = I₁₀**

1- calcule la probabilité des dommages par la loi béta.

Formule :
$$P\beta(X) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(r) + \Gamma(t - r)} (x - a)^{r-1} (b - x)^{t-r-1}$$

$$X=0, \dots, 6$$

Tableau.52.A-Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en maçonnerie (date < 1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|
| structure 1 | 0,000 | 0,000 | 0,032 | 0,587 | 4,674 | 23,928 | 100,000 |
| structure 2 | 0,000 | 0,002 | 0,170 | 2,205 | 12,790 | 45,667 | 100,000 |
| structure 3 | 0,000 | 0,001 | 0,121 | 1,694 | 10,541 | 40,699 | 100,000 |
| structure 4 | 0,000 | 0,000 | 0,008 | 0,191 | 1,865 | 12,163 | 100,000 |
| structure 5 | 0,000 | 0,001 | 0,076 | 1,168 | 7,975 | 34,198 | 100,000 |
| structure 6 | 0,000 | 0,000 | 0,032 | 0,587 | 4,674 | 23,928 | 100,000 |
| structure 7 | 0,000 | 0,000 | 0,011 | 0,245 | 2,298 | 14,271 | 100,000 |
| structure 8 | 0,000 | 0,000 | 0,015 | 0,315 | 2,832 | 16,692 | 100,000 |

| | | | | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|
| structure 9 | 0,000 | 0,000 | 0,054 | 0,895 | 6,506 | 29,952 | 100,000 |
| structure 10 | 0,000 | 0,000 | 0,008 | 0,191 | 1,865 | 12,163 | 100,000 |
| structure 11 | 0,000 | 0,001 | 0,106 | 1,523 | 9,742 | 38,782 | 100,000 |
| structure 12 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,038 | 0,457 | 3,797 | 100,000 |
| structure 13 | 0,000 | 0,000 | 0,028 | 0,529 | 4,301 | 22,574 | 100,000 |
| structure 14 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,048 | 0,563 | 4,551 | 100,000 |
| structure 15 | 0,000 | 0,000 | 0,015 | 0,315 | 2,832 | 16,692 | 100,000 |
| structure 16 | 0,000 | 0,000 | 0,054 | 0,895 | 6,506 | 29,952 | 100,000 |
| structure 17 | 0,000 | 0,000 | 0,008 | 0,191 | 1,865 | 12,163 | 100,000 |
| structure 18 | 0,000 | 0,000 | 0,021 | 0,408 | 3,490 | 19,452 | 100,000 |
| structure 19 | 0,000 | 0,000 | 0,006 | 0,149 | 1,515 | 10,336 | 100,000 |
| structure 20 | 0,000 | 0,000 | 0,006 | 0,149 | 1,515 | 10,336 | 100,000 |
| structure 21 | 0,000 | 0,000 | 0,006 | 0,149 | 1,515 | 10,336 | 100,000 |
| structure 22 | 0,000 | 0,000 | 0,028 | 0,529 | 4,301 | 22,574 | 100,000 |
| structure 23 | 0,000 | 0,000 | 0,007 | 0,157 | 1,580 | 10,680 | 100,000 |
| structure 24 | 0,000 | 0,000 | 0,022 | 0,429 | 3,639 | 20,047 | 100,000 |
| structure 25 | 0,000 | 0,000 | 0,021 | 0,408 | 3,490 | 19,452 | 100,000 |
| structure 26 | 0,000 | 0,000 | 0,011 | 0,245 | 2,298 | 14,271 | 100,000 |
| banque BNA | 0,000 | 0,007 | 0,427 | 4,416 | 20,864 | 59,727 | 100,000 |
| banque BADR | 0,000 | 0,000 | 0,004 | 0,097 | 1,045 | 7,659 | 100,000 |
| supérette 2 | 0,000 | 0,000 | 0,004 | 0,097 | 1,045 | 7,659 | 100,000 |
| mairie | 0,000 | 0,002 | 0,170 | 2,205 | 12,790 | 45,667 | 100,000 |
| sonal gaz | 0,000 | 0,000 | 0,007 | 0,157 | 1,580 | 10,680 | 100,000 |
| caisse régionale | 0,000 | 0,001 | 0,086 | 1,299 | 8,644 | 35,993 | 100,000 |
| locale 1 | 0,000 | 0,001 | 0,076 | 1,168 | 7,975 | 34,198 | 100,000 |
| locale 2 | 0,000 | 0,000 | 0,009 | 0,200 | 1,945 | 12,561 | 100,000 |
| la poste | 0,000 | 0,003 | 0,239 | 2,863 | 15,427 | 50,819 | 100,000 |
| DTP | 0,000 | 0,001 | 0,086 | 1,299 | 8,644 | 35,993 | 100,000 |
| Banque BEA | 0,000 | 0,002 | 0,170 | 2,205 | 12,790 | 45,667 | 100,000 |
| Hôtel | 0,000 | 0,001 | 0,062 | 0,996 | 7,061 | 31,608 | 100,000 |
| banque CPA | 0,000 | 0,001 | 0,086 | 1,299 | 8,644 | 35,993 | 100,000 |
| trésor | 0,000 | 0,000 | 0,013 | 0,271 | 2,498 | 15,201 | 100,000 |

Tableau.53.A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en béton armé (date <1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|
| centre commerciale | 0,000 | 0,004 | 0,304 | 3,429 | 17,517 | 54,485 | 100,000 |
| SAMPAC | 0,000 | 0,001 | 0,078 | 1,199 | 8,138 | 34,642 | 100,000 |
| supérette | 0,000 | 0,515 | 8,271 | 32,861 | 68,837 | 94,907 | 100,000 |
| Marché publique | 0,000 | 0,004 | 0,304 | 3,429 | 17,517 | 54,485 | 100,000 |

Tableau.54.A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en béton armé (date >1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|
| mairie annexe | 0,000 | 0,750 | 10,421 | 37,646 | 73,318 | 96,191 | 100,000 |
| Bibliothèque centrale | 0,000 | 0,336 | 6,315 | 27,903 | 63,548 | 93,105 | 100,000 |
| Locale commercial | 0,000 | 0,750 | 10,421 | 37,646 | 73,318 | 96,191 | 100,000 |
| locale 3 | 0,000 | 3,928 | 27,131 | 62,860 | 89,819 | 99,278 | 100,000 |







Tableau.55.A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en charpente métallique (date >1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|
| locale 4 | 0,000 | 2,048 | 18,885 | 52,333 | 84,140 | 98,486 | 100,000 |
| locale 5 | 0,000 | 2,048 | 18,885 | 52,333 | 84,140 | 98,486 | 100,000 |
| locale 6 | 0,000 | 2,048 | 18,885 | 52,333 | 84,140 | 98,486 | 100,000 |

2- calcule La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k s'écrit sous la forme :

Formule :
$$p_k = P_{\beta}(k+1) - P_{\beta}(k)$$

Tableau.56.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en maçonnerie (date < 1980).

| Degré des dommages Constructions | D0  | D1  | D2  | D3  | D4  | D5  |
|-------------------------------------|---|---|---|--|---|---|
| structure 1 | 0,000 | 0,032 | 0,555 | 4,087 | 19,254 | 76,072 |
| structure 2 | 0,002 | 0,168 | 2,035 | 10,585 | 32,877 | 54,333 |
| structure 3 | 0,001 | 0,120 | 1,573 | 8,847 | 30,158 | 59,301 |
| structure 4 | 0,000 | 0,008 | 0,182 | 1,675 | 10,298 | 87,837 |
| structure 5 | 0,001 | 0,075 | 1,092 | 6,807 | 26,223 | 65,802 |
| structure 6 | 0,000 | 0,032 | 0,555 | 4,087 | 19,254 | 76,072 |
| structure 7 | 0,000 | 0,011 | 0,234 | 2,053 | 11,974 | 85,729 |
| structure 8 | 0,000 | 0,015 | 0,300 | 2,516 | 13,860 | 83,308 |
| structure 9 | 0,000 | 0,054 | 0,841 | 5,611 | 23,446 | 70,048 |
| structure 10 | 0,000 | 0,008 | 0,182 | 1,675 | 10,298 | 87,837 |
| structure 11 | 0,001 | 0,105 | 1,418 | 8,218 | 29,040 | 61,218 |
| structure 12 | 0,000 | 0,001 | 0,037 | 0,419 | 3,340 | 96,203 |
| structure 13 | 0,000 | 0,028 | 0,500 | 3,772 | 18,274 | 77,426 |
| structure 14 | 0,000 | 0,002 | 0,046 | 0,515 | 3,988 | 95,449 |
| structure 15 | 0,000 | 0,015 | 0,300 | 2,516 | 13,860 | 83,308 |
| structure 16 | 0,000 | 0,054 | 0,841 | 5,611 | 23,446 | 70,048 |
| structure 17 | 0,000 | 0,008 | 0,182 | 1,675 | 10,298 | 87,837 |
| structure 18 | 0,000 | 0,021 | 0,387 | 3,083 | 15,962 | 80,548 |
| structure 19 | 0,000 | 0,006 | 0,143 | 1,366 | 8,821 | 89,664 |
| structure 20 | 0,000 | 0,006 | 0,143 | 1,366 | 8,821 | 89,664 |
| structure 21 | 0,000 | 0,006 | 0,143 | 1,366 | 8,821 | 89,664 |
| structure 22 | 0,000 | 0,028 | 0,500 | 3,772 | 18,274 | 77,426 |
| structure 23 | 0,000 | 0,007 | 0,150 | 1,423 | 9,101 | 89,320 |
| structure 24 | 0,000 | 0,022 | 0,407 | 3,210 | 16,408 | 79,953 |
| structure 25 | 0,000 | 0,021 | 0,387 | 3,083 | 15,962 | 80,548 |
| structure 26 | 0,000 | 0,011 | 0,234 | 2,053 | 11,974 | 85,729 |
| banque BNA | 0,007 | 0,420 | 3,989 | 16,448 | 38,864 | 40,273 |
| banque BADR | 0,000 | 0,004 | 0,093 | 0,948 | 6,614 | 92,341 |
| supérette 2 | 0,000 | 0,004 | 0,093 | 0,948 | 6,614 | 92,341 |
| mairie | 0,002 | 0,168 | 2,035 | 10,585 | 32,877 | 54,333 |
| sonal gaz | 0,000 | 0,007 | 0,150 | 1,423 | 9,101 | 89,320 |
| caisse régionale | 0,001 | 0,086 | 1,213 | 7,345 | 27,349 | 64,007 |
| locale 1 | 0,001 | 0,075 | 1,092 | 6,807 | 26,223 | 65,802 |
| locale 2 | 0,000 | 0,009 | 0,192 | 1,744 | 10,617 | 87,439 |
| la poste | 0,003 | 0,236 | 2,624 | 12,564 | 35,392 | 49,181 |

| | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| DTP | 0,001 | 0,086 | 1,213 | 7,345 | 27,349 | 64,007 |
| Banque BEA | 0,002 | 0,168 | 2,035 | 10,585 | 32,877 | 54,333 |
| Hôtel | 0,001 | 0,061 | 0,934 | 6,065 | 24,547 | 68,392 |
| banque CPA | 0,001 | 0,086 | 1,213 | 7,345 | 27,349 | 64,007 |
| trésor | 0,000 | 0,013 | 0,258 | 2,227 | 12,703 | 84,799 |

Tableau.57.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en béton armé (date<1980).







| Degré des dommages | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|--------------------|---|---|---|--|---|---|
| Constructions |  |  |  |  |  |  |
| centre commerciale | 0,004 | 0,300 | 3,125 | 14,088 | 36,968 | 45,515 |
| SAMPAC | 0,001 | 0,077 | 1,121 | 6,939 | 26,504 | 65,358 |
| supérette | 0,515 | 7,755 | 24,590 | 35,976 | 26,070 | 5,093 |
| Marché publique | 0,004 | 0,300 | 3,125 | 14,088 | 36,968 | 45,515 |

Tableau.58.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en béton armé (date>1980).









| Degré des dommages | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|-----------------------|---|--|---|---|---|---|
| Constructions |  |  |  |  |  | |
| mairie annexe | 0,750 | 9,671 | 27,225 | 35,671 | 22,873 | 3,809 |
| Bibliothèque centrale | 0,336 | 5,979 | 21,588 | 35,644 | 29,557 | 6,895 |
| Locale commercial | 0,750 | 9,671 | 27,225 | 35,671 | 22,873 | 3,809 |
| locale 3 | 3,928 | 23,202 | 35,729 | 26,959 | 9,459 | 0,722 |

Tableau.59.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en charpente métallique (date >1980).

| Degré des dommages | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|--------------------|---|---|---|---|---|---|
| Constructions |  |  |  | | | |
| locale 4 | 2,048 | 16,837 | 33,447 | 31,807 | 14,346 | 1,514 |
| locale 5 | 2,048 | 16,837 | 33,447 | 31,807 | 14,346 | 1,514 |
| locale 6 | 2,048 | 16,837 | 33,447 | 31,807 | 14,346 | 1,514 |

➤ Intensité = I₁₁

3- calcule la probabilité des dommages par la loi béta.

Formule :
$$P\beta(X) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(r) + \Gamma(t-r)} (x-a)^{r-1} (b-x)^{t-r-1}$$

$$X=0, \dots, 6$$

Tableau.60.A-Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en maçonnerie (date < 1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| structure 1 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,080 | 0,886 | 6,685 | 100,000 |
| structure 2 | 0,000 | 0,000 | 0,013 | 0,271 | 2,498 | 15,201 | 100,000 |
| structure 3 | 0,000 | 0,000 | 0,009 | 0,211 | 2,027 | 12,971 | 100,000 |
| structure 4 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,029 | 0,355 | 3,034 | 100,000 |
| structure 5 | 0,000 | 0,000 | 0,006 | 0,149 | 1,515 | 10,336 | 100,000 |
| structure 6 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,080 | 0,886 | 6,685 | 100,000 |
| structure 7 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,037 | 0,438 | 3,660 | 100,000 |
| structure 8 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,046 | 0,540 | 4,390 | 100,000 |
| structure 9 | 0,000 | 0,000 | 0,005 | 0,117 | 1,232 | 8,760 | 100,000 |
| structure 10 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,029 | 0,355 | 3,034 | 100,000 |
| structure 11 | 0,000 | 0,000 | 0,008 | 0,191 | 1,865 | 12,163 | 100,000 |
| structure 12 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,004 | 0,060 | 0,577 | 100,000 |
| structure 13 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,073 | 0,816 | 6,241 | 100,000 |
| structure 14 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,006 | 0,085 | 0,803 | 100,000 |
| structure 15 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,046 | 0,540 | 4,390 | 100,000 |
| structure 16 | 0,000 | 0,000 | 0,005 | 0,117 | 1,232 | 8,760 | 100,000 |
| structure 17 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,029 | 0,355 | 3,034 | 100,000 |
| structure 18 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,058 | 0,664 | 5,244 | 100,000 |
| structure 19 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,023 | 0,286 | 2,498 | 100,000 |
| structure 20 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,023 | 0,286 | 2,498 | 100,000 |
| structure 21 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,023 | 0,286 | 2,498 | 100,000 |
| structure 22 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,073 | 0,816 | 6,241 | 100,000 |
| structure 23 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,024 | 0,298 | 2,599 | 100,000 |
| structure 24 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,061 | 0,692 | 5,431 | 100,000 |
| structure 25 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,058 | 0,664 | 5,244 | 100,000 |
| structure 26 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,037 | 0,438 | 3,660 | 100,000 |
| banque BNA | 0,000 | 0,000 | 0,029 | 0,543 | 4,391 | 22,907 | 100,000 |
| banque BADR | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,015 | 0,190 | 1,717 | 100,000 |
| supérette 2 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,015 | 0,190 | 1,717 | 100,000 |

| | | | | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| mairie | 0,000 | 0,000 | 0,013 | 0,271 | 2,498 | 15,201 | 100,000 |
| sonal gaz | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,024 | 0,298 | 2,599 | 100,000 |
| caisse régionale | 0,000 | 0,000 | 0,007 | 0,165 | 1,647 | 11,035 | 100,000 |
| locale 1 | 0,000 | 0,000 | 0,006 | 0,149 | 1,515 | 10,336 | 100,000 |
| locale 2 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,030 | 0,370 | 3,152 | 100,000 |
| la poste | 0,000 | 0,000 | 0,017 | 0,349 | 3,079 | 17,754 | 100,000 |
| DTP | 0,000 | 0,000 | 0,007 | 0,165 | 1,647 | 11,035 | 100,000 |
| Banque BEA | 0,000 | 0,000 | 0,013 | 0,271 | 2,498 | 15,201 | 100,000 |
| Hôtel | 0,000 | 0,000 | 0,005 | 0,129 | 1,338 | 9,362 | 100,000 |
| banque CPA | 0,000 | 0,000 | 0,007 | 0,165 | 1,647 | 11,035 | 100,000 |
| trésor | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,040 | 0,476 | 3,939 | 100,000 |

Tableau.61.A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en béton armé (date <1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|
| centre commerciale | 0,000 | 0,000 | 0,021 | 0,418 | 3,564 | 19,748 | 100,000 |
| SAMPAC | 0,000 | 0,000 | 0,007 | 0,153 | 1,547 | 10,507 | 100,000 |
| supérette | 0,000 | 0,017 | 0,831 | 7,173 | 28,815 | 69,827 | 100,000 |
| Marché publique | 0,000 | 0,000 | 0,021 | 0,418 | 3,564 | 19,748 | 100,000 |

Tableau.62A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en béton armé (date >1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|
| mairie annexe | 0,000 | 0,027 | 1,149 | 9,026 | 33,364 | 74,479 | 100,000 |
| Bibliothèque centrale | 0,000 | 0,010 | 0,577 | 5,514 | 24,240 | 64,370 | 100,000 |
| Locale commercial | 0,000 | 0,027 | 1,149 | 9,026 | 33,364 | 74,479 | 100,000 |
| locale 3 | 0,000 | 0,234 | 5,004 | 24,139 | 59,002 | 91,283 | 100,000 |







Tableau.63.A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en charpente métallique (date >1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|
| locale 4 | 0,000 | 0,097 | 2,792 | 16,555 | 48,011 | 85,642 | 100,000 |
| locale 5 | 0,000 | 0,097 | 2,792 | 16,555 | 48,011 | 85,642 | 100,000 |
| locale 6 | 0,000 | 0,097 | 2,792 | 16,555 | 48,011 | 85,642 | 100,000 |

4- **calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k**
s'écrit sous la forme :

Formule :
$$P_k = P_{\beta(k+1)} - P_{\beta(k)}$$

Tableau.64.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en maçonnerie (date < 1980).

| Degré des dommages Constructions | D0  | D1  | D2  | D3  | D4  | D5  |
|-------------------------------------|---|---|---|--|---|---|
| structure 1 | 0,000 | 0,003 | 0,077 | 0,806 | 5,799 | 93,315 |
| structure 2 | 0,000 | 0,013 | 0,258 | 2,227 | 12,703 | 84,799 |
| structure 3 | 0,000 | 0,009 | 0,201 | 1,817 | 10,944 | 87,029 |
| structure 4 | 0,000 | 0,001 | 0,028 | 0,326 | 2,680 | 96,966 |
| structure 5 | 0,000 | 0,006 | 0,143 | 1,366 | 8,821 | 89,664 |
| structure 6 | 0,000 | 0,003 | 0,077 | 0,806 | 5,799 | 93,315 |
| structure 7 | 0,000 | 0,001 | 0,035 | 0,402 | 3,222 | 96,340 |
| structure 8 | 0,000 | 0,002 | 0,044 | 0,494 | 3,851 | 95,610 |
| structure 9 | 0,000 | 0,005 | 0,112 | 1,115 | 7,527 | 91,240 |
| structure 10 | 0,000 | 0,001 | 0,028 | 0,326 | 2,680 | 96,966 |
| structure 11 | 0,000 | 0,008 | 0,182 | 1,675 | 10,298 | 87,837 |
| structure 12 | 0,000 | 0,000 | 0,004 | 0,056 | 0,517 | 99,423 |
| structure 13 | 0,000 | 0,003 | 0,070 | 0,743 | 5,425 | 93,759 |
| structure 14 | 0,000 | 0,000 | 0,006 | 0,078 | 0,718 | 99,197 |
| structure 15 | 0,000 | 0,002 | 0,044 | 0,494 | 3,851 | 95,610 |
| structure 16 | 0,000 | 0,005 | 0,112 | 1,115 | 7,527 | 91,240 |
| structure 17 | 0,000 | 0,001 | 0,028 | 0,326 | 2,680 | 96,966 |
| structure 18 | 0,000 | 0,002 | 0,056 | 0,606 | 4,580 | 94,756 |
| structure 19 | 0,000 | 0,001 | 0,022 | 0,263 | 2,213 | 97,502 |
| structure 20 | 0,000 | 0,001 | 0,022 | 0,263 | 2,213 | 97,502 |
| structure 21 | 0,000 | 0,001 | 0,022 | 0,263 | 2,213 | 97,502 |
| structure 22 | 0,000 | 0,003 | 0,070 | 0,743 | 5,425 | 93,759 |
| structure 23 | 0,000 | 0,001 | 0,023 | 0,274 | 2,301 | 97,401 |
| structure 24 | 0,000 | 0,002 | 0,058 | 0,631 | 4,739 | 94,569 |
| structure 25 | 0,000 | 0,002 | 0,056 | 0,606 | 4,580 | 94,756 |
| structure 26 | 0,000 | 0,001 | 0,035 | 0,402 | 3,222 | 96,340 |
| banque BNA | 0,000 | 0,029 | 0,513 | 3,849 | 18,516 | 77,093 |
| banque BADR | 0,000 | 0,000 | 0,014 | 0,175 | 1,527 | 98,283 |
| supérette 2 | 0,000 | 0,000 | 0,014 | 0,175 | 1,527 | 98,283 |
| mairie | 0,000 | 0,013 | 0,258 | 2,227 | 12,703 | 84,799 |

| | | | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|--------|---------------|
| sonal gaz | 0,000 | 0,001 | 0,023 | 0,274 | 2,301 | 97,401 |
| caisse régionale | 0,000 | 0,007 | 0,158 | 1,482 | 9,388 | 88,965 |
| locale 1 | 0,000 | 0,006 | 0,143 | 1,366 | 8,821 | 89,664 |
| locale 2 | 0,000 | 0,001 | 0,029 | 0,340 | 2,782 | 96,848 |
| la poste | 0,000 | 0,017 | 0,332 | 2,729 | 14,675 | 82,246 |
| DTP | 0,000 | 0,007 | 0,158 | 1,482 | 9,388 | 88,965 |
| Banque BEA | 0,000 | 0,013 | 0,258 | 2,227 | 12,703 | 84,799 |
| Hôtel | 0,000 | 0,005 | 0,124 | 1,209 | 8,024 | 90,638 |
| banque CPA | 0,000 | 0,007 | 0,158 | 1,482 | 9,388 | 88,965 |
| trésor | 0,000 | 0,001 | 0,039 | 0,436 | 3,462 | 96,061 |

Tableau.65.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en béton armé (date<1980).







| Degré des dommages | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|--------------------|---|---|---|--|---|---|
| Constructions |  |  |  |  |  |  |
| centre commerciale | 0,000 | 0,021 | 0,397 | 3,146 | 16,184 | 80,252 |
| SAMPAC | 0,000 | 0,006 | 0,146 | 1,394 | 8,960 | 89,493 |
| supérette | 0,017 | 0,814 | 6,343 | 21,642 | 41,012 | 30,173 |
| Marché publique | 0,000 | 0,021 | 0,397 | 3,146 | 16,184 | 80,252 |

Tableau.66.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en béton armé (date>1980).







| Degré des dommages | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|-----------------------|---|---|---|--|---|---|
| Constructions |  |  |  |  |  |  |
| mairie annexe | 0,027 | 1,122 | 7,877 | 24,338 | 41,115 | 25,521 |
| Bibliothèque centrale | 0,010 | 0,567 | 4,937 | 18,726 | 40,130 | 35,630 |
| Locale commercial | 0,027 | 1,122 | 7,877 | 24,338 | 41,115 | 25,521 |
| locale 3 | 0,234 | 4,770 | 19,135 | 34,863 | 32,281 | 8,717 |

Tableau.67.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en charpente métallique (date >1980).

| Degré des dommages Constructions | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|-------------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| locale 4 | 0,097 | 2,695 | 13,763 | 31,457 | 37,630 | 14,358 |
| locale 5 | 0,097 | 2,695 | 13,763 | 31,457 | 37,630 | 14,358 |
| locale 6 | 0,097 | 2,695 | 13,763 | 31,457 | 37,630 | 14,358 |

➤ **Intensité =I₁₂**

5- calcule la probabilité des dommages par la loi béta.

Formule :
$$P\beta(X) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(r) + \Gamma(t-r)} (x-a)^{r-1} (b-x)^{t-r-1}$$

$X=0, \dots, 6$

Tableau.68.A-Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en maçonnerie (date < 1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| structure 1 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,012 | 0,156 | 1,432 | 100,000 |
| structure 2 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,040 | 0,476 | 3,939 | 100,000 |
| structure 3 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,032 | 0,386 | 3,273 | 100,000 |
| structure 4 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,035 | 0,345 | 100,000 |
| structure 5 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,023 | 0,286 | 2,498 | 100,000 |
| structure 6 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,012 | 0,156 | 1,432 | 100,000 |
| structure 7 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,004 | 0,056 | 0,535 | 100,000 |
| structure 8 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,006 | 0,079 | 0,755 | 100,000 |
| structure 9 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,018 | 0,228 | 2,038 | 100,000 |
| structure 10 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,035 | 0,345 | 100,000 |
| structure 11 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,029 | 0,355 | 3,034 | 100,000 |
| structure 12 | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! |
| structure 13 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,011 | 0,141 | 1,302 | 100,000 |
| structure 14 | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! |
| structure 15 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,006 | 0,079 | 0,755 | 100,000 |
| structure 16 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,018 | 0,228 | 2,038 | 100,000 |

| | | | | | | | |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| structure 17 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,035 | 0,345 | 100,000 |
| structure 18 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,008 | 0,108 | 1,009 | 100,000 |
| structure 19 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,018 | 0,179 | 100,000 |
| structure 20 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,018 | 0,179 | 100,000 |
| structure 21 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,018 | 0,179 | 100,000 |
| structure 22 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,011 | 0,141 | 1,302 | 100,000 |
| structure 23 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,021 | 0,210 | 100,000 |
| structure 24 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,009 | 0,114 | 1,064 | 100,000 |
| structure 25 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,008 | 0,108 | 1,009 | 100,000 |
| structure 26 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,004 | 0,056 | 0,535 | 100,000 |
| banque BNA | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,075 | 0,833 | 6,349 | 100,000 |
| banque BADR | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! |
| supérette 2 | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! | #NOMBRE ! |
| Mairie | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,040 | 0,476 | 3,939 | 100,000 |
| sonal gaz | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,021 | 0,210 | 100,000 |
| caisse régionale | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,025 | 0,312 | 2,703 | 100,000 |
| locale 1 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,023 | 0,286 | 2,498 | 100,000 |
| locale 2 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,039 | 0,381 | 100,000 |
| la poste | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,050 | 0,587 | 4,716 | 100,000 |
| DTP | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,025 | 0,312 | 2,703 | 100,000 |
| Banque BEA | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,040 | 0,476 | 3,939 | 100,000 |
| Hôtel | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,020 | 0,250 | 2,214 | 100,000 |
| banque CPA | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,025 | 0,312 | 2,703 | 100,000 |
| Trésor | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,005 | 0,065 | 0,619 | 100,000 |

Tableau.69.A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi bêta pour les constructions en béton armé (date <1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| centre commerciale | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,059 | 0,678 | 5,337 | 100,000 |
| SAMPAC | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,023 | 0,292 | 2,548 | 100,000 |
| supérette | 0,000 | 0,000 | 0,056 | 0,920 | 6,641 | 30,360 | 100,000 |
| Marché publique | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,059 | 0,678 | 5,337 | 100,000 |

Tableau.70.A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en béton armé (date>1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|
| mairie annexe | 0,000 | 0,001 | 0,078 | 1,199 | 8,138 | 34,642 | 100,000 |
| Bibliothèque centrale | 0,000 | 0,000 | 0,039 | 0,687 | 5,294 | 26,073 | 100,000 |
| Locale commercial | 0,000 | 0,001 | 0,078 | 1,199 | 8,138 | 34,642 | 100,000 |
| locale 3 | 0,000 | 0,007 | 0,427 | 4,416 | 20,864 | 59,727 | 100,000 |



Tableau.71.A -Estimation de la distribution des dommages (matrice de probabilité des dommages): calcule la probabilité des dommages par la loi béta pour les constructions en charpente métallique (date >1980).

| Valeurs de x Constructions | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|
| locale 4 | 0,000 | 0,003 | 0,209 | 2,580 | 14,324 | 48,741 | 100,000 |
| locale 5 | 0,000 | 0,003 | 0,209 | 2,580 | 14,324 | 48,741 | 100,000 |
| locale 6 | 0,000 | 0,003 | 0,209 | 2,580 | 14,324 | 48,741 | 100,000 |

6- calcule La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k s'écrit sous la forme :

Formule :
$$p_k = P_\beta(k+1) - P_\beta(k)$$

Tableau.72.A -Calcule La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en maçonnerie (date < 1980).

| Degré des dommages Constructions | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|-------------------------------------|---|---|---|--|---|---|
| structure 1 |  |  |  |  |  |  |
| structure 1 | 0,000 | 0,000 | 0,012 | 0,144 | 1,276 | 98,568 |
| structure 2 | 0,000 | 0,001 | 0,039 | 0,436 | 3,462 | 96,061 |
| structure 3 | 0,000 | 0,001 | 0,031 | 0,354 | 2,887 | 96,727 |
| structure 4 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,033 | 0,309 | 99,655 |
| structure 5 | 0,000 | 0,001 | 0,022 | 0,263 | 2,213 | 97,502 |
| structure 6 | 0,000 | 0,000 | 0,012 | 0,144 | 1,276 | 98,568 |
| structure 7 | 0,000 | 0,000 | 0,004 | 0,051 | 0,480 | 99,465 |
| structure 8 | 0,000 | 0,000 | 0,006 | 0,073 | 0,675 | 99,245 |
| structure 9 | 0,000 | 0,001 | 0,017 | 0,210 | 1,810 | 97,962 |
| structure 10 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,033 | 0,309 | 99,655 |

| | | | | | | |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------|
| structure 11 | 0,000 | 0,001 | 0,028 | 0,326 | 2,680 | 96,966 |
| structure 12 | #NOMBRE! | #NOMBRE! | #NOMBRE! | #NOMBRE! | #NOMBRE! | #NOMBRE! |
| structure 13 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,130 | 1,161 | 98,698 |
| structure 14 | #NOMBRE! | #NOMBRE! | #NOMBRE! | #NOMBRE! | #NOMBRE! | #NOMBRE! |
| structure 15 | 0,000 | 0,000 | 0,006 | 0,073 | 0,675 | 99,245 |
| structure 16 | 0,000 | 0,001 | 0,017 | 0,210 | 1,810 | 97,962 |
| structure 17 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,033 | 0,309 | 99,655 |
| structure 18 | 0,000 | 0,000 | 0,008 | 0,099 | 0,901 | 98,991 |
| structure 19 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,017 | 0,161 | 99,821 |
| structure 20 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,017 | 0,161 | 99,821 |
| structure 21 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,017 | 0,161 | 99,821 |
| structure 22 | 0,000 | 0,000 | 0,010 | 0,130 | 1,161 | 98,698 |
| structure 23 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,020 | 0,189 | 99,790 |
| structure 24 | 0,000 | 0,000 | 0,008 | 0,105 | 0,950 | 98,936 |
| structure 25 | 0,000 | 0,000 | 0,008 | 0,099 | 0,901 | 98,991 |
| structure 26 | 0,000 | 0,000 | 0,004 | 0,051 | 0,480 | 99,465 |
| banque BNA | 0,000 | 0,003 | 0,072 | 0,758 | 5,516 | 93,651 |
| banque BADR | #NOMBRE! | #NOMBRE! | #NOMBRE! | #NOMBRE! | #NOMBRE! | #NOMBRE! |
| supérette 2 | #NOMBRE! | #NOMBRE! | #NOMBRE! | #NOMBRE! | #NOMBRE! | #NOMBRE! |
| mairie | 0,000 | 0,001 | 0,039 | 0,436 | 3,462 | 96,061 |
| sonal gaz | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,020 | 0,189 | 99,790 |
| caisse régionale | 0,000 | 0,001 | 0,024 | 0,286 | 2,391 | 97,297 |
| locale 1 | 0,000 | 0,001 | 0,022 | 0,263 | 2,213 | 97,502 |
| locale 2 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,036 | 0,341 | 99,619 |
| la poste | 0,000 | 0,002 | 0,049 | 0,536 | 4,129 | 95,284 |
| DTP | 0,000 | 0,001 | 0,024 | 0,286 | 2,391 | 97,297 |
| Banque BEA | 0,000 | 0,001 | 0,039 | 0,436 | 3,462 | 96,061 |
| Hôtel | 0,000 | 0,001 | 0,019 | 0,230 | 1,964 | 97,786 |
| banque CPA | 0,000 | 0,001 | 0,024 | 0,286 | 2,391 | 97,297 |
| trésor | 0,000 | 0,000 | 0,005 | 0,060 | 0,555 | 99,381 |

Tableau.73.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en béton armé (date<1980).


| Degré des dommages | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|--------------------|---|---|---|--|---|---|
| Constructions |  |  |  |  |  |  |
| centre commerciale | 0,000 | 0,002 | 0,057 | 0,619 | 4,659 | 94,663 |
| SAMPAC | 0,000 | 0,001 | 0,023 | 0,268 | 2,256 | 97,452 |
| supérette | 0,000 | 0,056 | 0,864 | 5,722 | 23,719 | 69,640 |
| Marché publique | 0,000 | 0,002 | 0,057 | 0,619 | 4,659 | 94,663 |

Tableau.74.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en béton armé (date>1980).













| Degré des dommages | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|-----------------------|---|---|---|--|---|---|
| Constructions |  |  |  |  |  |  |
| mairie annexe | 0,001 | 0,077 | 1,121 | 6,939 | 26,504 | 65,358 |
| Bibliothèque centrale | 0,000 | 0,039 | 0,648 | 4,607 | 20,779 | 73,927 |
| Locale commercial | 0,001 | 0,077 | 1,121 | 6,939 | 26,504 | 65,358 |
| locale 3 | 0,007 | 0,420 | 3,989 | 16,448 | 38,864 | 40,273 |

Tableau.75.A -Calcule La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les constructions en charpente métallique (date >1980).

| Degré des dommages | D0 | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 |
|--------------------|---|---|---|--|---|---|
| Constructions |  |  |  |  |  |  |
| locale 4 | 0,003 | 0,206 | 2,372 | 11,743 | 34,418 | 51,259 |
| locale 5 | 0,003 | 0,206 | 2,372 | 11,743 | 34,418 | 51,259 |
| locale 6 | 0,003 | 0,206 | 2,372 | 11,743 | 34,418 | 51,259 |