



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la  
Recherche Scientifique**

جامعة عبد الحميد ابن باديس  
**Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem**  
كلية العلوم والتكنولوجيا



**Faculté des Sciences et de la Technologie Département de Génie Civil & Architecture**

N°d'ordre :M...../GCA/2022

**MEMOIREDEFIND'ETUDE  
POURL'OBTENTIONDUDIPLOME  
DEMASTERACADEMIQUE**

**Filière : Génie Civil**

**Spécialité : STRUCTURE**

**Thème**

**Evaluation de la vulnérabilité d'un tissu urbain  
historique « Etude scénario sismique »  
De la ville de Mostaganem par la méthode RISK-UE**

**Présenté par :**

1. M<sup>elle</sup> KHEIRAT CHAHRAZED
2. M<sup>elle</sup> MAAMAR ZOHRA

**Devant le jury : soutenu le**

**07/07/2022**

- Présidente : Madame AIDA ACHOUR
- Examineur : Mr BOURDIM SIDI MOHAMED ELAMINE
- Encadreur : Mr SABEUR BENDEHIBA

**Année Universitaire : 2021/2022**

# REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH qui a été éclairé mon chemin d'étude et le tout puissant de nous donner la force et la patience pour réaliser ce travail. « الحمد لله »

En second lieu, Nous tenons à remercier notre encadreur Monsieur **SABEUR BENDEHIBA**, pour Maitre de conférences à l'Université de Mostaganem, de nous avoir encadrés et dirigés.

Nous remercions les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer le présent de travail :

Mm **AIDA ACHOUR** d'avoir accepté de présider le jury de notre mémoire ainsi que pour ses enseignements durant notre étude universitaire.

Mr **BOURDIM SIDI MOHAMED ELAMINE** d'avoir accepté de faire partie de ce jury afin d'examiner notre travail.

Enfin, Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail

# DEDICACES

A nos chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A tous nos familles, mes amis et mes professeurs pour leur soutien tout à la longe nos parcours universitaire.

A toute personne qui nous' a aidé et encouragé pour progresser et réussir durant toute cette période.

A notre encadreur pour son suivi de notre mémoire.

***KHEIRAT CHAHRAZED***

***MAAMAR ZOHRA***

# 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 répondent à des normes parasismiques, en vigueur dès 1980 en Algérie, le patrimoine bâti des principales villes de la province du nord d'Algérie est constitué d'un nombre important de bâtiments plus anciens. Il est généralement admis que ces structures présentent une vulnérabilité élevée et parmi celles-ci, les structures en maçonnerie sont considérées parmi les plus vulnérables. Cette recherche se concentre sur l'analyse de la vulnérabilité sismique des constructions de différentes typologies construites avant et après 1980. Ce 53 structures de différents usages dont une importante proportion a une valeur patrimoniale ou présente un intérêt patrimonial confirmé.

L'expérience acquise en Europe, particulièrement en Italie et en Suisse, dans la conservation/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, que nous avons retenue pour notre étude. Elle 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 retenue 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'élaboration d'un formulaire permettant une évaluation rapide de la vulnérabilité des constructions est également un extrait de notre recherche. Celui-ci pourra être utilisé comme outil de gestion par les autorités gouvernementales.

Compte tenu de l'intérêt de l'évaluation sismique des bâtiments existants, des recommandations sont faites pour améliorer les connaissances sur la vulnérabilité sismique des bâtiments de la province du nord d'Algérie

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

.

## Abstract

The answer of the buildings to the seismic requests to which they are subjected depends on their structural characteristics, consequently on qualities and deficiencies which are associated for them. If the new structures built after 1980 in Algeria obey at parasismic norms, it is important to stress that the built heritage of the main cities of the area of the north of Algeria gathers a significant number of older buildings. It is generally admitted that these structures present a high vulnerability where those of masonry remain most vulnerable. For this purpose, this research concentrates on the analysis of the seismic vulnerability of constructions with various typologies built before and after 1980. Let us note that an important proportion of these 51 structures of various uses, presents a patrimonial value and interest confirmed.

The experience gained in Europe, particularly in Italy and Switzerland, in the conservation safeguarding of patrimonial buildings led to the development of various methods of analysis: for instance, the approach RISK UE with macro elements retained in our study It stresses on the main hypothesis that masonry structures are constituted of elements free which behavior independently from each other's, In the base of the 53 buildings inventoried at the town of Mostaganem, the macro seismic method RISK UE retained ,is based on an evaluation of vulnerability induce for a given building, this induce is depends on constructive typology of buildings and the different factors which affects their behavior according to this indices, it is possible to define it is possible to define according to the macro seismic intensity of EMS -98 vulnerability curves allowing evaluation of damage probabilities on the building.

As a part of our research, we tend to elaborate a formula which could help a quick evaluation of building vulnerability, which can be used as an by authorities Recommendations are suggested which aim at developing knowledge about building seismic vulnerability in the north of Algeria

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

## ملخص

ترتبط استجابة المباني للزلازل الارتباطا وثيقا بخصائصها الهيكلية ومن ثم من الـمزايا و النقصان المتعلقة بها. إذا سلمنا أن المباني المنشأة 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 موروثة 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 هيكله المباني المعمارية التي تتميز عن غيرها بأنها تحتوي على عناصر تتمتع "بحرية" عناصرها و التي لكل منها سلوك مستقل عن العنصر الآخر .

و من خلال تجريد 53 بناية الموجودة على شـطر من وسط مدينة مستغانم ، ارتكزت هذه الطريقة RISK UE المستوى الأول على تقييم مؤشر هشاشة بناية مرتبط أساسا بالبنوع 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 استمارة 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 و نظرا للأهمية التي يكتسبها التقييم الزلزالي لمختلف المباني الموجودة ، نقترح توصيات من شأنها تطوير المعلومات حول هشاشة المباني المنتشرة في الشمال الجزائري

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

## Sommaire

REMERCIEMENTS .....	
DEDICACES .....	
Abstract .....	
ملخص.....	
Introduction :.....	1
1. Définition de l'Aléa sismique : .....	2
1.1. L'aléa sismique est la probabilité qu'un séisme destructeur de caractéristiques données. ....	2
1.2. L'aléa sismique en Algérie (ouest) : .....	2
2. Evaluation de l'aléa sismique :.....	3
3. Les différentes étapes d'évaluation de l'aléa sismique : .....	3
3.1. Aléa régional : .....	4
3.2. Aléa local : .....	4
2. Comportements des bâtiments : .....	7
2.1 Bâtiments d'habitation.....	7
2.2 Etablissement hospitalier .....	12
2.3 Etablissement religieux .....	13
3. Le risque sismique : .....	13
4 Carte sismique :.....	14
5. Caractéristiques d'un séisme :.....	14
5. 1. Le foyer ou hypocentre : .....	15
5.2 Mesure et évaluation des séismes : .....	15
6. Caractérisation de l'aléa sismique .....	16
6.1. L'origine des séismes .....	16
6.2. L'enregistrement des séismes .....	17
6.3. Les ondes sismiques.....	18
6.4. Déformation plastique.....	20
6.5. Déformation cassante .....	21
6.6. La quantification des séismes.....	23
6.7. L'intensité macrosismique.....	24
6.8. Relation entre intensité et magnitude.....	25
6.9. La localisation des séismes .....	25
6.10. Caractérisation d'une source sismique .....	26



6.10.1. Définition de la source .....	26
6.10.2. Géométrie de la source.....	27
6.10.3. Magnitude du séisme maximum .....	27
6.10.4. La récurrence sismique .....	28
6.10.5. Les effets de site.....	28
7. Prévention : .....	29
Chapitre 3 : .....	33
Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtis existants. ....	33
1.1 Introduction .....	33
1.2 Présentation des méthodes .....	33
2. Etude de critère de vulnérabilité .....	34
2.1.Approche du projet européen RISK-UE (2003) Im1 .....	34
2.1.1. Description .....	34
2.2. Champ d'application .....	35
3. Données et compétences nécessaires .....	36
3.1. Données nécessaires.....	36
3.2. Compétences à mobiliser .....	36
Étape 1 : Estimation de l'indice de vulnérabilité $V_I$ .....	36
1- Déterminer l'indice $V_I^*$ fonction de la typologie du bâtiment.....	36
Valeurs des facteurs $V_m$ pour les bâtiments en maçonnerie.....	37
Valeurs des facteurs $V_m$ pour les bâtiments en béton armé .....	38
3- Évaluer le facteur $\square V_R$ de vulnérabilité régionale .....	38
4- Calculer l'indice de vulnérabilité $V_I$ .....	39
Etape 2 : Estimation du dommage moyen $\mu_D$ .....	39
Etape 3 : Estimation de la distribution de dommages (matrice de probabilité de dommages et courbe de fragilité.....	39
Classification des dégâts aux bâtiments (degrés de dommages) selon l'échelle EMS 98 :.....	40
Initialement développée pour qualifier l'intensité d'un séisme. ....	40
Chapitre 4 : Etude scénarios sismiques .....	43
Zone de couverture d'étude des bâtiments. ....	43
Localisation de la zone d'étude.....	44
Distribution des constructions dans la zone d'étude .....	45
Catégorie des constructions diagnostiquées.....	45

Missions d'enquête sur le terrain d'étude .....	46
2. Estimation de l'indice de vulnérabilité pour les bâtiments interrogés .....	48
2.2. Estimation de degrés des dommages moyens pour les constructions en (béton armé et maçonnerie) .....	49
3 Distribution des dommages et scénarios sismique de différentes intensités .....	50
3.1 Scénario sismique pour Intensité I=5 .....	50
3.2 Scénario sismique pour l'intensité I=6.....	52
3.3 Scénario sismique pour intensité I=7 .....	53
3.5 Scénario sismique pour intensité I=9 .....	55
3.6 Scénarios sismique pour intensité I=10 .....	56
3.7 Scénarios sismique pour intensité I=11 .....	57
3.8 Scénarios sismique pour intensité I=12 .....	58
6 Cartographie de distribution des dommages pour les constructions de la zone d'étude.....	59
Conclusion .....	64
Bibliographie.....	65
Annexe 1: Sigles utilisés .....	66
Annexe 2: Symbole utilisé .....	67

## Listes des figures

FIGURE 1 : EXEMPLE DE SISMOGRAMME .....	17
FIGURE 2 : QUATRE SCHEMAS ILLUSTRANT LE MOUVEMENT DU SOL LORS DU PASSAGE DES DIFFERENTES ONDES SISMIQUES (INTERNET : EOST.U-STRASBG.FR, 2005) .....	19
FIGURE 3 : LA DEFORMATION D'UN JEU DE CARTE SOUS CONTRAINTES DE COMPRESSION.....	19
FIGURE 4 : LA DEFORMATION D'UN JEU DE CARTE SOUS CONTRAINTES DE TENSION .....	20
FIGURE 5 : DIFFERENTS TYPES DE PLIS SOUS L'EFFET DE CONTRAINTES DE COMPRESSION (INTERNET : GGL.ULAAVAL.CA, 2005) .....	20
FIGURE 6 : DIFFERENTS TYPES DE FAILLES SOUS DIFFERENTS REGIMES DE CONTRAINTES (INTERNET : GGL.ULAAVAL.CA, 2005) .....	21
FIGURE 7 : EXEMPLE DE FAILLE EN SURFACE. FAILLE DE SPITACK, ARMENIE (INTERNET : BRGM.FR, 2005). .....	22
FIGURE 8: ORIGINE ET PARAMETRES DEFINISSANTS UN SEISME (INTERNET : CGS.DZ, 2004).....	25
FIGURE 9: BLOC-DIAGRAMME ILLUSTRANT LES EFFETS DE SITE PROVOQUES PAR LE PASSAGE DES ONDES SISMIQUES DANS LE SOUS-SOL (INTERNET : GEO-TER.FR, 2005) .....	29
FIGURE 10 : REPARTITION DES DOMMAGES MOYENS EN FONCTION DES INTENSITES .....	39
FIGURE 11 : TYPOLOGIES EMS-98 ASSOCIEES A UNE CLASSE DE VULNERABILITE.....	40
FIGURE 12 : CLASSIFICATION DES DAMAGES DU BATI EN MAÇONNERIE SELON EMS-98 <sup>6</sup> .....	41
<b>FIGURE 13:</b> CLASSIFICATION DES DAMAGES DU BATI EN BETON ARME SELON EMS-98.....	42
FIGURE 14 : CARTE DE LA WILAYA DE MOSTAGANEM (FORMAT MAPP INFO).....	44
FIGURE 15 : LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE DANS LA CARTE DE MOSTAGANEM (URBOR MOSTAGANEM) .....	44
FIGURE 16 : LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE (GOOGLE EARTH).....	45
FIGURE 17 : INFORMATIONS COLLECTEES DES DONNEES A PARTIR DE MISSIONS D'ENQUETE SUR LE TERRAIN DES BATIMENTS EXISTANTS .....	47
FIGURE 18 : DATE ET TYPE DES CONSTRUCTIONS SURVEILLEES.....	47
FIGURE 19 : DATE ET TYPE DES CONSTRUCTIONS EXPERTISEES (DIAGNOSTIQUEES) .....	48
FIGURE 20 : TYPOLOGIES ET USAGE DES CONSTRUCTIONS EXISTANTES ET LEURS DISTRIBUTIONS DANS LA ZONE D'ETUDE. ....	48
FIGURE 21 : DISTRIBUTIONS DES INDICES DE VULNERABILITE DES CONSTRUCTIONS EXISTANTS DANS LA ZONE D'ETUDE.....	49
FIGURE 22 : DISTRIBUTIONS DES INDICES DE VULNERABILITE DES CONSTRUCTIONS EXISTANT ESTIMATION DE DEGRES DES DOMMAGES MOYENS ET PRESENTATION DES COURBES DE VULNERABILITE .....	49
FIGURE 23 : ESTIMATION DES DOMMAGES MOYENS POUR TOUTES LES CONSTRUCTIONS .....	49
FIGURE 24 : ESTIMATION DES DOMMAGES MOYENS POUR LES CONSTRUCTIONS EN BETON ARME .....	50
FIGURE 25 : ESTIMATION DES DOMMAGES MOYENS POUR LES CONSTRUCTIONS EN MAÇONNERIE .....	50
FIGURE 26 : DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR LES CONSTRUCTIONS EN MAÇONNERIE (DATE<1980).....	51
FIGURE 27: DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR LES CONSTRUCTIONS EN BETON ARME (DATE >1980).....	51

FIGURE 28 : DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR LES CONSTRUCTIONS EN MAÇONNERIE (DATE <1980).....	52
FIGURE 29 : DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR LES CONSTRUCTIONS EN BETON ARME (DATE >1980).....	52
FIGURE 30 : DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR LES CONSTRUCTIONS EN MAÇONNERIE .....	53
FIGURE 31 : DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR LES CONSTRUCTIONS EN BETON ARME (DATE>1980).....	53
FIGURE 32 : DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR LES CONSTRUCTIONS EN MAÇONNERIE.....	54
FIGURE 33 : DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR LES CONSTRUCTIONS EN BETON ARME (DATE>1980).....	54
FIGURE 34 : DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR LES CONSTRUCTIONS EN MAÇONNERIE.....	55
FIGURE 35 : DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR LES CONSTRUCTIONS EN BETON ARME (DATE>1980).....	55
FIGURE 36 : DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR LES CONSTRUCTIONS EN MAÇONNERIE.....	56
FIGURE 37 : DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR LES CONSTRUCTIONS EN BETON ARME (DATE>1980).....	56
FIGURE 38 : DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR LES CONSTRUCTIONS EN MAÇONNERIE.....	57
FIGURE 39 : DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR LES CONSTRUCTIONS EN BETON ARME (DATE>1980).....	57
FIGURE 40 : DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR LES CONSTRUCTIONS EN MAÇONNERIE.....	58
FIGURE 41 : DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR LES CONSTRUCTIONS EN BETON ARME (DATE>1980).....	58
FIGURE 42 : CARTOGRAPHIE DE DISTRIBUTION DES DOMMAGES SELON EMS 98 INTENSITE I=659	
FIGURE 43 : CARTOGRAPHIE DE DISTRIBUTION DES DOMMAGES SELON EMS 98 INTENSITE I=759	
FIGURE 44 : CARTOGRAPHIE DE DISTRIBUTION DES DOMMAGES SELON EMS 98 INTENSITE I=860	
FIGURE 45 : CARTOGRAPHIE DE DISTRIBUTION DES DOMMAGES SELON EMS 98 INTENSITE I=960	
FIGURE 46: CARTOGRAPHIE DE DISTRIBUTION DES DOMMAGES SELON EMS 98 INTENSITE I=1061	
FIGURE 47: CARTOGRAPHIE DE DISTRIBUTION DES DOMMAGES SELON EMS 98 INTENSITE I=1161	
FIGURE 48: CARTOGRAPHIE DE DISTRIBUTION DES DOMMAGES SELON EMS 98 INTENSITE I=1262	
FIGURE 49: SYNTHÈSE DES SCÉNARIOS DES DÉFERENTS DOMMAGES GLOBAUX SELON EMS 98 DE DÉFERENTES INTENSITÉS.....	63

### ***Listes des tableaux***

TABLEAU 1 : DETERMINATION DE L'INDICE $V_I^*$ FONCTION DE LA TYPOLOGIE DU BATIMENT ...	37
TABLEAU 2 : DETERMINATION DE L'INDICE $V_M$ FONCTION DE LA TYPOLOGIE DU BATIMENT ....	38
TABLEAU 3 : VALEURS DES FACTEURS $V_M$ POUR LES BATIMENTS EN BETON ARME.....	38
TABLEAU 4 : CATEGORIES DES BATS EXPERTISES. ....	45
TABLEAU 5 : SYNTHESE DE DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR EMS 98 INTENSITE I=5 .....	51
TABLEAU 6 : SYNTHESE DE DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR EMS 98 INTENSITE I=6 .....	53
TABLEAU 7 : SYNTHESE DE DISTRIBUTION DES DOMMAGES SELON EMS 98 INTENSITE I =7 .....	54
TABLEAU 8: SYNTHESE DE DISTRIBUTION DES DOMMAGES SELON EMS 98 INTENSITE I =8 .....	55
TABLEAU 9 : SYNTHESE DE DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR EMS 98 INTENSITE I=9 .....	56
TABLEAU 10 : SYNTHESE DE DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR EMS 98 INTENSITE I=10....	57
TABLEAU 11 :SYNTHESE DE DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR EMS 98 INTENSITE I=11 .....	58

# Introduction

---

## **Introduction :**

L'Algérie se situe sur une frontière active de plaques au niveau de la convergence de l'Afrique et de l'Eurasie. Ces plaques se rapprochent à une vitesse de l'ordre de 6 millimètres par an, ce qui génère une accumulation importante de contraintes. Lorsque ces contraintes deviennent trop fortes, certaines failles peuvent être mises en mouvement. Le déplacement rapide des bords de la faille génère alors des ondes sismiques qui se propagent jusqu'à la surface. Les principales failles actives sont localisées au niveau de la chaîne de montagne nord-africaine (Atlas). Le mouvement relatif des bords de la faille tel qu'il a été enregistré par les sismomètres montre un raccourcissement cohérent avec le mouvement global des plaques. Pour le moment, la faille qui est à l'origine du séisme du 21 mai 2003 n'est pas identifiée. Compte tenu des premières informations sismologiques, la prolongation orientale de la faille majeure connue localement (faille de Thenia) pourrait avoir été activée lors de ce séisme.

Compte tenu de sa localisation dans une zone de convergence de plaques, l'Algérie est une région à forte sismicité. Au cours de son histoire, elle a subi plusieurs séismes destructeurs. Parmi les plus notables, on peut citer : 1715, séisme d'Alger, 20000 morts ; 1954 séismes d'Orléans ville (EL Asnam), magnitude 6,7, 1 200 morts, 20000 bâtiments détruits ; 1980 séismes d'El Asnam, magnitude 7,1, 2600 morts.

La prédiction des séismes à court terme n'étant pas possible actuellement, il faut évaluer le risque qu'un séisme destructeur se produise pour protéger efficacement une région par des constructions adaptées et pour préparer la population : c'est le domaine de la prévention sismique. Pour évaluer l'aléa sismicité lequel est la notion de risque sismique intègre à la fois la notion d'aléa et la perte probable en biens et activités productives ainsi qu'en vie humaines, cette dernière elle est causée par la fragilité des structures qu'elle est caractérisée la capacité des bâtiments à supporter les secousses sismiques (vulnérabilité sismique).

## **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 l'ensemble des 53 structures de différentes typologies, 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 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.

# CHAPITRE 1 : Aléa sismique « sismologie » :

## 1. Définition de l'Aléa sismique :

**1.1. L'aléa sismique** est la probabilité qu'un **séisme** destructeur de caractéristiques données (exprimées en général par des paramètres tels que l'accélération, la période de récurrence, l'intensité, le spectre de réponse...) se produise dans une région donnée pendant une période donnée. Il ne doit pas être confondu avec le **risque sismique** qui est la probabilité qu'un séisme engendre des destructions et fasse des victimes. Ce risque est une combinaison de « l'aléa sismique, la concentration des biens et des personnes et la vulnérabilité des infrastructures ».

L'évaluation de l'aléa peut se faire par une méthode déterministe ou probabiliste de **prévision sismique**. « Dans le premier cas, les caractéristiques sont celle d'un évènement réel, éventuellement assortie d'une marge de sécurité (séisme le fort connu historiquement par exemple). Dans l'approche probabiliste, l'ensemble des données permettant l'estimation de l'aléa sont examinées dans un cadre statistique, et l'aléa est alors exprimé comme une probabilité de dépasser un niveau fixé. »

## **1.2. L'aléa sismique en Algérie (ouest) :**

"L'évaluation de l'aléa sismique et du risque de catastrophes en Algérie est une question importante du point de vue scientifique et politique.

L'aléa sismique étant relativement important en Algérie car lié à des magnitudes fortes à modérées, la vulnérabilité peut être élevée et la gestion intégrée des risques devient de ce fait un objectif décisif", a indiqué le directeur de recherche à l'Institut de physique du Globe de Strasbourg (France), Mustapha Meghraoui, lors de la rencontre nationale sur la gestion des risques de catastrophes.

Il a affirmé que "le zonage sismique et l'évaluation de l'aléa sismique tels qu'adoptés dans la conception parasismique actuelle comporte des lacunes et le risque sismique demeure élevé".

Pour M. Meghraoui, l'évaluation de l'aléa sismique et l'atténuation du risque sismique nécessitent "une meilleure prise en charge pour cadrer avec les priorités des recommandations de la Conférence de Sendai pour la réduction des risques de catastrophes tenue en 2015"

"Les études d'aléa et de risque sismiques sont nécessaires pour la compréhension du potentiel destructeur des séismes qui peuvent entraîner des pertes en vies humaines, ainsi que des perturbations sociales et économiques", selon la communication de cet expert intitulée "le défi de l'atténuation du risque sismique au Nord de l'Algérie".

Il a indiqué que l'Atlas tellien en Algérie, qui fait partie de la frontière de plaques en Méditerranée occidentale, "est une des régions les plus actives sismiquement", rappelant les séismes dévastateurs tels que ceux d'Alger (1716, 20.000 morts), d'Oran (1790, 3.000 morts), ou Blida (1825, 7.000 morts). Durant les 60 dernières années, pas moins d'une quinzaine de séismes dommageables ont frappé l'Algérie : El Asnam (1954, 6.7 degrés, 1.243 morts et 1980, 7.2 degrés, 2.633 morts), Boumerdes (2003, 6.8 degrés, 2.278 morts).

## CHAPITRE 1

---

De son côté, Mme Assia Harbi, responsable au Centre de recherche en astronomie, astrophysique et géophysique (CRAAG), a plaidé en faveur de la conception d'une base de données où sera consigné l'ensemble des zones sismiques du territoire national.

"Nous savons qu'une région qui a vécu un séisme aujourd'hui en expérimentera un autre dans un certain nombre d'années", a-t-elle estimé, considérant que "la meilleure des prédictions reste donc la connaissance des effets des séismes passés pour se préparer aux effets des séismes qui auront lieu dans le futur".

Pour elle, "consigner les résultats de cette exploration dans une base de données et la mettre à la disposition de tous les utilisateurs revêt une grande importance. Traduire la description des effets des séismes en chiffres et en cartes est très utile dans la réduction du risque sismique", a-t-elle suggéré

### **2. Evaluation de l'aléa sismique :**

L'évaluation de l'aléa sismique se base sur la distribution temporelle et spatiale des séismes de la région étudiée, c'est-à-dire sa sismicité. L'hypothèse principale qui régit l'évaluation de l'aléa sismique est celle supposant que les séismes passés peuvent se reproduire dans la zone où ils sont apparus. La plupart des séismes historiques utilisés dans l'évaluation de l'aléa sismique se sont produits à des époques où ils ne pouvaient être enregistrés, ce qui pose le problème de l'absence de mesures directes de leur magnitude. Pour déterminer la profondeur et la magnitude de ces paléo-séismes, il faut utiliser des valeurs empiriques déterminées à partir de l'étude de la répartition géographique des intensités observées (échelle de Mercalli). L'évaluation de l'aléa sismique est la combinaison des caractéristiques de ces séismes historiques et des caractéristiques des séismes récents enregistrés par des instruments.

### **3. Les différentes étapes d'évaluation de l'aléa sismique :**

L'étude de l'aléa sismique est présentée en trois étapes. Les deux premières étapes sont liées et l'on n'observe pas toujours une limite franche entre elles. Elles sont l'objet de l'analyse sismotectonique.

La première étape a pour objectif de mettre à jour la carte morpho structurale de la région d'étude et de cartographier l'ensemble des failles et structures tectoniques existantes. Elle repose sur :

- Les données historiques connues à travers la presse ancienne, les archives, etc. qu'il faut tout d'abord traduire en une intensité macrosismique. Le degré de fiabilité des témoignages, qui peuvent remonter jusqu'à des centaines d'années, étant malheureusement très inégal rend cette interprétation difficile.
- Les données archéologiques (ou archéosismicité), c'est à dire l'étude des traces de séismes passées dans les bâtis anciens et les vestiges archéologiques.
- Les données géologiques, grâce au décodage de marqueurs géologiques de cette activité sismique, ainsi qu'à l'analyse du contexte géologique (études tectoniques, géophysiques, orthophotoplans, scènes satellitaires).



## CHAPITRE 1

---

- Définition et localisation des failles actives de la région. La deuxième étape a pour but de compléter l'analyse de la première étape en utilisant.
- Les données instrumentales et cela est assuré grâce à des réseaux de surveillance tel que : Les stations sismiques, l'interférométrie Radar satellitaire, etc.
- Les photographies aériennes et images satellitaires. La troisième et dernière étape concerne l'évaluation des mouvements vibratoires du sol. Cela, nécessite d'étudier les mécanismes physiques qui entrent en jeu lors de la propagation des ondes sismiques entre la source en profondeur et le site à la surface. Ces mouvements sont principalement fonction de la magnitude du séisme, de la distance source-site et des conditions de sol et s'expriment en termes d'accélération et de vitesse de déplacement.

### 3.1. Aléa régional :

L'aléa régional recouvre la caractérisation de l'agression sismique au rocher affleurant en surface, résultant de l'activation de sources sismique et de la propagation des ondes de la source à la cible.

L'analyse de l'aléa régional nécessite deux étapes :

- L'identification des sources sismiques.
- Le calcul du mouvement vibratoire en surface.

L'identification des sources sismiques consiste à localiser les failles actives et à évaluer leur potentiel sismogéniques en termes de magnitude ou d'intensité des séismes susceptibles d'être générés par ces failles, leur profondeur focale et leur récurrence. En se basant sur des données géologiques et sismiques, ce travail aboutit à la définition d'un zonage sismotectonique découpant la région considérée en zones homogènes dans lesquelles la probabilité d'occurrence d'un séisme de caractéristiques données est estimée équivalente en tout point ; Concernant le calcul du mouvement vibratoire en surface par l'application d'une loi d'atténuation aux sources potentielles identifiées dans le zonage sismotectonique, on distingue principalement deux approches d'évaluation d'aléa régional :

- L'approche déterministe dans laquelle le mouvement du sol est estimé à partir d'un séisme de référence, de caractéristiques connues. Ce séisme de référence correspond à un séisme dont l'occurrence est avérée par les données historiques (témoignages) ou instrumentales (enregistrement des stations) ;
- L'approche probabiliste consiste à calculer en tout point du territoire le niveau d'accélération du sol susceptible d'être atteint ou dépassé pour une période de temps donnée, en tenant compte de l'ensemble des données disponibles, historiques ou instrumentale, en y associant des lois de récurrence.

### 3.2. Aléa local :

L'évaluation de l'aléa local permet de prendre en compte les modifications de la vibration sismique par les conditions géologiques et topographiques locales, les effets de site.

## CHAPITRE 1

---

Elle permet également de définir des zones dans lesquelles des effets induits (mouvements de terrain, liquéfaction des sols) sont susceptibles d'être provoqués par un séisme.

À l'échelle d'une commune, ce travail permet d'aboutir à un micro-zonage sismique, délimitant les zones dans lesquelles les amplifications du mouvement du sol sont identiques.

## CHAPITRE 2 :

### Vulnérabilité sismique des Bâtiments

#### 1. Vulnérabilité sismique des bâtiments

##### 1.1. Introduction :

Alors que l'aléa sismique demeure constant, la croissance de l'urbanisation augmente le nombre de bâtiments et les populations exposées au risque sismique. Jackson (2006) considère qu'il faut s'attendre à des séismes majeurs touchant des mégalo-poles, car le début de cette urbanisation de masse est relativement récent par rapport à la période de retour des séismes majeurs. L'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments existants est donc un enjeu majeur pour la prédiction ou la réduction du risque sismique dans les sociétés industrielles modernes, et en particulier dans les pays en voie de développement. Des méthodes empiriques ont été développées à partir d'observations post-sismiques et de jugements d'experts pour évaluer ce risque à grande échelle (RISK UE). Ces méthodes ont permis de construire des matrices de probabilité de dommage reliant l'aléa sismique, généralement exprimé par une intensité macrosismique, à la probabilité qu'un bâtiment ou qu'une typologie de bâtiments soit endommagé. Cependant, on observe des niveaux d'incertitude relativement élevés accompagnant ces méthodes. Ces incertitudes proviennent d'une connaissance insuffisante du comportement des structures de génie civil, de la complexité des mécanismes d'endommagement et des relations entre le mouvement sismique et la réponse des bâtiments (Michel et al., 2012).

##### 1.2. Vulnérabilité sismique :

Le bâti existant, c'est-à-dire construit avant la mise en place des règles de construction, est en général vulnérable. Cependant, des constructions monumentales ou bien réalisées résistent parfaitement aux séismes. On constate aussi que des structures à priori identiques s'endommagent plus facilement : analyser leur vulnérabilité consiste ainsi à essayer de prédire le comportement de ces constructions sous séismes, en intégrant toutes nos incertitudes.

Vulnérabilité sismique : Elle caractérise la capacité des bâtiments et des structures à supporter les secousses sismiques (vulnérabilité physique), et la capacité des populations à se comporter de façon cohérente et raisonnée face à un événement majeur (vulnérabilité sociale). Dans ces deux cas, il est important de traduire notre méconnaissance des comportements afin d'en tenir compte dans notre estimation globale.

Les objectifs des analyses de vulnérabilité sont essentiellement de trois natures :

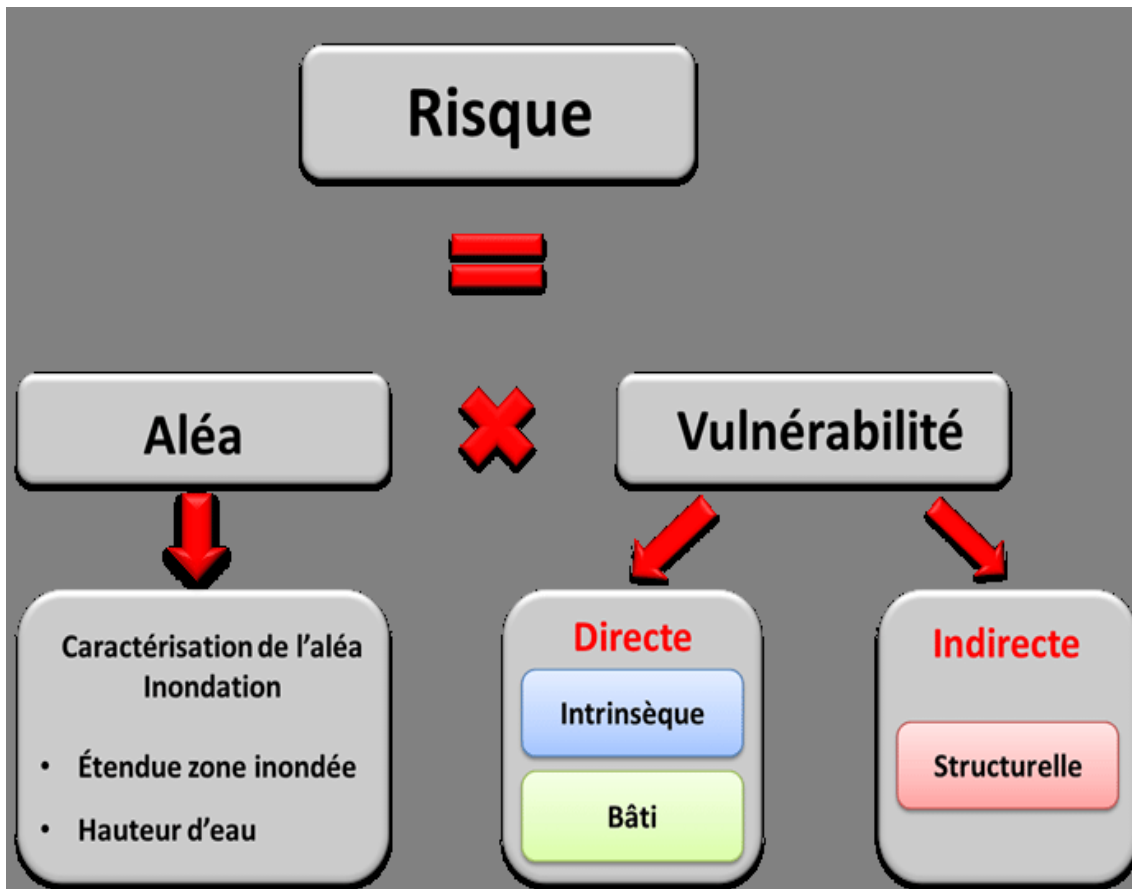
- ❖ Estimer les dommages prévisibles aux personnes et aux biens justes après le séisme pour se représenter les dommages sismiques à l'échelle d'une ville ou pour décider des moyens de secours à mettre en place.
- ❖ Identifier les bâtiments les plus vulnérables aux séismes de façon à planifier et organiser une politique de renforcement du bâti existant.
- ❖ Un troisième objectif, indirect, consiste également à profiter de travaux de transformation générale d'un bâtiment (par exemple, accessibilité, aménagement thermique, réhabilitation...) pour établir une analyse de vulnérabilité et intégrer le sismique dans le projet

## CHAPITRE 2

---

de transformation.

Le risque peut être exprimé comme le produit de l'aléa sismique (probabilité d'occurrence), de la vulnérabilité (degré d'endommagement) et de la valeur de l'élément exposé.



### 2. Comportements des bâtiments :

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.

#### 2.1 Bâtiments d'habitation

##### 2.1.1 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 entête et (ou) pied de poteaux. Ce mode de ruine conduit à un effondrement en plancher smille-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 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 transparente 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)



## CHAPITRE 2



**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.

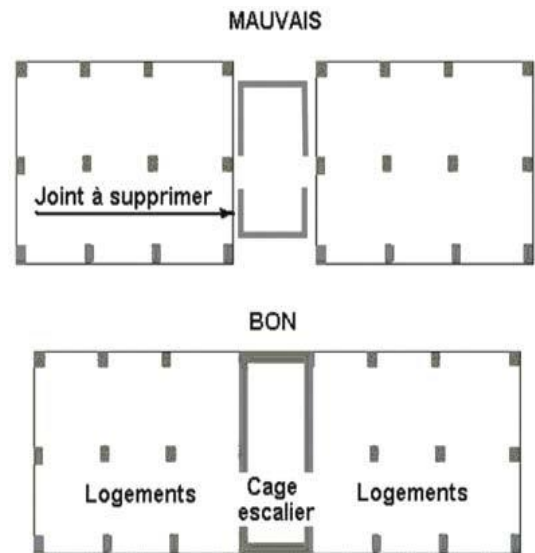
Un effondrement de type mille-feuilles s'est produit à proximité quand c'était la petite dimension qui était parallèle à la faille (Cf. photo 4).

L'immeuble R+4 (Cf. photo 4) qui a perdu son réz 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 voilette et son réz 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**

### 2.1.2 Type maçonnerie très ancienne sans liant du 18<sup>ème</sup> 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 sismicité 2 ou 3.

### **2.1.3 Type maçonnerie liée au mortier fin 19<sup>ème</sup> et début 20<sup>ème</sup> 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. photo9).



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



## CHAPITRE 2

---

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)

### 2.2 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 effondrements de parois de remplissage en briques fines (Cf. photo 11) qui se sont désolidarisées de l'ossature poteau-poutre dans des ouvrages plus récents.



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

## CHAPITRE 2

Les ouvrages en maçonnerie de l'hôpital datant de la fin 19<sup>ème</sup> (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).

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.



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

### 2.3 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.

### 3. Le risque sismique :

Désigne la combinaison entre l'aléa sismique, les biens et les populations qui y sont soumises, et leur vulnérabilité face à cet aléa. En fonction des situations géodynamiques, politiques, sociales et économiques, le risque sismique dans le monde est très variable, selon les régions considérées. Dans les régions les plus exposées à l'aléa sismique, la réduction du risque passe notamment par l'information des populations et la construction de bâtiments aux normes

## CHAPITRE 2

parasismiques. Afin de définir le risque sismique, les sismologues doivent caractériser : l'aléa, par l'étude des paléo-séismes enregistrés dans les archives géologiques et/ou humaines ; les enjeux, qui désignent les populations et/ou les infrastructures soumises à l'aléa ; la vulnérabilité, qui dépend des caractéristiques géologiques de la région, de la préparation des populations et de la qualité des infrastructures.

### 4 Carte sismique :

Les cartes sismiques sont des documents portés à connaissance, qui visent donc à rendre cartographiquement visible le risque. Elles se basent sur les données géologiques et géotechniques disponibles, et sur l'analyse des événements récents et de l'histoire sismique quand elle existe. Il en existe trois principaux types :

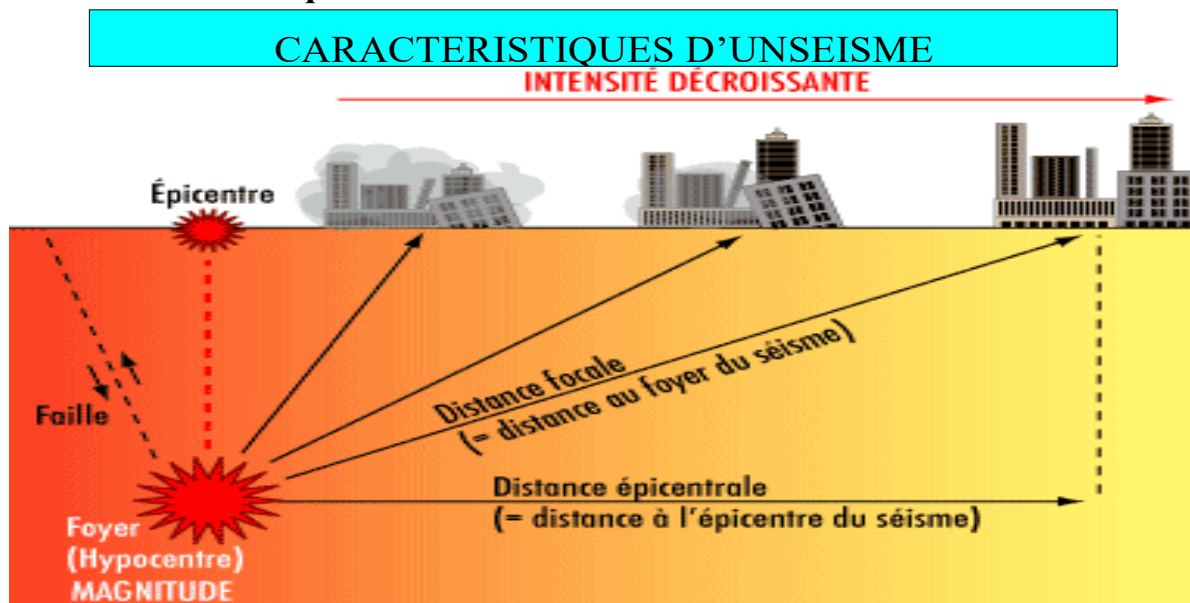
Carte de risque relatif. Les zonages y sont indiqués avec un numéro ou une lettre arbitraire en allant généralement de l'absence supposée de risque (ex : zone 0) à la zone de haut-risque (ex : zone 3) ;

Carte de probabilité du risque, décrivant l'incertitude statistique sous-jacente (comme pour un risque en assurance). La carte indique la probabilité qu'il y a de dépasser une intensité donnée dans un laps de temps fixé (en général 50 ou 100 ans) ;

Des cartes d'accélération des sols, utiles aux spécialistes, aux études prospectives et d'aménagement du territoire ou pour le choix des sites et des types de construction futures. Les ingénieurs peuvent déterminer les accélérations futures probables par interpolation directe sur la carte.

La résistance sismique des structures et infrastructures bâties peuvent alors être renforcées en conséquence, en fonction des zones de risque sismiques et de paramètres sismiques tels que les accélérations, comme l'imposent habituellement et théoriquement les codes de construction. Ces données peuvent être prises en compte dans la réhabilitation des bâtiments, quartiers, infrastructures, etc. pour renforcer certaines structures ou infrastructures ou les reconstruire aux normes sismiques.

### 5. Caractéristiques d'un séisme :





## CHAPITRE 2

### 5 1. Le foyer ou hypocentre :

C'est le point d'origine de la rupture de la roche en profondeur ; Il correspond à la région de la faille où se produit la rupture et d'où partent les ondes sismiques.

L'épicentre :

C'est le point de la surface terrestre situé exactement à la verticale du foyer, où l'intensité du séisme est la plus importante.

**Magnitude :**

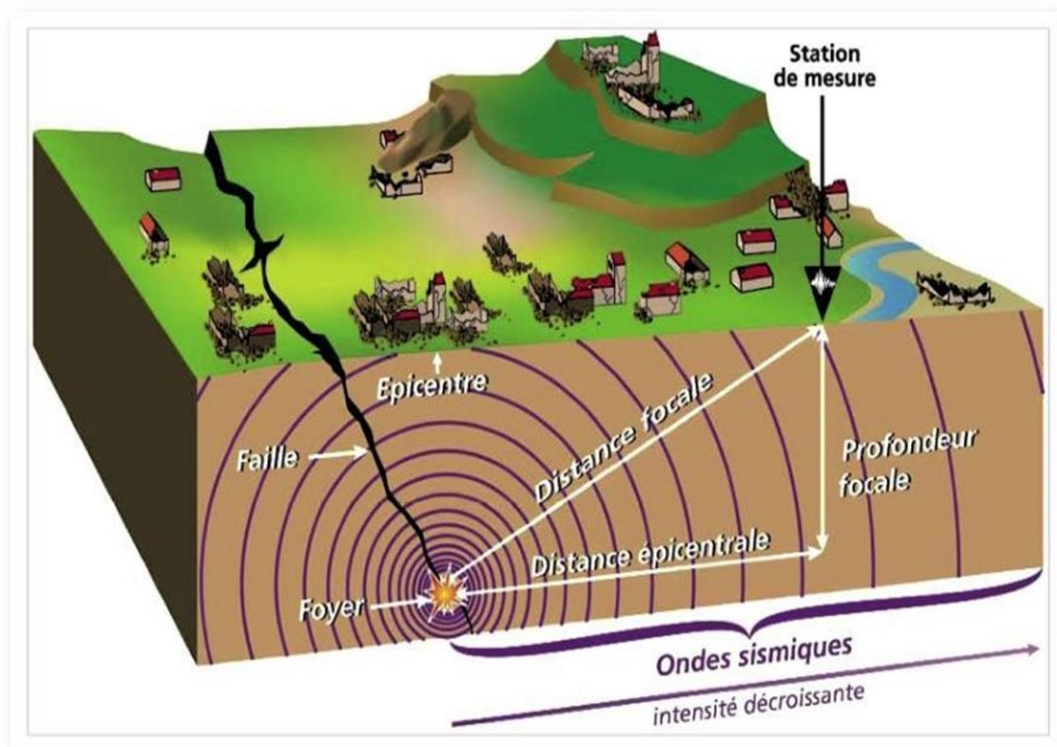
C'est la mesure de l'énergie libérée au foyer du séisme. L'échelle de Richter est une des échelles les plus utilisées pour mesurer la magnitude. Théoriquement sans limite, les valeurs les plus élevées observées n'ont pas dépassé 9.

Intensité

C'est l'évaluation des dégâts observés sur le terrain en un site donné. L'échelle la plus utilisée est l'échelle M.S.K., graduée de I à XII.

Un même séisme sera ressenti avec des intensités différentes selon la distance par rapport à l'épicentre et selon les caractéristiques locales (effets de site).

Un événement sismique est caractérisé par sa brutalité et l'étendue de la région sinistrée, qui peut atteindre plusieurs centaines de km<sup>2</sup>.



#### 5.1. Mesure et évaluation des séismes :

On ne doit pas confondre magnitude et intensité qui sont deux mesures différentes : A l'inverse de la magnitude qui se calcule, l'intensité d'un séisme ne peut donner lieu qu'à une estimation.

## CHAPITRE 2

---

La magnitude est une valeur associée uniquement au séisme. L'intensité est associée au lieu d'observation.

- Mesure de la magnitude :

La puissance d'un tremblement de terre peut être quantifiée par sa magnitude.

La magnitude se calcule à partir des différents types d'ondes sismiques en tenant compte de paramètres comme la distance à l'épicentre, la profondeur de l'hypocentre, la fréquence du signal, le type de sismographe utilisé, etc.

La magnitude, souvent appelée magnitude sur l'échelle de Richter, terme le plus connu du grand public, est généralement calculée à partir de l'amplitude ou de la durée du signal enregistré par un sismographe.

-Evaluation de l'intensité :

C'est l'évaluation des dommages causés par un tremblement de terre et des dégâts observés sur le terrain en un site donné. L'échelle la plus utilisée est l'échelle M.S.K., graduée de I à XII.

-Effet de site :

L'intensité dépend du lieu d'observation des effets. Elle décroît généralement lorsqu'on s'éloigne de l'épicentre mais d'éventuels effets de site (écho, amplification locale par exemple) peuvent perturber cette loi moyenne de décroissance.

Donc un même séisme sera ressenti avec des intensités différentes selon la distance par rapport à l'épicentre et selon les caractéristiques locales (effets de site).

## **6. Caractérisation de l'aléa sismique**

### **6.1. L'origine des séismes**

La tectonique des plaques, dont le principe est connu depuis la seconde moitié du XXe siècle, est à l'origine des chaînes de montagne et de phénomènes tels que les séismes et le volcanisme.

La lithosphère (croûte et manteau supérieur) est morcelée en plusieurs fragments, appelés plaques, qui constituent la surface terrestre. En raison des mouvements de convection au sein du manteau, ces plaques sont mobiles les unes par rapport aux autres, avec des vitesses de quelques centimètres par an. Les mouvements des plaques peuvent être divergents (extension), convergents (compression) ou en coulissage (cisaillement). Environ 90% des séismes sont localisés au voisinage des limites de ces plaques. Alors qu'en profondeur, les plaques se déplacent régulièrement de quelques millimètres à quelques centimètres par an, dans la partie supérieure de la croûte terrestre (30 premiers km), ce mouvement n'est pas continu. Les failles peuvent rester bloquées durant de longues périodes, tandis que le mouvement régulier des plaques (convergence ou divergence) se poursuit. De ce fait, la région de la faille bloquée se déforme progressivement (déformation élastique lente) en accumulant de l'énergie, jusqu'à céder brutalement ; c'est la rupture sismique, les contraintes tectoniques se relâchent, la faille est à nouveau bloquée, et le cycle sismique recommence. En effet, un tremblement de terre est dû au mouvement relatif de deux blocs dont la surface de

## CHAPITRE 2

---

contact est appelée : plan de faille. Son étude consiste d'abord à le localiser, en latitude, longitude et profondeur. Ensuite, on le caractérise en déterminant les paramètres géométriques du plan de la faille (azimut et pendage), la direction du glissement dans ce plan et le moment sismique qui donne la magnitude du séisme. Les efforts tectoniques peuvent occasionner des déplacements au niveau d'une faille (foyer). Cette libération brutale d'énergie occasionne une vibration du sol : le séisme. A la surface du sol, le point situé à la verticale du foyer est appelé : épicentre. Le foyer peut être situé à faible profondeur (quelques kilomètres), on parle alors de séisme superficiel, ou à grande profondeur (plusieurs dizaines, voire centaines de kilomètres), on parle alors de séisme profond. Le séisme est d'autant plus violent en surface que la quantité d'énergie emmagasinée au niveau de la faille avant le séisme est importante et que la faille est proche de la surface. En revanche, lorsque le foyer est profond, les ondes sismiques vont se répercuter largement vers la surface, mais elles seront peu à peu atténuées et dispersées dans l'épaisseur de l'écorce terrestre, et le séisme sera moins intense. Les séismes peuvent être ressentis et destructeurs à plusieurs centaines de kilomètres de l'épicentre (Mexico, 1985). **Le foyer** est le point de départ de la rupture des roches. **L'épicentre** est le point de la surface terrestre situé à la verticale du foyer. **La magnitude** mesure l'énergie libérée par le séisme au niveau du foyer. **L'intensité** mesure les conséquences du séisme en surface.

### 6.2. L'enregistrement des séismes

Le séisme se manifeste à la surface du sol par une série de vibrations. Elles peuvent être enregistrées au moyen d'un appareil appelé sismomètre. Celui-ci restitue une « image » du séisme en termes d'amplitude de la vibration : le sismogramme. En effet, les sismographes mesurent la magnitude plutôt que l'intensité. Les deux méthodes évaluent la force du séisme, mais la mesure de la magnitude est plus complexe.



**Figure 1** : Exemple de sismogramme

Pour un même séisme, les différents sismographes obtenus, au niveau de toutes les stations sismologiques, permettent de localiser l'épicentre du séisme, par lecture des délais d'arrivée des ondes et méthode des cercles. En l'occurrence, lors du déplacement de la roche le long d'une faille, l'énergie libérée va se propager dans toutes les directions autour du foyer, sous forme d'une vibration complexe composée de différents trains d'ondes. L'arrivée de ces différents trains d'onde est décalée dans le temps en raison de vitesses de propagation différentes dans la roche. Pour un observateur éloigné de l'épicentre, le séisme est perçu comme une vibration dans toutes les dimensions, provenant de l'épicentre et déphasée dans le temps.

## CHAPITRE 2

### 6.3. Les ondes sismiques

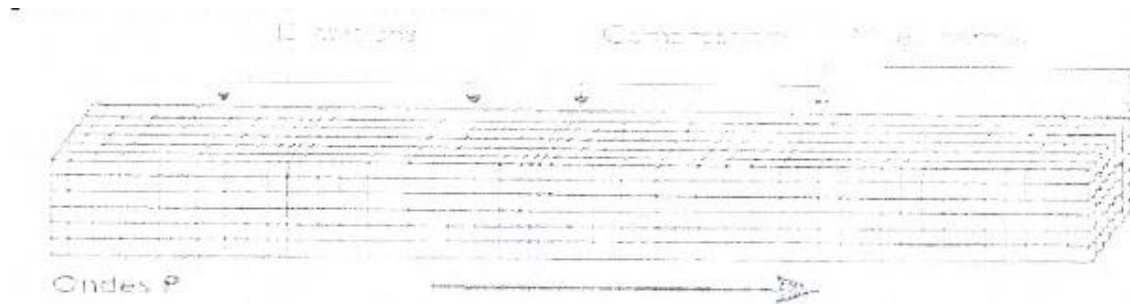
Les ondes sismiques sont des ondes élastiques. L'onde peut traverser un milieu sans modifier durablement ce milieu. L'impulsion de départ va "pousser" des particules élémentaires, qui vont "pousser" d'autres particules et reprendre leur place et ainsi de suite. La théorie de l'élasticité montre qu'à travers un milieu homogène peuvent se propager deux sortes d'ondes : des ondes correspondant à des vibrations longitudinales, qui sont les plus rapides, et des ondes transversales plus lentes. Ces deux sortes d'ondes correspondent aux deux premières sortes d'oscillations des sismogrammes. La troisième correspond à des ondes un peu plus lentes encore se propageant à la surface. Les vitesses de propagation ont, dans la théorie de l'élasticité, des expressions où interviennent la densité et les propriétés mécaniques du milieu ; comme les scientifiques peuvent les déterminer expérimentalement, on a ainsi les renseignements sur les propriétés mécaniques du globe et leur variation avec la profondeur.

- **L'onde de Love :** Le déplacement est essentiellement le même que celui des ondes S sans mouvement vertical. Les ondes de Love provoquent un ébranlement horizontal qui est la cause de nombreux dégâts aux fondations des édifices.

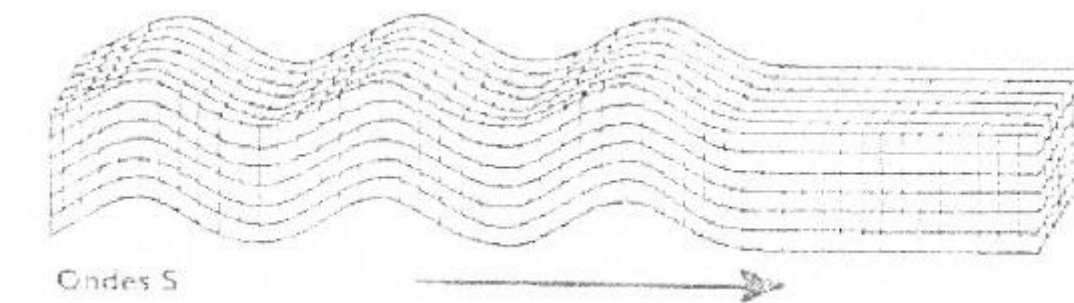
- **L'onde de Rayleigh :** Le déplacement est complexe, assez semblable à celui d'une poussière portée par une vague, un mouvement à la fois horizontal et vertical, elliptique, en fait. Les ondes de Love se propagent à environ 4 km/s, elles sont plus rapides que les ondes de Rayleigh.

#### A quoi ressemble le mouvement du sol lors du passage de ces ondes ?

**L'onde P :** Comprime et étire alternativement les roches. On l'enregistre bien sur la composante verticale du sismomètre.

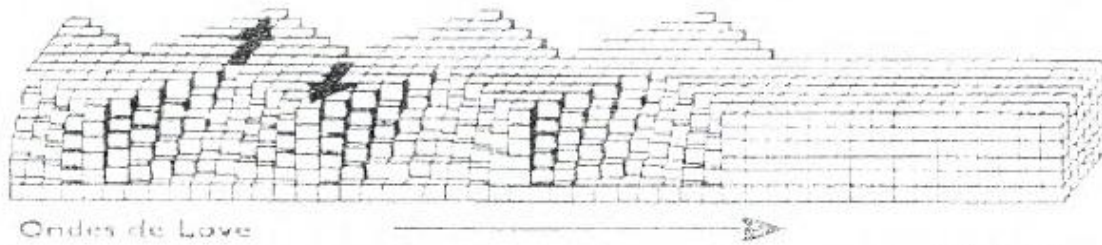


**L'onde S :** Se propage en cisillant les roches latéralement à angle droit par rapport à sa direction de propagation. On l'enregistre bien sur les composantes horizontales du sismomètre.

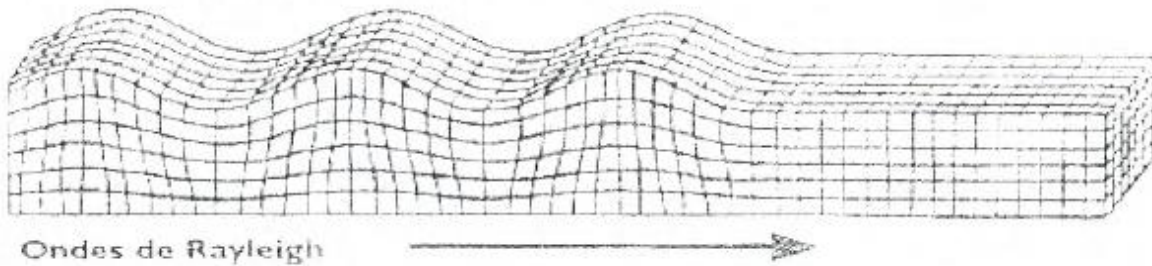


## CHAPITRE 2

**L'onde de Love  $L$**  : Elle déplace le sol d'un côté à l'autre dans un plan horizontal perpendiculairement à sa direction de propagation. On l'enregistre uniquement sur les composantes horizontales du sismomètre.



**L'onde de Rayleigh  $R$**  : le déplacement des particules est à la fois horizontal et vertical. Cette onde est enregistrée sur les trois composantes du sismomètre. Les vibrations engendrées par cette onde durent plusieurs minutes.



**Figure 2** : Quatre schémas illustrant le mouvement du sol lors du passage des différentes ondes sismiques (Internet : east.u-strasbg.fr, 2005)

En ce qui concerne la déformation des roches, le facteur temps, qui se mesure ici en millions d'années, se doit d'être considéré. Il est difficile d'imaginer qu'on puisse plier des couches de grès par exemple, ... à moins qu'on y mette le temps géologique. Un autre paramètre à ne pas négliger est la composition de la roche. Certaines roches sont cassantes de nature (comme les calcaires, les grès, les granites), d'autres plutôt plastiques (comme les roches argileuses). Les roches sédimentaires sont à l'origine disposées en couches à peu près horizontales puisqu'elles proviennent de la transformation de sédiments qui se sont déposés à l'horizontale. Mais on les retrouve souvent inclinées, déformées, affectées par des plis et des failles, particulièrement dans les chaînes de montagnes. Les contraintes responsables de la déformation des roches de la croûte terrestre ont des sources multiples. Les déformations résultent le plus souvent des mouvements des plaques lithosphériques qui se traduisent par des contraintes qui modifient la forme des roches, leur volume et, dans certains cas, leur composition chimique et minéralogique. Il y a fondamentalement deux types de contraintes qui déforment les roches : les contraintes de compression et celles de tension. Dans la compression, les forces convergentes ; elles peuvent être coaxiales ou non. La déformation d'un jeu de carte sous contraintes de compression illustre la différence. Dans le cas d'une contrainte de compression coaxiale, les cartes vont s'arquer, comme illustré ici :

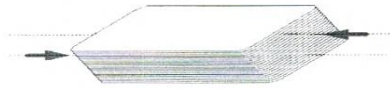


**Figure 3** : La déformation d'un jeu de carte sous contraintes de compression



## CHAPITRE 2

Si les contraintes ne sont pas coaxiales, il va se développer du cisaillement ; le jeu



**Figure 4 : La déformation d'un jeu de carte sous contraintes de tension**

d'écarte se déforme par le glissement des cartes les unes sur les autres :

Dans la tension, les contraintes divergent et ont pour effet d'étirer le matériel.

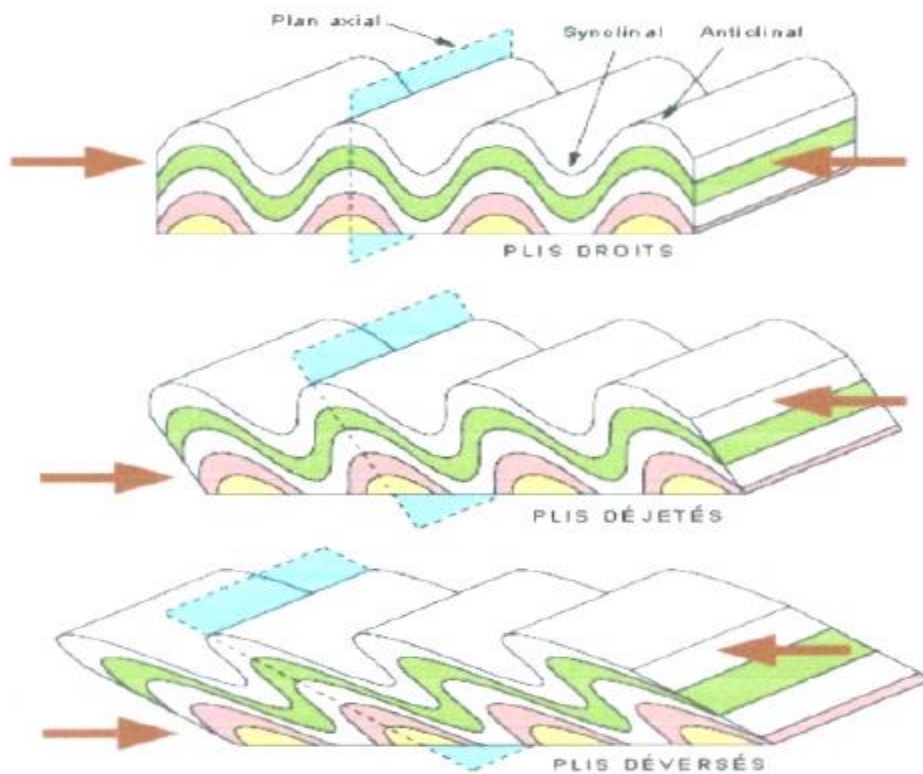
### 6.4. Déformation plastique

Les schémas qui suivent illustrent la déformation des couches de roches sous des régimes de contraintes en compression et en tension. Prenons comme volume de départ, un empilement de couches de roches non déformées à l'horizontal.



Les plis constituent la manifestation d'un comportement plastique (ductile) des roches sous l'effet de contraintes de compression.

#### Déformation plastique - Régime compressif



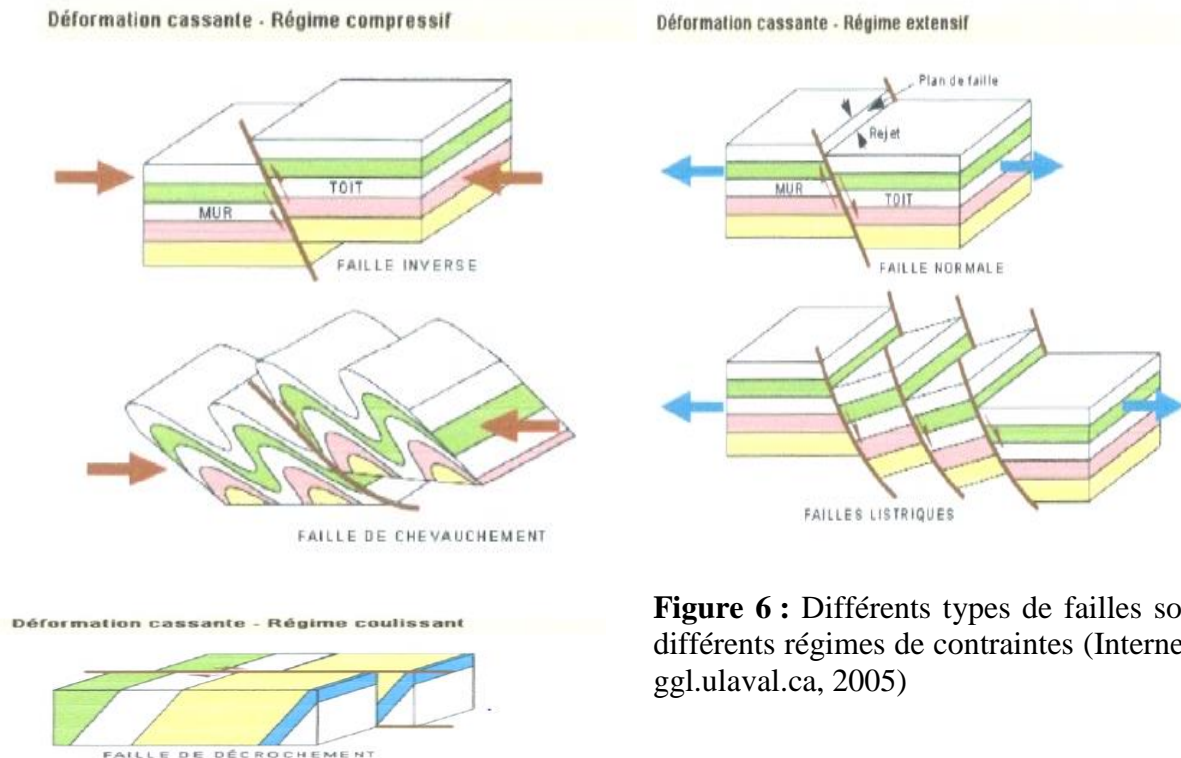
**Figure 5 : Différents types de plis sous l'effet de contraintes de compression (Internet : [ggl.ulaval.ca](http://ggl.ulaval.ca), 2005)**

## CHAPITRE 2

Pour décrire les plis, on utilise les termes d'anticlinal quand le pli se ferme vers le haut et de synclinal lorsqu'il se ferme vers le bas. Les plis sont dits droits lorsque le plan axial est vertical. A l'autre extrême, il y a les plis couchés, lorsque le plan axial est horizontal. Entre les deux, il y a les plis déjetés et les plis déversés (**figure 6**). Les plis droits résultent de contraintes de compression coaxiales, les plis déjetés et déversés de contraintes qui ne sont pas coaxiales.

### 6.5. Déformation cassante

La déformation cassante se traduit par des plans de cassures, les failles.



**Figure 6** : Différents types de failles sous différents régimes de contraintes (Internet : [ggl.ulaval.ca](http://ggl.ulaval.ca), 2005)

Par convention, on nomme *toit* le compartiment qui se situe au-dessus du plan de faille, et *mur* celui qui est au-dessous. *Le rejet* est le déplacement net des deux compartiments. Les contraintes de compression produisent des failles inverses (plan de faille abrupte) ou de chevauchement (plan de faille près de l'horizontale). Dans ces deux cas, le toit monte par rapport au mur. Les contraintes de tension produisent des failles normales et listriques ; le toit descend par rapport au mur (**figure 7**).

Les failles de décrochement (ou de coulissage) constituent un cas particulier ; elles se produisent par le déplacement de deux compartiments l'un par rapport à l'autre dans un plan horizontal. On les retrouve en régimes compressifs ou extensifs.

Lorsque qu'une faille casse, la rupture peut se propager jusqu'à la surface du sol. L'apparition d'une faille en surface dépend de la profondeur du foyer (elle doit être faible), de l'amplitude du déplacement au foyer et de la dimension du plan de faille (**figure 8**).

Suivant l'importance des déplacements relatifs des deux compartiments de la faille, les bâtiments fondés sur ces structures peuvent être gravement affectés, voire totalement détruits.



**Figure 7 :** Exemple de faille en surface. Faille de Spitack, Arménie (Internet : brgm.fr, 2005).

En l'occurrence, une *faille active* est définie comme une fracture plane ou légèrement gauche de l'écorce terrestre, le long de laquelle des déplacements tectoniques peuvent se produire. Lorsqu'une faille active, à l'origine d'un séisme, débouche en surface :

- elle peut induire des déplacements le long de la ligne de rupture (rupture des terrains à la surface du sol) ;

Elle peut générer également des mouvements vibratoires particuliers en source très proche, c'est-à-dire dans une zone de quelques centaines de mètres de part et d'autre de cette ligne de rupture ; cet effet peut se traduire par des amplifications aussi bien dans le sens horizontal que vertical.

On considère qu'une faille est active si elle a subi des mouvements significatifs au cours du Quaternaire, c'est-à-dire globalement lors d'une période de moins de deux millions d'années. La reconnaissance des failles susceptibles d'engendrer des séismes repose sur divers critères liés à la sismicité et aux déformations géologiques récentes observées. La plupart du temps, les données de la sismicité (relation indubitable entre les foyers des séismes et la structure tectonique considérée) sont insuffisantes pour certifier l'activité d'une faille. Généralement, on doit aussi s'appuyer sur les preuves géologiques du rejeu récent de ces failles. Pour retrouver ces preuves de déformations tectoniques récentes, différentes méthodes de la néotectonique (tectoniques et microtectoniques, morphologiques, stratigraphiques, géophysiques, etc.) peuvent être utilisées. La confrontation des données néotectoniques avec les données sismiques permet alors des interprétations sismotectoniques. L'identification des accidents potentiellement sismogènes repose d'abord sur une étude régionale de l'aléa sismique.

Les failles sont localisées sur des plans à petite échelle (1/250.000 à 1/1.000.000 ème).

Leur localisation à grande échelle (1/25.000 à 1/10.000) nécessite ensuite des investigations généralement très lourdes et pas toujours garanties de résultats (le tracé pouvant, notamment, être masqué en surface par certaines formations géologiques ou des aménagements anthropiques).

Il est donc mal aisé de délimiter, avec précision et de manière systématique, la zone susceptible d'être affectée soit par une rupture de surface, soit par des effets en champ très proche d'une faille.

En conclusion, une application très importante de tout cela, c'est qu'en étudiant la géométrie des terrains déformés, le géologue est en mesure de définir la nature des contraintes qui ont produit une géométrie donnée et d'en déduire l'histoire de la dynamique d'une région.

## CHAPITRE 2

---

### 6.6. La quantification des séismes

La magnitude d'un séisme (notée :  $M$ ) est une valeur intrinsèque de celui-ci, représentant l'énergie libérée lors de la rupture. La magnitude est unique pour un séisme et indépendante du lieu d'observation et des témoignages de la population. La notion de magnitude est introduite en 1935 par l'Américain Charles Francis Richter pour les séismes locaux californiens afin d'estimer l'énergie libérée au foyer d'un tremblement de terre et pouvoir ainsi comparer les séismes entre eux. On parle depuis de l'échelle de Richter qui comporte neuf degrés, à partir du degré six, les séismes sont dangereux. Estimée par exploitation des sismogrammes, la magnitude est théoriquement illimitée. Ce n'est pas une échelle mais une fonction continue, qui peut être négative ou positive. En réalité, sa valeur minimale est liée à la sensibilité du sismographe. Ce dernier, s'il est très sensible peut enregistrer une magnitude de l'ordre de -2, équivalente à l'énergie dégagée par la chute d'une brique sur le sol d'une hauteur de 1 mètre.

Sa valeur maximale est liée à la résistance de la lithosphère aux forces tectoniques et à la longueur maximale de la faille susceptible de se fracturer d'un seul coup. Le séisme de plus grande magnitude connu est celui du Chili, le 22 mai 1960, de magnitude 9,5; la zone de rupture de la faille a atteint plus de 1000 Km de long. C'est à cause de cette limite qu'on entend parfois parler des 9 degrés de l'échelle de Richter. Les séismes de magnitude supérieure à 9 sont très rares et la magnitude 10 semble être une limite raisonnable compte tenu de la solidité des roches et de la fragmentation des failles.

La magnitude est une fonction logarithmique, c'est-à-dire que lorsque l'amplitude du mouvement varie d'un facteur 10, la magnitude change d'une unité. Ainsi, un séisme de magnitude 5 est dix fois plus violent que celui de magnitude 4 et cent fois plus fort qu'un séisme de magnitude 3. Lors de la rupture qui se produit au foyer d'un tremblement de terre, la plus grande partie de l'énergie se dissipe sous forme de chaleur. Une partie seulement se propage au loin sous forme d'ondes élastiques. Le rapport entre l'énergie des ondes et l'énergie totale, appelé rendement sismique, est estimé entre 20 et 30 %.

La magnitude de Richter mesure l'énergie émise sous forme d'ondes élastiques. Un séisme de magnitude 5 correspond à peu près à l'énergie dégagée par la bombe nucléaire qui a détruit Hiroshima. La relation qui existe entre la magnitude et l'énergie sismique libérée montre qu'un séisme de magnitude 7 libère à lui seul autant d'énergie qu'une trentaine de séismes de magnitude 6.

La magnitude est calculée soit à partir de l'amplitude du signal enregistré par un sismomètre, soit à partir de la durée du signal lue sur le sismogramme. Son calcul nécessite plusieurs corrections tenant compte du type de sismographe utilisé, de la distance entre le séisme et la station d'enregistrement, de la profondeur du séisme, de la nature du sous-sol où se trouve la station d'enregistrement. Les corrections permettent de calculer partout dans le monde la même magnitude pour un même séisme. Il existe plusieurs échelles de magnitude :

- **Magnitude locale ML**

## CHAPITRE 2

---

On l'utilise pour des séismes proches, dits séismes locaux. Elle est définie à partir de l'amplitude maximale des ondes P. Elle est toujours moyennée sur plusieurs stations en tenant compte des corrections locales.

### - **Magnitude de durée MD**

On l'utilise également pour des séismes proches mais elle est définie à partir de la durée du signal.

### - **Magnitude des ondes de surface MS**

Elle est utilisée pour les séismes lointains, dits télé séismes dont la profondeur est inférieure à 80 Km. Elle se calcule à partir de l'amplitude des ondes de surface.

### - **Magnitude des ondes de volume MB**

Cette magnitude est définie pour toutes les télé séismes et en particulier pour les séismes profonds, car ceux-ci génèrent difficilement des ondes de surface. Elle est calculée à partir de l'amplitude de l'onde P qui arrive au début du sismogramme.

### - **Magnitude d'énergie ou Kanamori MW**

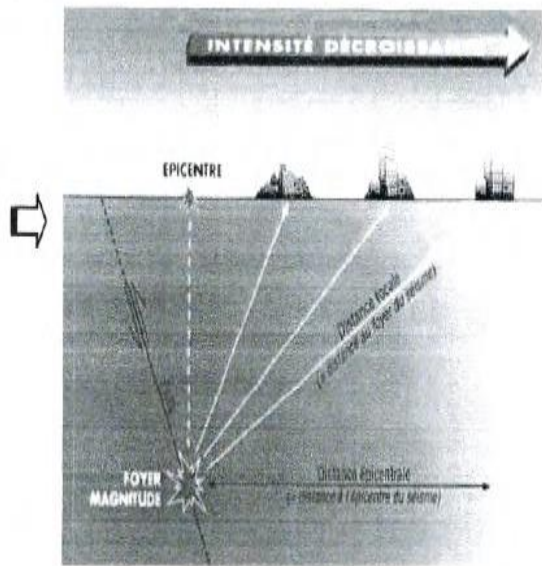
Elle est définie pour les très gros séismes. Elle est calculée à partir d'un modèle physique de source sismique. En principe, un séisme se caractérise par une seule magnitude, mais en pratique on obtient des résultats légèrement différents suivant l'appareil utilisé et suivant le type d'ondes enregistrées. Les résultats diffèrent beaucoup plus pour les très gros séismes, en particulier ceux dont la magnitude est supérieure à 7, le calcul des magnitudes MS et MW est alors mieux adapté.

### **Remarque :**

- Une magnitude ne peut pas être précise à plus de 0,25 degré près.
- Les médias annoncent généralement MS qui décrit mieux les gros séismes.

## **6.7. L'intensité macrosismique**

L'intensité d'un séisme est définie en un lieu par rapport aux effets produits par celui-ci, qu'ils soient seulement observés ou ressentis par l'homme (réveil, chute d'objets, fissures...) ou qu'ils aient causés des dégâts plus ou moins importants aux constructions. On parle alors d'effets macrosismiques. Pour un même séisme, l'intensité macrosismique varie dans l'espace en fonction de la distance à l'épicentre et des phénomènes annexes, tels que l'amortissement ou l'amplification des ondes sismiques (effets de site, **figure 9**). La zone d'intensité maximale est appelée : épicentre macrosismique et peut être différente de l'épicentre réel. Pour un séisme donné, on fournit souvent uniquement l'intensité à l'épicentre, la plus forte généralement : c'est l'intensité épicentrale.



**Figure 8:** Origine et paramètres définissant un séisme (Internet : cgs.dz, 2004)

### 6.8. Relation entre intensité et magnitude

Il n'y a pas de relation directe entre l'intensité et la magnitude. Les deux grandeurs sont difficilement comparables. A l'inverse de la magnitude qui se calcule, l'intensité d'un séisme ne peut donner lieu qu'à une estimation. La magnitude est une valeur associée uniquement au séisme. L'intensité est liée au lieu d'observation. En effet, un séisme de forte magnitude avec un foyer profond et dans une région peu peuplée sera peu destructeur et donc sera qualifié de faible intensité. Au contraire, un séisme superficiel, même de magnitude moindre pourra être très destructeur et donc caractérisé par une grande intensité.

### 6.9. La localisation des séismes

Comme cela a été évoqué précédemment, l'activité sismique est principalement liée à la tectonique des plaques. Hors, il existe d'autres types de tremblements de terre causés par d'autres activités vitales de notre planète ainsi que, par des activités liés à l'homme. Ces séismes sont évoqués comme suit :

#### 6.9.1. Les séismes inter-plaques

Dans la majorité des cas, les séismes se déclenchent en limite de plaques. C'est en effet au niveau de ces contacts que les contraintes occasionnées par la dérive des continents sont les plus fortes. Dans le monde, les zones les plus actives sont situées en Asie (Japon, Chine, Indonésie, Himalaya), au Proche-Orient (Turquie, Afghanistan), en Afrique du Nord (Algérie, Maroc) et en Amérique (Chili, Mexique, États-Unis). Séismes et volcanisme sont souvent associés sur ces limites de plaques

Plusieurs échelles d'intensité ont été définies. Les plus utilisées sont l'échelle de Mercalli qui date de 1902 et qui a été modifiée en 1956 et l'échelle MSK créée en 1964, du nom des trois sismologues européens : Medvedev, Sponheue et Karnik. Ces deux échelles comportent douze degrés notés généralement en chiffres romains de I à XII. Le nombre de victimes n'est jamais pris en compte dans ces évaluations car il dépend non seulement de l'intensité, mais du type local de construction, de la densité de population et de l'heure du séisme. Depuis peu, une nouvelle échelle a été adoptée par les pays européens : EMS 92 (European Macrosismic Scale 1992).



## CHAPITRE 2

---

### **6.9.2. Les séismes infra-plaque**

Même à l'intérieur des plaques tectoniques, des failles peuvent jouer et occasionner des séismes. Généralement moins violents que les précédents, ils correspondent à des réajustements des pressions dans la croûte terrestre. Ce sont plus particulièrement ces séismes que l'on observe en France métropolitaine.

### **6.9.3. Les séismes liés à l'activité volcanique**

Les éruptions volcaniques, autre phénomène associé à la tectonique des plaques, occasionnent une multitude de séismes et de microséismes. Ces derniers peuvent permettre de prédire l'imminence d'une éruption. Dans le cas d'une activité explosive (volcan de type péleén), la magnitude du séisme peut être significative.

### **6.9.4. Les séismes liés à l'activité humaine**

Certaines activités humaines peuvent occasionner des séismes, généralement modérés. Il s'agit notamment de la mise en eau des barrages ou de l'exploitation des gisements souterrains (gaz, minerais, etc.). Ainsi, l'exploitation des carrières même à ciel ouvert engendre des microséismes sous l'effet de l'utilisation des explosifs.

### **6.10. Caractérisation d'une source sismique**

Dans le cadre des études de l'aléa sismique d'une région donnée, les sources sismiques ou sismogènes sont caractérisées par plusieurs paramètres dont les plus significatifs sont:

- la localisation de la source sismique (définit la distance entre la source et le site urbain);
- le rôle tectonique c'est à dire la définition de la source en terme de faille linéaire (normale, inverse ou décrochant) ou de zone source (surface plane non matérialisée par un linéament);
- la géométrie de la source (longueur, pendage, profondeur, direction);
- la magnitude maximale des séismes et la période de retour associée à chacune des sources en failles (sources linéaires) ou zones sources (surface plane). Ces paramètres sont traités en détail ci-dessous :

#### **6.10.1. Définition de la source**

Les éléments fondamentaux intervenant dans la définition des sources sismiques sont leur localisation, leur aptitude sismique et leur rôle tectonique. La compréhension de la tectonique régionale, de l'histoire du Quaternaire et de la sismicité d'une région conduit à la définition de provinces sismotectoniques, et à l'identification de failles sources de séismes. Ces deux éléments fournissent les bases de l'évaluation des sources sismiques. Lorsque les données appropriées sont disponibles, modéliser les sources sismiques comme des failles est, d'un point de vue physique, l'approche la plus réaliste pour l'analyse de l'aléa sismique. Ce modèle est préférable à la modélisation de provinces sismotectoniques ou de zones sismiques définies principalement à partir de la sismicité historique. Une modélisation par des failles permet l'association de la sismicité avec les failles connues et permet l'utilisation des données géologiques concernant le comportement des failles pour caractériser les sources. L'utilisation des seules données sismiques peut être insuffisante pour modéliser les sources, particulièrement dans les environnements tectoniques où la sismicité historique ne couvre

## CHAPITRE 2

---

qu'une période relativement courte. Ceci est le cas de l'oranie où la sismicité historique ne couvre que 2 siècles environ (1790-2003). Cependant, en l'absence d'informations adéquates sur une faille spécifique, les sources sismiques peuvent être modélisées soit comme des zones sources, soit comme une combinaison de zones sources et de failles spécifiques. L'aptitude des sources sismiques potentielles à engendrer un séisme est fonction de leur rôle tectonique dans le champ actuel des contraintes et est généralement estimée à partir de la sismicité associée et de l'âge du plus récent déplacement de faille. Les techniques utilisées pour la géologie du Quaternaire peuvent faciliter l'estimation de la périodicité d'un déplacement de faille. De plus, une étude de l'association des failles avec l'activité sismique et des caractéristiques de cette sismicité peut clarifier le rôle de ces failles dans le champ des contraintes actuelles et leur aptitude à engendrer un séisme dans le futur. Le développement des modèles tectoniques pour une région et l'estimation du rôle tectonique joué par une source sismique individuelle sont le résultat de l'analyse des relations entre les données géologiques et sismologiques. Les études géologiques peuvent être utilisées pour estimer la localisation, la périodicité et le type de déformation de la croûte terrestre. Les caractéristiques de libération de l'énergie sismique, telles que profondeur focale et mécanisme au foyer, peuvent être déterminés par une modélisation détaillée des ondes sismiques obtenues par des enregistrements. Le modèle tectonique fournit les limites de la géométrie des sources sismiques ainsi que le type et le taux de déplacement sur une faille; ces limites sont importantes dans l'évaluation des relations entre la magnitude maximale des séismes et la période de retour.

### **6.10.2. Géométrie de la source**

« Certaines des premières analyses d'aléa sismique (Cornel, 1968 ; Milne et Davenport, 1969) émettaient l'hypothèse de modéliser les sources sismiques comme sources potentielles pour lesquelles l'énergie sismique est irradiée à partir du foyer sismique. Des études plus récentes (De Kiureghian et Ang, 1977 ; McGuire, 1978) ont utilisé des modèles de sources linéaires. Ces modèles considèrent la longueur de rupture de la faille pendant un séisme », citer par Boudiaf et al, 2003. L'utilisation de surfaces de rupture, au lieu de lignes de rupture, pour modéliser des sources sismiques produit des modèles d'occurrence sismique physiquement plus réalistes. Quand, pour une analyse d'aléa sismique, les sources sismiques sont modélisées par des surfaces, leurs orientations doivent être estimées dans un espace à trois dimensions. La modélisation sismologique de la source peut fournir des informations sur la largeur et le pendage du plan de faille incliné, et qui sont contraignantes pour les modèles régionaux de l'écorce terrestre qui, à leur tour, ont des implications sur la géométrie de la source. De plus, les données géologiques et géophysiques peuvent être utilisées pour trouver l'orientation des failles.

### **6.10.3. Magnitude du séisme maximum**

La magnitude du séisme maximum doit être estimée pour toutes les sources sismiques.

Les sources sismiques sont mieux représentées par des failles que par des zones de sources.

En effet, l'estimation des paramètres physiques des failles peut fournir des limites sur



## CHAPITRE 2

---

L'estimation de la magnitude maximale pour chaque source. La magnitude maximale des séismes qui se produisent sur une faille peut être estimée à partir de la géométrie de la source, du comportement de la faille, et de la sismicité historique. Plusieurs relations empiriques et analytiques ont été proposées pour l'estimation des magnitudes maximales. Ces relations relient la magnitude :

- à la longueur de rupture de faille;
- à la surface de rupture de faille;
- au déplacement maximum par événement sismique;
- au taux de déplacement de la faille;
- au moment sismique.

Parce qu'il existe des incertitudes dans ces relations, l'utilisation de plusieurs méthodes pour obtenir la magnitude maximale peut donner des résultats plus fiables que l'utilisation d'une seule méthode. La sismicité historique, particulièrement dans les cas où elle couvre une période assez longue et/ou dans les cas où l'activité sismique de la faille est grande, peut donner des informations utiles sur l'estimation de la magnitude maximale. Les incertitudes, associées d'une part aux paramètres de la faille utilisés dans les méthodes d'estimation de la magnitude et, d'autre part, aux relations entre ces paramètres et la magnitude, peuvent être prises en compte de manière systématique avec l'aide de techniques probabilistes.

### **6.10.4. La récurrence sismique**

La récurrence sismique ou la fréquence des séismes de diverses magnitudes est un élément important de l'analyse de l'aléa sismique. La fréquence des séismes, pour les régions étudiées, est généralement estimée à partir de la sismicité historique. Cependant, dans certains cas, cette sismicité historique ne couvre qu'une période limitée, ou est insuffisante pour estimer la fréquence des séismes de certaines failles. Dans ces cas, une étude néotectonique des failles quaternaires peut être entreprise.

Le taux de déplacement permet d'obtenir des limites sur l'énergie de déformation totale qui s'est accumulée le long de la faille et qui est potentiellement prête à être libérée. Il existe plusieurs méthodes basées sur des relations mathématiques qui associent : moment sismique, magnitude, fréquence des séismes, déplacement de la faille active ainsi que d'autres paramètres pour représenter de façon physique la source d'un séisme dans une région donnée. Des divergences entre les intervalles de récurrence sismiques obtenus soit à partir de la sismicité historique, soit à partir des taux de déplacement obtenus à la suite d'études géologiques, sont courantes. Ceci est dû aux variations, à court et à long terme, de la distribution temporelle et spatiale des séismes. Autant que possible, le choix des relations magnitude, fréquence des séismes devrait considérer ces deux sources d'informations pour les analyses d'aléa sismique.

### **6.10.5. Les effets de site**

Pour un séisme de magnitude donnée, le mouvement du sol est généralement maximal à l'aplomb de la faille et décroît avec la distance. Cependant, le mouvement du sol peut varier localement (augmentation ou réduction) en raison de la topographie ou de la constitution du

## CHAPITRE 2

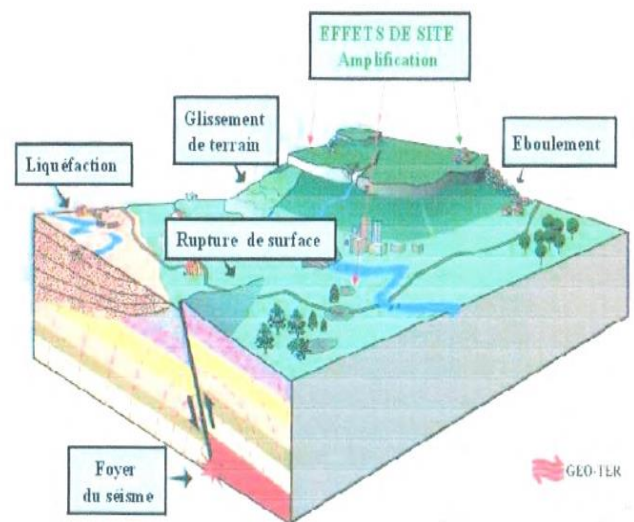
sous-sol. Ainsi, les reliefs et les alluvions accumulées sur de grandes épaisseurs (plaines alluviales) enregistrent généralement des désordres supérieurs par effet d'amplification. On parle respectivement d'effets de site : **topographiques** et **lithologiques** (structure et nature du sous-sol).

Les irrégularités de la surface topographique et la présence de couches géologiques souterraines de nature et de géométrie variables, peuvent accroître les effets dévastateurs d'un séisme par modification des caractéristiques du mouvement vibratoire. Les sommets des buttes, les crêtes allongées, les rebords de plateaux et de falaises sont souvent le siège d'amplifications importantes, intéressant une large gamme de constructions. La vibration sismique peut être assimilée à une addition de vibrations élémentaires possédant une amplitude et une fréquence propres. Les effets de sites peuvent conduire, par rapport au mouvement sismique de référence (dit 'au rocher horizontal') à une augmentation de l'amplitude de certaines fréquences (amplification) et à sa diminution sur d'autres fréquences.

Les caractéristiques mécaniques de certaines formations superficielles (densité, rigidité, compressibilité...), la géométrie de ces formations (empilement, remplissage de fond de vallée, contact tectonique ou stratigraphique) sont susceptibles de modifier le signal sismique. Sous l'expression générique « mouvements de terrain » sont regroupés plusieurs types de phénomènes d'instabilité des terrains, variables en fonction du mécanisme mis en jeu (évolution de l'instabilité, vitesse du mouvement durant la phase d'instabilité majeure, surface de rupture, désorganisation des terrains, etc.). En effet, un tremblement de terre induit des conséquences majeures et il en résulte, suite à la pénétration des différentes ondes sismiques dans le sous-sol plusieurs phénomènes qu'on peut qualifier d'annexes (**figure 10**). Parmi ces phénomènes on définit :

### 7. Prévention :

Ce qui intéresse les spécialistes de la prévention sismique ou de prospective, ce sont les dégâts dans les bâtiments et infrastructures périphériques (routes, canaux, barrages, écluses, ports, aéroports, centrales nucléaires, réseaux d'eau, électrique, gazier, antennes et réseaux de télécommunications...), ainsi que les pertes de fonctions (dans un hôpital par exemple) que peuvent causer les séismes. Il faut donc évaluer dans chaque région les dégâts



**Figure 9:** Bloc-diagramme illustrant les effets de site provoqués par le passage des ondes sismiques dans le sous-sol (Internet : GEO-TER.fr, 2005)

## CHAPITRE 2

---

les plus importants qui peuvent être causés par un séisme. Ceci revient à déterminer l'intensité macrosismique maximale que l'on peut ressentir dans la région en question.

Les sismologues préfèrent en fait étudier l'accélération du sol (dont le paramètre "accélération maximale du sol") qui est liée à l'intensité mais qui est une grandeur physique alors que l'intensité est une grandeur plus globale et subjective. Déterminer le risque sismique en un lieu est donc déterminer l'accélération maximale que le sol est susceptible de subir lors d'un tremblement de terre. Cette accélération est en général exprimée en fonction de l'accélération de la pesanteur qui vaut environ  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

On ne peut toutefois anticiper avec précision les mouvements du sol dus à de possibles futurs séismes avec les méthodes de prédictions disponibles. Les seuls éléments dont les sismologues disposent sont des données géologiques et des statistiques sur l'occurrence et la magnitude des séismes dans une région. Ils doivent donc raisonner en termes de probabilité : une évaluation de risque sismique revient à donner une accélération maximale que le sol peut subir et un pourcentage de "chance" pour que cette valeur soit atteinte au cours d'une période de référence. Par exemple, « il y a 5 % de « chance » que le sol subisse une accélération de  $0,5 \text{ g}$  (soit  $5 \text{ m/s}^2$  ou une intensité IX) dans les cinquante prochaines années mais il y a 40 % de "chance" pour qu'il subisse une accélération de  $0,1 \text{ g}$  (soit  $1 \text{ m/s}^2$  ou une intensité VI) avant 50 ans. » Ensuite, en fonction de ces valeurs, on classe la zone comme étant plus ou moins « à risques » et on trace des cartes plus globales de zonage sismique recensant le risque déterminé pour chaque zone.

### **La bonne prévention s'appuie sur :**

Une bonne évaluation de l'aléa sismique (qui implique par une bonne connaissance des séismes) ;

Une conception adéquate des constructions et ouvrages nouveaux ;

Un contrôle efficace de la bonne exécution de ces ouvrages ;

Le confortement du bâti ancien lorsqu'il pose problème ;

Des documents d'urbanisme qui évitent de trop grandes concentrations (de population et/ou industrielles) dans les zones à plus haut risque.

La prévention sert à se protéger soi-même et ses proches.

Comment évaluer un risque sismique :

La chaîne de risque sismique  $R$  est la combinaison de l'aléa sismique<sup>2</sup>  $A$  en un point donné et la vulnérabilité<sup>3</sup>  $V$  des enjeux .

Les effets d'un tremblement de terre dépendent de plusieurs paramètres :

La vulnérabilité du sol (ex : risque de liquéfaction, coulées de boues, glissement de terrain) ;

La vulnérabilité des installations et infrastructures ;

La fréquence et l'intensité du séisme ;

La plus ou moins grande proximité et profondeur de l'épicentre (le temps de donner l'alerte ou d'enclencher des dispositifs automatiques de sécurité (tel que l'arrêt de réacteurs nucléaires),

## CHAPITRE 2

---

la préparation des secours, etc. dépend du délai entre l'annonce du séisme et de la manifestation de ses effets. Certains séismes resteront brutaux et sans signes précurseurs certains) ;

l'« effet de site » qui amplifie localement les secousses sismiques (couches superficielles meubles, discontinuités géologiques, bord de vallée, colline, vallée glaciaire) ;

Une éventuelle aggravation des dégâts par la répétition de secousses (répliques sismiques) ;

Des évènements secondaires tels que éruption ou sans coulée de lave ou retombées des matériaux (blocs, cendres volcaniques), émissions de vapeurs ou fumées nocives, ou encore production d'un ou plusieurs tsunami(s) ;

La conjonction et intrication de plusieurs catastrophes sur un même lieu et au même moment, dont éventuellement séisme + accident nucléaire. Cette situation est dite "Genpatsu-shinsai" au Japon. Cette expression accole les expressions *Genpatsu*, abréviation du mot "centrale nucléaire" et *shinsai* "tremblement de terre". C'est une situation synergique de risque et danger, où les conséquences de deux situations (sismique et radiologiques) peuvent s'aggraver l'une l'autre, et fortement compliquer la gestion de crise et la résolution des problèmes. Cela a été le cas plusieurs fois au Japon, avec la plus grande gravité en mars 2011 lors de l'accident nucléaire de Fukushima.

Une première étape est l'évaluation de la vulnérabilité géologique de la zone considérée. Elle s'appuie sur :

L'exploitation d'un réseau de sismomètres (à créer le cas échéant) dans la région à étudier. Pour cela, des observations sur une très longue durée sont nécessaires, d'autant plus longue que la sismicité de la zone est modérée. Enregistrer l'activité sismique durant dix ans sans que rien ne se produise ne signifie pas qu'aucun séisme important ne se produira à plus long terme dans 600 ou 700 ans. L'étude des enregistrements sismiques (de tous les séismes locaux et proches, même minimes) permet de mieux évaluer la sismicité de moyen et long terme, ainsi que la magnitude maximale possible, la récurrence des séismes, le risque de tsunami, etc.

Des études géologiques (étude des failles, situation par rapport à la tectoniques des plaques, etc.)

Des études historiques ; Les scientifiques et historiens travaillant en collaboration étroite peuvent retrouver la trace de séismes passés. C'est la sismologie « historique », qui n'est possible que dans des régions de peuplement ancien et de civilisation écrite. Ainsi on dispose en Chine de 2 700 années d'archives et en France on peut retrouver la trace de séismes jusqu'au XI<sup>e</sup> siècle, mais en Californie par exemple, il n'y a pas de trace historique de séisme plus ancien que 1800 environ, date du peuplement de la région. On peut alors faire appel à l'archéologie (archéosismologie) et en amont de la période historique à la paléo sismologie.

D'autres disciplines interviennent en complément :

Néotectonique ;

Mesure des mouvements du sol (de modérés à forts), évalués via un réseau adéquat d'accéléromètre, afin de disposer d'un niveau absolu, et tant que possible de données sur les

## CHAPITRE 2

---

variations locales liées aux "effets de site" ; étude de "micro zonage sismique" (au Japon, des études et cartes peuvent ainsi être faites à l'échelle d'un quartier).

La seconde étape est celle de l'évaluation prospective : Quand on connaît bien l'histoire sismologique récente et ancienne d'une région, on peut se faire une idée de la taille et l'occurrence des séismes destructeurs susceptibles de toucher la région mais aussi. Ceci permet, dans une certaine mesure, et de manière couplée avec les observations actuelles, de déterminer le risque statistique d'occurrence d'un séisme à un endroit donné. On détermine ainsi l'aléa sismique".

Une troisième étape est celle de la préparation (renforcements ou reconstruction de bâtiments ou infrastructures vulnérables, application normes) et de la gestion du risque (cindyriques, exercices et plans de secours, etc.).

# Chapitre 3 :

## Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité sismique 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. Directement issues de retours d'expérience, elles dépendent de l'échelle pays, région, commune autant dire l'échelle qui nous intéresse à nous, bureau de contrôle afin de pouvoir établir une rapide classification.

### 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

## CHAPITRE 3

---

- la méthode italienne GNDT

### **2. Etude de critère de vulnérabilité**

#### **2.1. Approche du projet européen RISK-UE (2003) Im1**

##### **2.1.1. Description**

Cette méthodologie a été développée par les institutions partenaires du projet RISK-UE (AUPh, 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,

$\Delta V_m$  représentant l'influence des différents facteurs pouvant modifier le comportement,

$\Delta V_r$  prenant en compte le jugement de l'expert concernant les particularités régionales de la vulnérabilité pressentie lors de l'observation,

$\Delta V_p$  prenant en compte l'incertitude du relevé de la typologie et des facteurs de vulnérabilité

## CHAPITRE 3

---

Le terme  $V$  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  $\Delta V_m$  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 1). Ce recensement nécessite un simple examen visuel extérieur.

Le terme  $\Delta V_R$  est laissé à l'appréciation de l'enquêteur.

Le terme  $\Delta V_f$  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  $VI^*$  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 BRG

### 2.2. 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  $\Delta V_m, \Delta V_r$ .



## CHAPITRE 3

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

### 3. Données et compétences nécessaires

#### 3.1. Données nécessaires

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

#### 3.2. 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  $\Delta V_r$  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**<sup>4</sup>. 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	<b>M1</b>	<b>Murs porteurs en maçonnerie de pierres</b>					
	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
	<b>M2</b>	<b>Adobe</b>	0.62	0.687	0.84	0.98	1.02

## CHAPITRE 3

	<b>M3</b>	<b>Murs porteurs en maçonnerie non armé</b>					
	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
	<b>M4</b>	<b>Murs porteurs en maçonnerie armée ou confinée</b>	0.14	0.33	0.451	0.633	0.70
	<b>M5</b>	<b>Maçonnerie globalement renforcée</b>	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
	<b>RC3.1</b>	<b>Système poteaux/poutres avec mure de remplissage en maçonnerie non armé</b>					
	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 1 : Détermination de l'indice VI\* 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 $\Delta V_m$ représentant l'influence de paramètres autres que la typologie sur la réponse de la structure aux sollicitations sismiques.

Le facteur  $\Delta V_m$  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	

## CHAPITRE 3

	Distance entre les murs	-0.04 à +0.04
	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 Connections de la toiture	+0.04
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
	Escarpement	+0.02

**Tableau 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 (bowwindow)		+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 3 : Valeurs des facteurs  $V_m$  pour les bâtiments en béton armé**

### 3- Évaluer le facteur $V_R$ de vulnérabilité régionale

## CHAPITRE 3

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 VI.

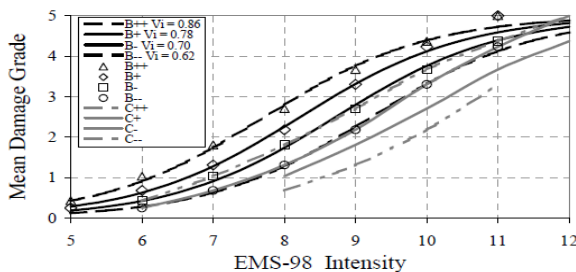
L'indice de vulnérabilité VI est la somme de l'indice typologique  $V_I^*$ , du facteur  $\Delta V_m$  et du facteur  $\Delta V_R$  de vulnérabilité régionale.

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

### Etape 2 : Estimation du dommage moyen $\mu_D$

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

Cette équation a été établie selon les graphes suivant



**Figure 10 :** répartition des dommages moyens en fonction des intensités

L'intensité macrosismique I et l'échelle des degrés de dommage à laquelle se rapporte  $\mu_D$  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

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

Fonction de distribution cumulée :

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

#### 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

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 :

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

## CHAPITRE 3

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

### 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 Figure2.1).






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 préfabriqués	—○—				
	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				—○—	—	
BOIS				—○—	—	

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

Figure 11 : Typologies EMS-98 associées à une classe de vulnérabilité.

## CHAPITRE 3

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.

<b>Echelle EMS 98, Classification des dégâts aux bâtiments en maçonnerie</b>	
<b>Degré 0 (D0) : dégâts nuls)</b>	
	<p><b>Degré 1 (D1) : Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structural, légers dégâts non structuraux)</b> 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.</p>
	<p><b>Degré 2 (D2) : Dégâts modérés (dégâts structuraux légers, dégâts non structuraux modérés)</b> Fissures dans de nombreux murs. Chutes de grands morceaux de plâtre. Effondrement partiel des cheminées</p>
	<p><b>Degré 3 (D3) : Dégâts sensibles à importants (dégâts structuraux modérés, dégâts non structuraux importants)</b> 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).</p>
	<p><b>Degré 4 (D4) : Dégâts très importants (dégâts structuraux importants, dégâts non structuraux très importants)</b> Défaillance sérieuse des murs; défaillance structurale partielle des toits et des planchers.</p>
	<p><b>Degré 5 (D5) : Destruction (dégâts structuraux très importants)</b> Effondrement total ou presque total.</p>

**Figure 12** : Classification des dommages du bâti en maçonnerie selon EMS-98 <sup>6</sup>



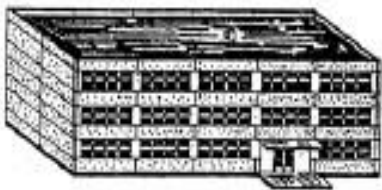
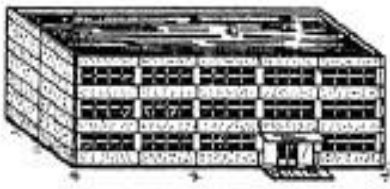
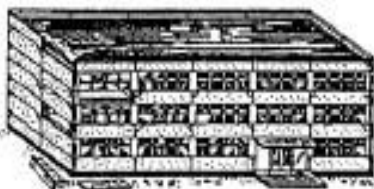
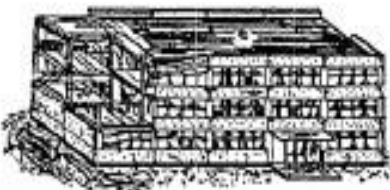

Classification des dégâts aux bâtiments en BETON ARME	
(Degré 0 (D0) : dégâts nuls)	
	<p>Degré 1 (D1) : Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structurel, légers dégâts non structuraux)</p> <p>Fissures fines dans le plâtre sur les parties de l'ossature ou sur les murs à la base. Fissures fines dans 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 13: Classification des dommages du bâti en béton armé selon EMS-98

# Chapitre 4 : Etude scénarios sismiques

## Zone de couverture d'étude des bâtiments.

Mostaganem est une ville côtière située à 360 km à l'ouest d'Alger et à 80 km à l'est d'Oran. La ville de Mostaganem est bâtie en amphithéâtre, la ville se divisait en deux petites agglomérations distinctes et séparées par un vallon fertile où coule l'oued Ain-Sefra (voir figure).

Actuellement, elle se compose d'une ville neuve, très étendue, et d'une vieille ville, plus compacte, accrochées de part et d'autre à un profond ravin creusé (l'oued d'Ain-Sefra).

La position géographique stratégique et la richesse du site ont conféré à Mostaganem un caractère de ville historique, témoin d'un passé prestigieux représentatif d'un patrimoine architectural et culturel encore vivace. Mostaganem est également une ville dynamique, accueillante et grouillante, qui tout en gardant tant bien que mal un caractère ancien ne cesse de se développer et de s'étendre sur des territoires autrefois agricoles.



La présente recherche concerne l'expertise des constructions de différents typologies constituant L'université d'ITA et quelques bâtis qui se situent à côté de cette dernière, et qui sont situés dans le cœur du chef-lieu de la wilaya de Mostaganem comme présentés dans les figures ci-dessous (**voir figure 34**). Ce projet est coordonné avec les municipalités concernées et aussi avec des administrations locales.



### Localisation du chef-lieu de la wilaya de Mostaganem

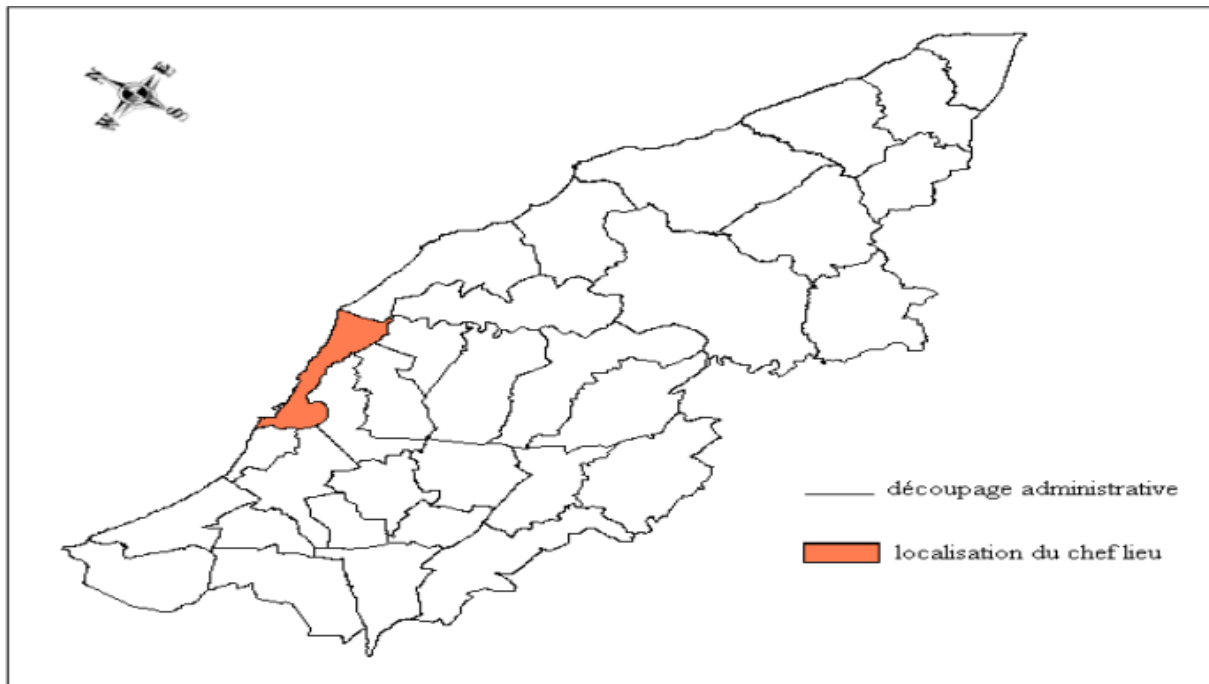


Figure 14 : Carte de la wilaya de Mostaganem (format Mapp info).

### Localisation de la zone d'étude

A partir de la carte susmentionnée la plupart des constructions expertisé se trouvent a l'intérieure du périmètre urbain de la ville de Mostaganem, grâce aux plans directeur d'aménagement urbain de la ville de Mostaganem (BDAU Mostaganem), nous avons définir notre zone d'étude qui comporte l'université d'ITA ainsi un centre urbain adjacent à cette dernier. (Voir figure 48)

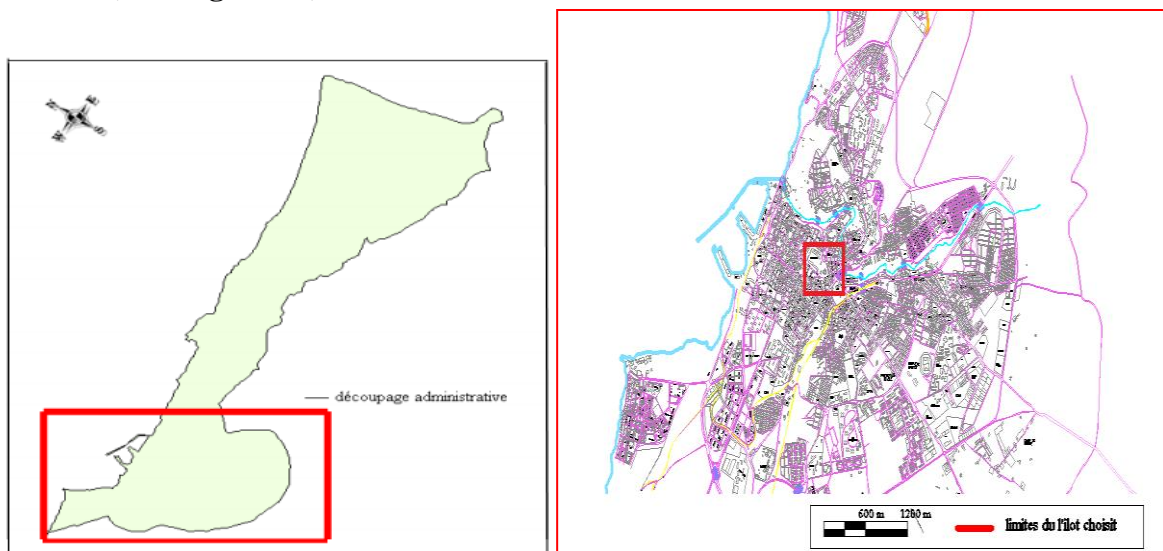


Figure 15 : Localisation de la zone d'étude dans la carte de Mostaganem (URBOR Mostaganem)

### Distribution des constructions dans la zone d'étude

La zone d'étude qu'a été définie précédemment contient des constructions de différentes typologies (maçonnerie, béton armé ...etc.), donc la figure sous-cotée montre la distribution des différents structures examiner sur le lieu de travail. (Voir figure 49)

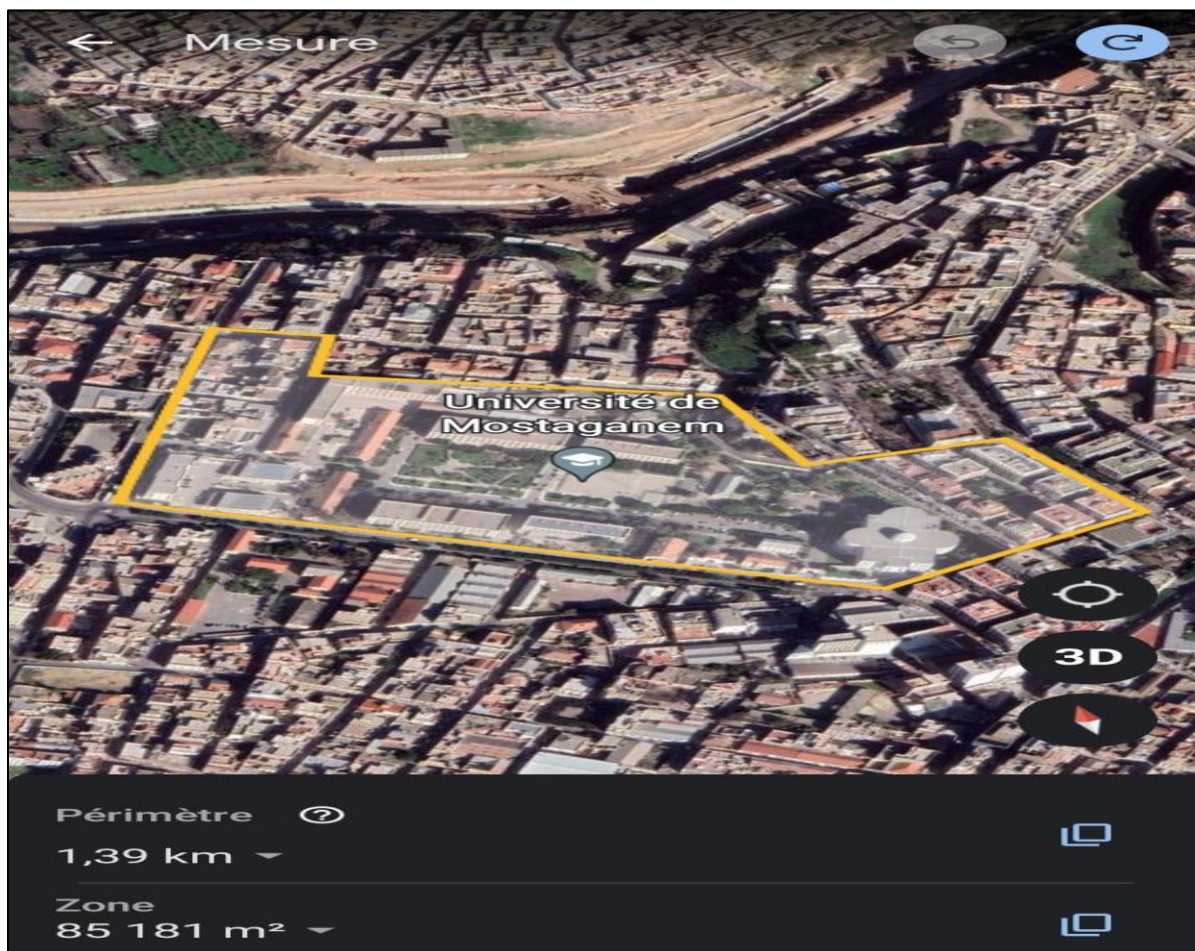


Figure 16 : Localisation de la zone d'étude (Google Earth)

### Catégorie des constructions diagnostiquées

La plupart des constructions choisîtes sont à usage administrative, (équipement) recevant publics, notre site contient aussi des immeubles a usage d'habitation.

Tableau 4 : catégories des bâtis expertisés.

Catégorie des constructions	Habitats collectifs	Equipements
Les constructions choisies	20	33
Pourcentage	37,74%	62,26%

### 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, 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 1 :** construction a usage d'équipement situé à l'intérieure de la zone d'étude cette photo prise à partir de la ville de Mostaganem

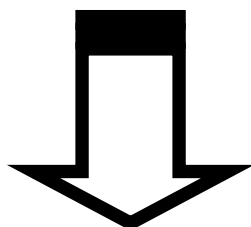


**Photo 2 :** construction a usage d'équipement. Qui situé a l'intérieure de la zone d'étude cette photo prise a partir de la ville de Mostagane

**Formulaire pour le diagnostic des bâtiments de ce projet.**

**Missions d'enquête sur le terrain**

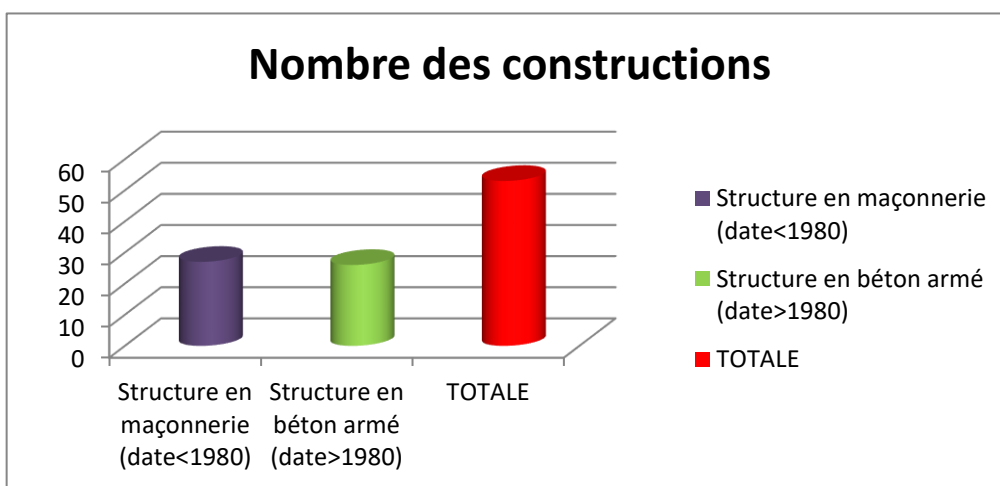
**Missions d'enquête des bâtiments pour 51 installations existantes.**



- Formulaire d'information du bâtiment de l'enquête:**
- **Conception technique du bâtiment ;**
  - **Condition topographique ;**
  - **Type de construction;**
  - **L'âge de l'immeuble;**
  - **Nombre d'étages;**
  - **Nombre des sous-sols;**
  - **l'histoire des bâtiments, dommages, réparation Travaux d'extension, ...etc.**

**Figure 17 :** Informations collectées des données à partir de missions d'enquête sur le terrain des bâtiments existants

<b>Date et type des constructions expertisées</b>	<b>Nombre des constructions</b>	<b>%</b>
Structure en maçonnerie (date<1980)	27	50,94
Structure en béton armé (date>1980)	26	49,06
<b>TOTALE</b>	<b>53</b>	<b>100</b>



**Figure 18 :** Date et type des constructions surveillées

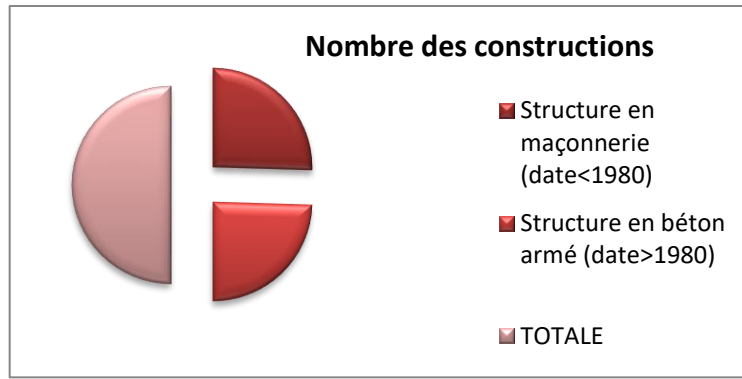


Figure 19 : Date et type des constructions expertisées (diagnostiquées)

### 1. Etude du scénario sismique :

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.

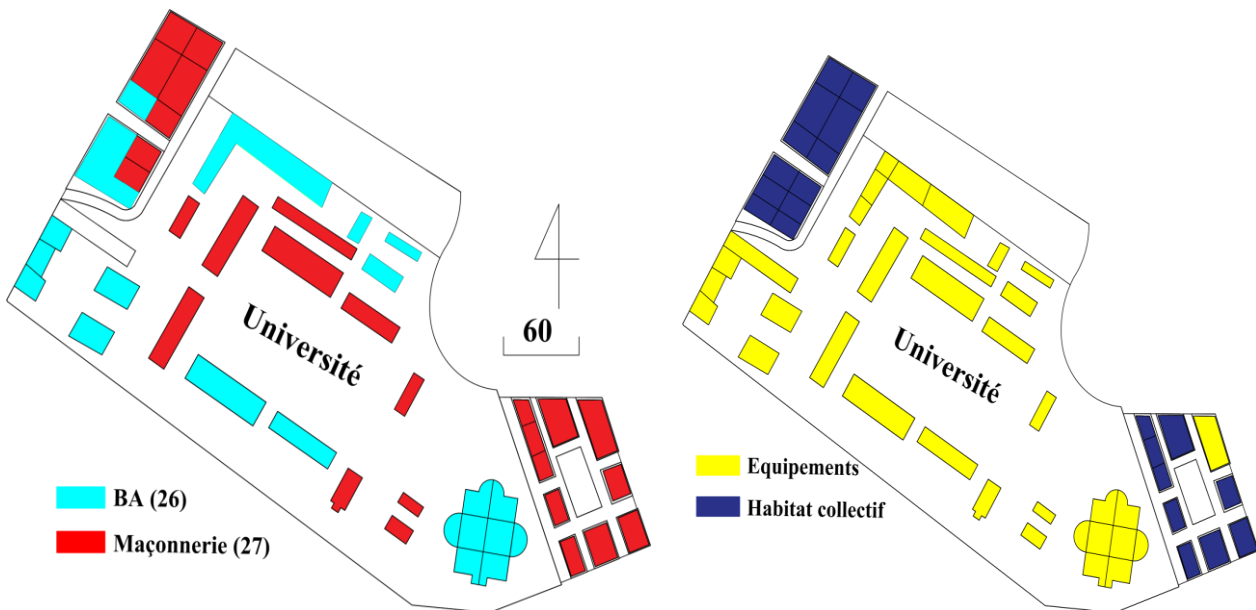
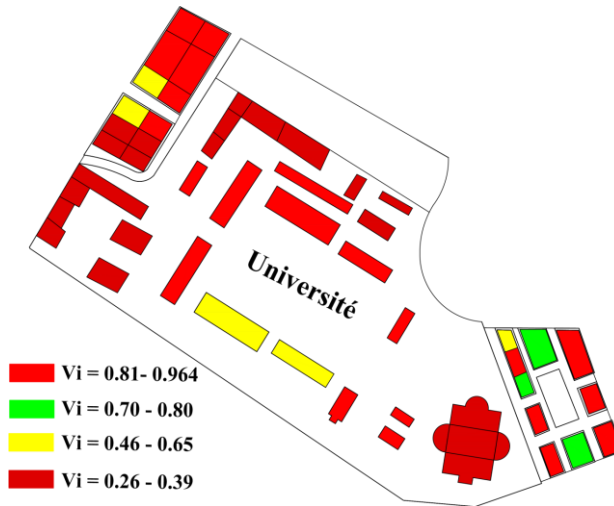


Figure 20 : Typologies et Usage des constructions existantes et leurs distributions dans la zone d'étude.

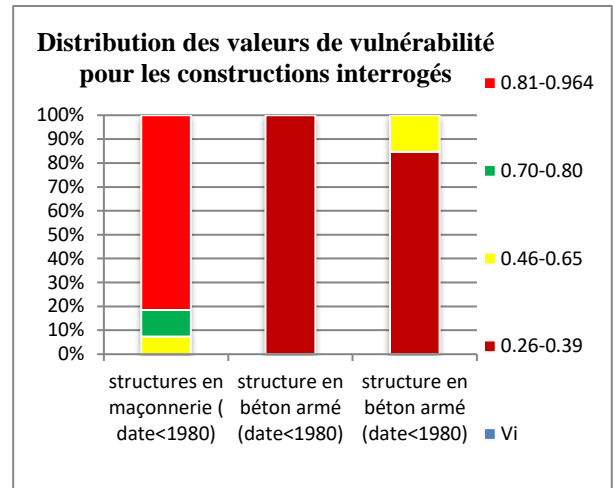
### 2. Estimation de l'indice de vulnérabilité pour les bâtiments interrogés

Les résultats des valeurs de l'indice de vulnérabilité obtenus pour les bâtiments sont présentés dans la carte ci-dessous :



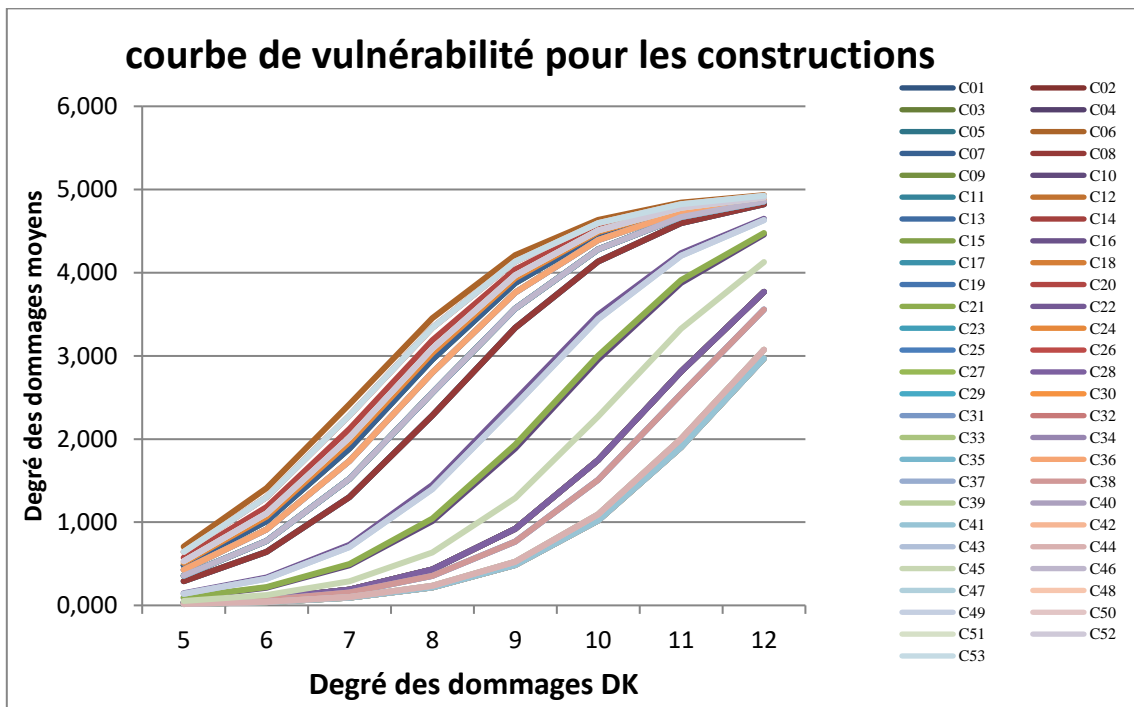


**Figure 21 :** distributions des indices de vulnérabilité des constructions existants dans la zone d'étude.



**Figure 22 :** Distributions des indices de vulnérabilité des constructions existant Estimation de degrés des dommages moyens et présentation des courbes de vulnérabilité

**2.1. Estimation degrés des dommages moyens pour les constructions**



**Figure 23 :** Estimation des dommages moyens pour toutes les constructions

**2.2. Estimation de degrés des dommages moyens pour les constructions en (béton armé et maçonnerie)**

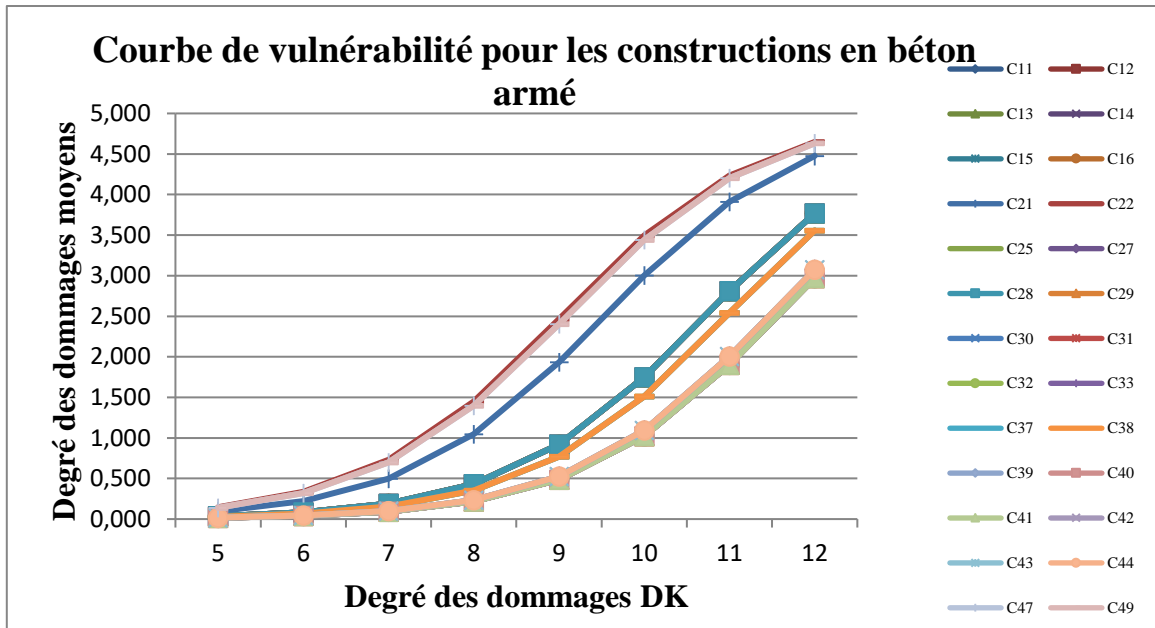


Figure 24 : Estimation des dommages moyens pour les constructions en béton armé

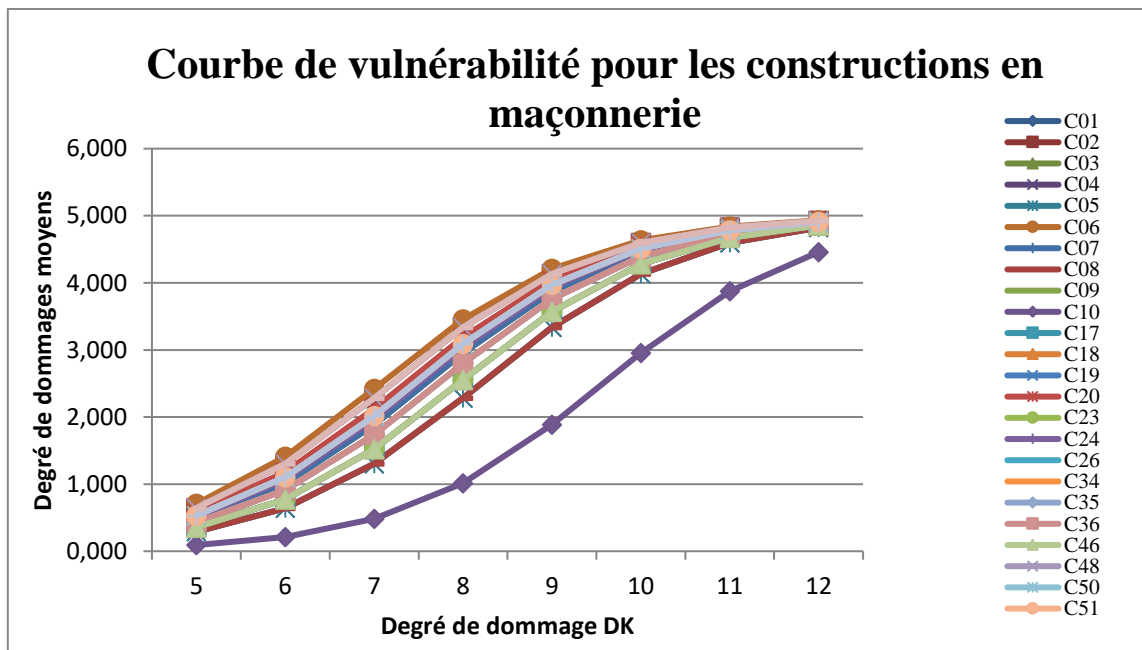


Figure 25 : Estimation des dommages moyens pour les constructions en maçonnerie

### 3 Distribution des dommages et scénarios sismique de déférentes intensités

#### 3.1 Scénario sismique pour Intensité I=5

##### 3.1.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie (date<1980)



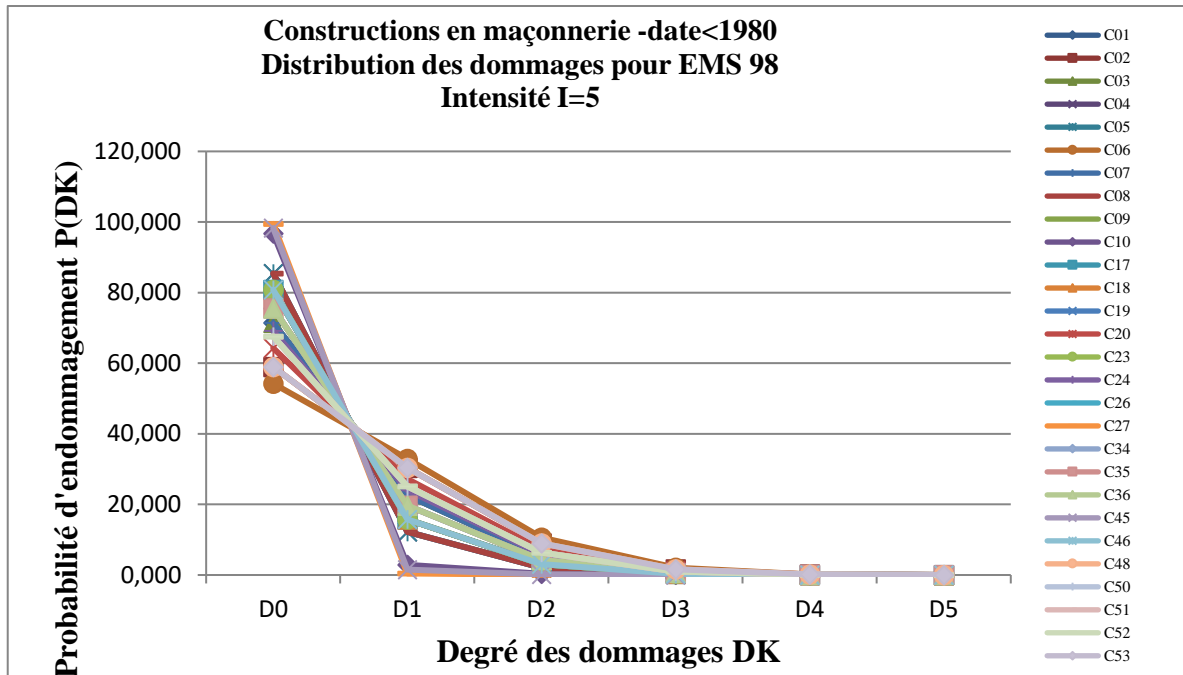


Figure 26 : distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie (date<1980)

3.1.2. *Distribution des dommages pour les constructions en béton armé*

(Date >1980)

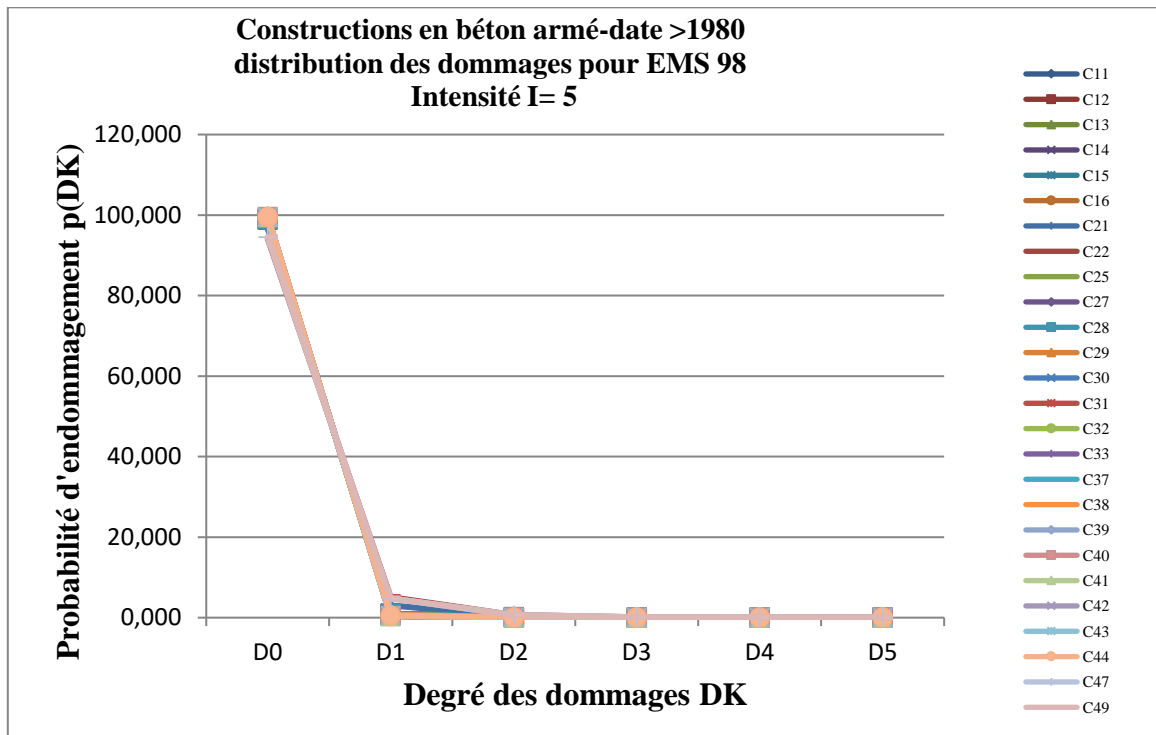


Figure 27: distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date >1980)

Tableau 5 : Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=5

## CHAPITRE 4

Date & type des constructions	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Construction en maçonnerie date<1980	26	--	--	--	--	--
Construction en béton armé date>1980	27	--	--	--	--	--
Totale	53	--	0	0	0	0
%	100%	--	0	0	0	0

### 3.2 Scénario sismique pour l'intensité I=6

#### 3.2.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie (Date <1980)

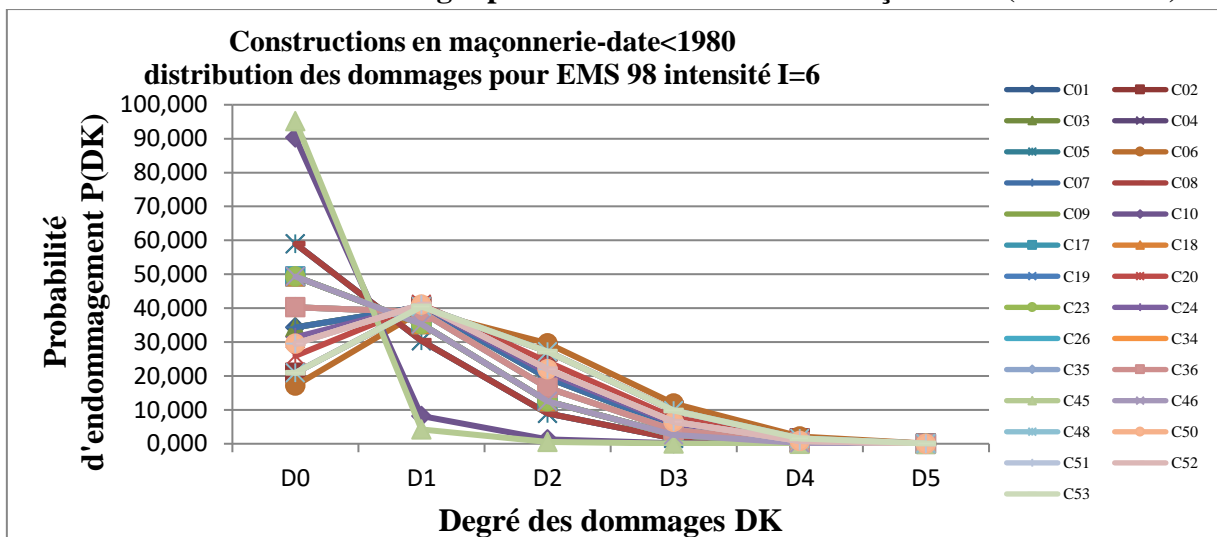


Figure 28 : distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie (date <1980)

#### 3.2.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

(Date >1980)

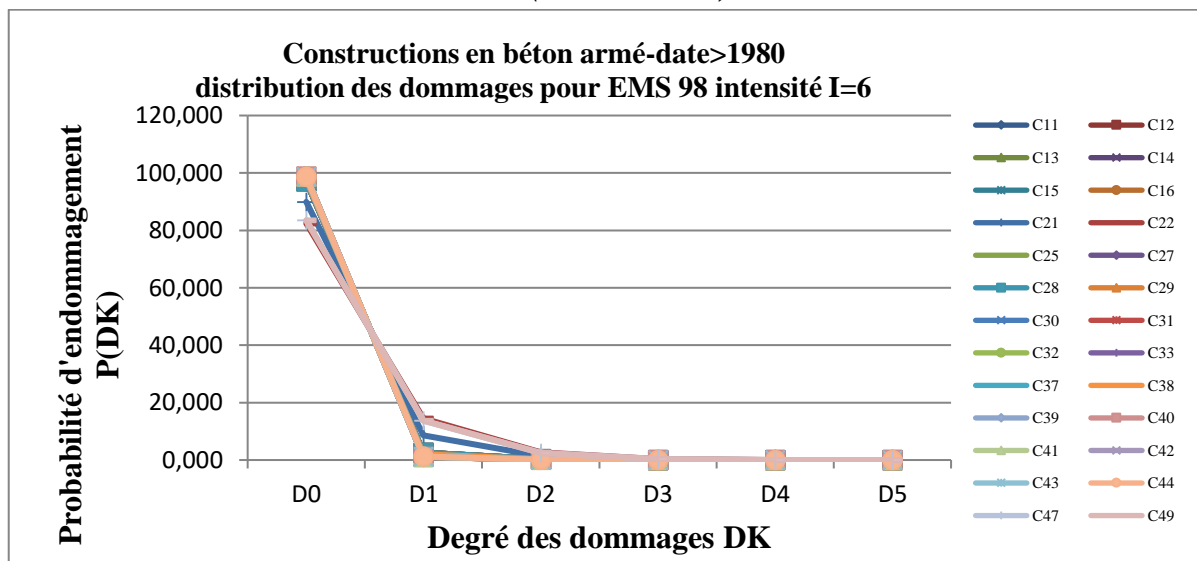


Figure 29 : distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date >1980)

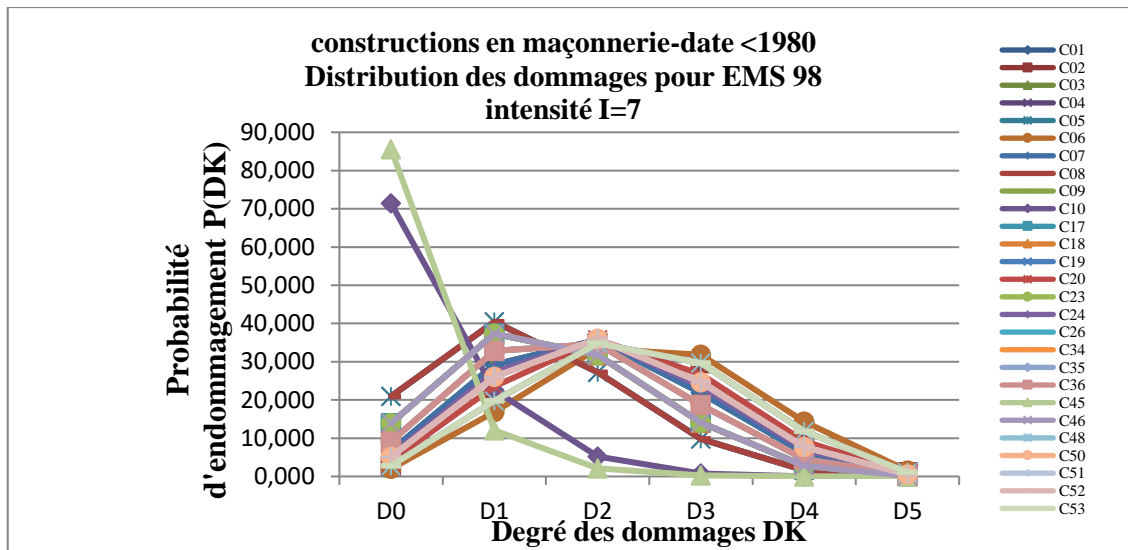
## CHAPITRE 4

**Tableau 6 : 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	15	12	--	--	--	--
Construction en béton armé date>1980	26	--	--	--	--	--
Totale	41	12	0	0	0	0
%	77.36%	22.64%	0	0	0	0

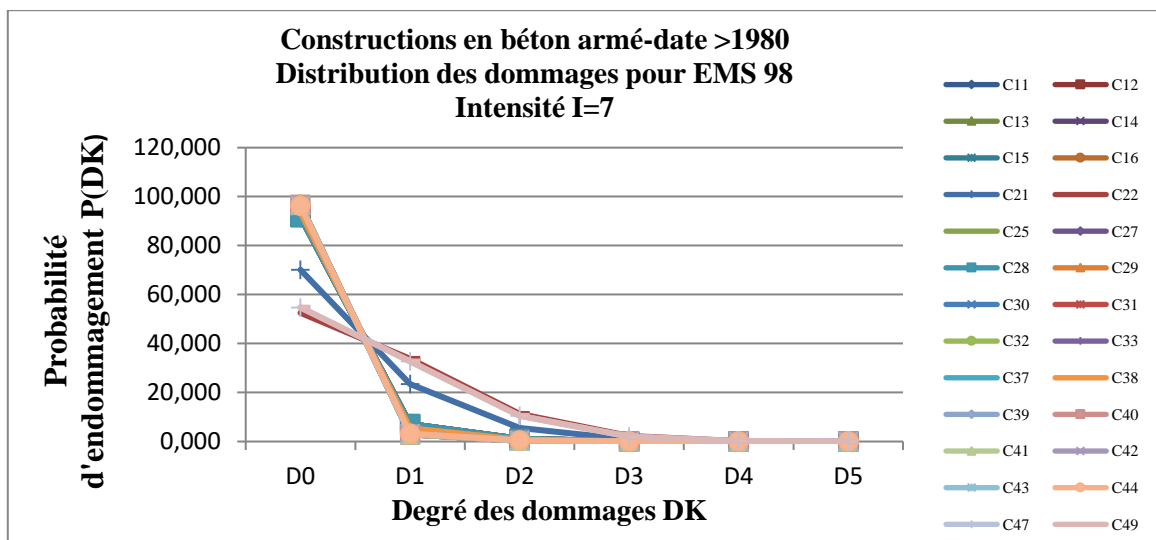
### 3.3 Scénario sismique pour intensité I=7

#### 3.3.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie (Date <1980)



**Figure 30 : distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie**

#### 3.3.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé (Date >1980)



**Figure 31 : distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date>1980)**

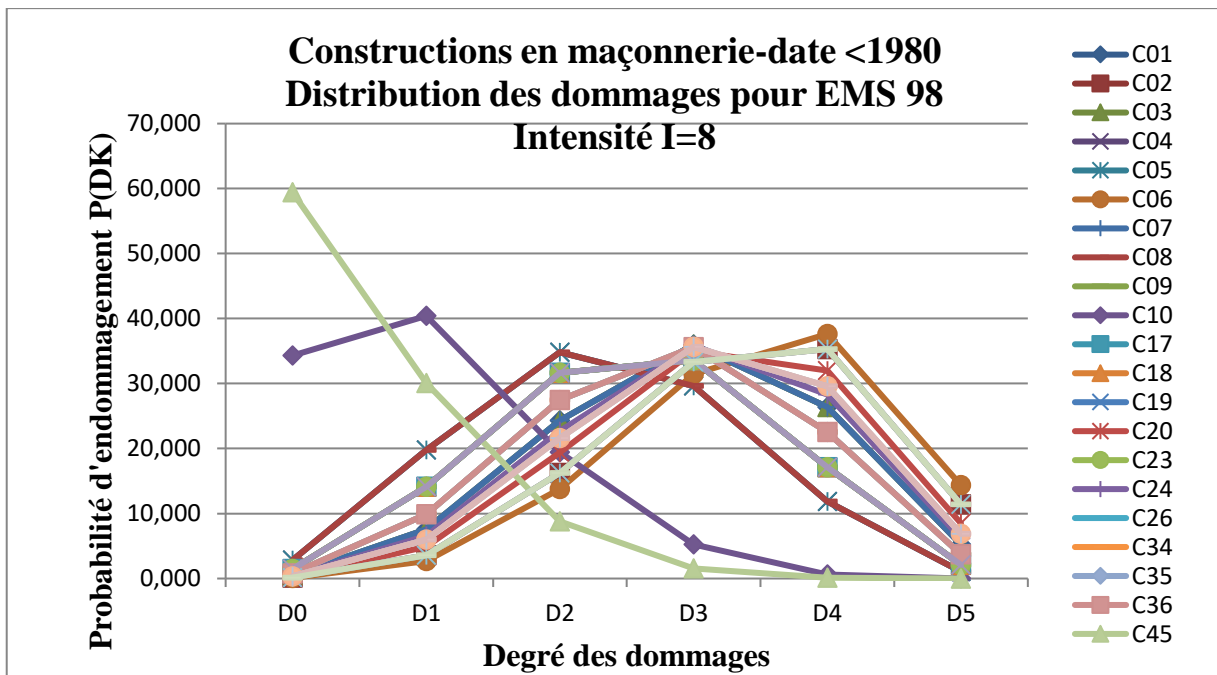
## CHAPITRE 4

**Tableau 7 : 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	2	9	16	--	--	--
Construction en béton armé date>1980	26	--	--	--	--	--
Totale	28	9	16	0	0	0
%	52.83%	16.98%	30.19%	0%	0%	0%

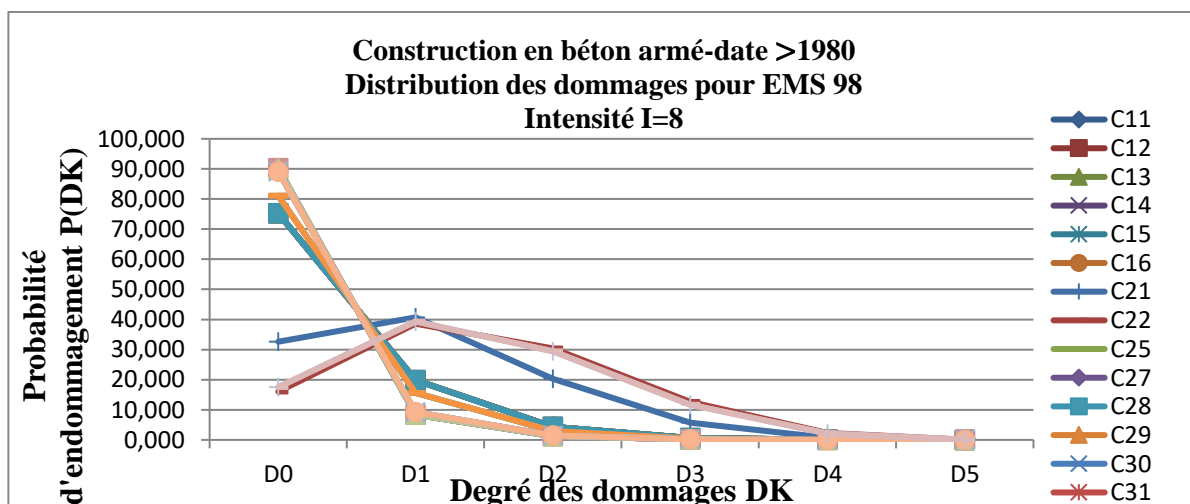
### 3.4 Scénario sismique pour intensité I=8

#### 3.4.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie (Date <1980)



**Figure 32 : distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie**

#### 3.4.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé (Date >1980)



**Figure 33 : distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date>1980)**

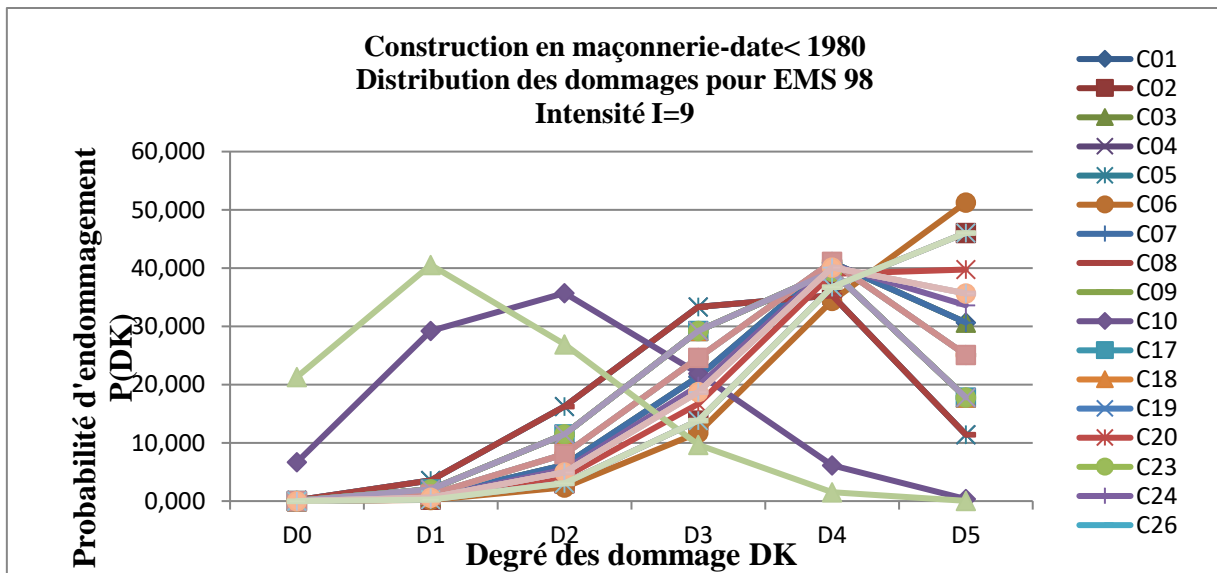
## CHAPITRE 4

**Tableau 8: Synthèse de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=8**

Date & type des constructions	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Construction en maçonnerie date<1980	1	1	3	18	4	--
Construction en béton armé date>1980	22	4	--	--	--	--
Totale	23	5	3	18	4	0
%	43.40%	9.43%	5.66%	33.96%	7.55%	0

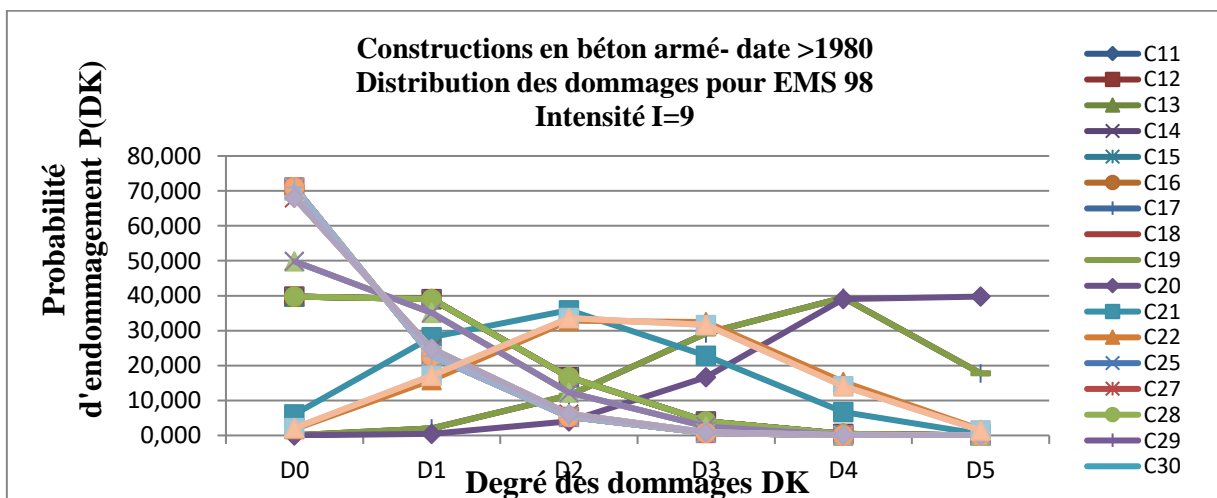
### 3.5 Scénario sismique pour intensité I=9

#### 3.5.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie (Date <1980)



**Figure 34 :** distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

#### 3.5.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé (Date >1980)



**Figure 35 :** distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date>1980)

Tableau 9 : 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	1	--	21	4
Construction en béton armé date>1980	22	--	4	--	--	--
Totale	22	1	5	--	21	4
%	41.51%	1.89%	9.43%	0%	39.62%	7.55%

3.6 Scénarios sismique pour intensité I=10

3.6.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie (Date <1980)

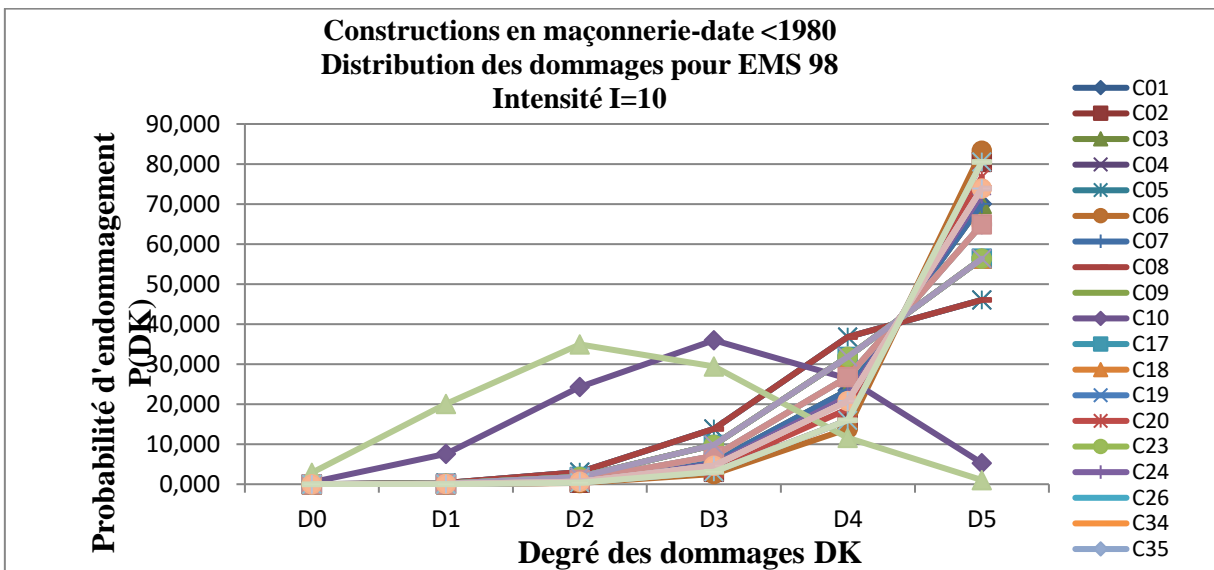


Figure 36 : distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

3.6.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé (Date >1980)

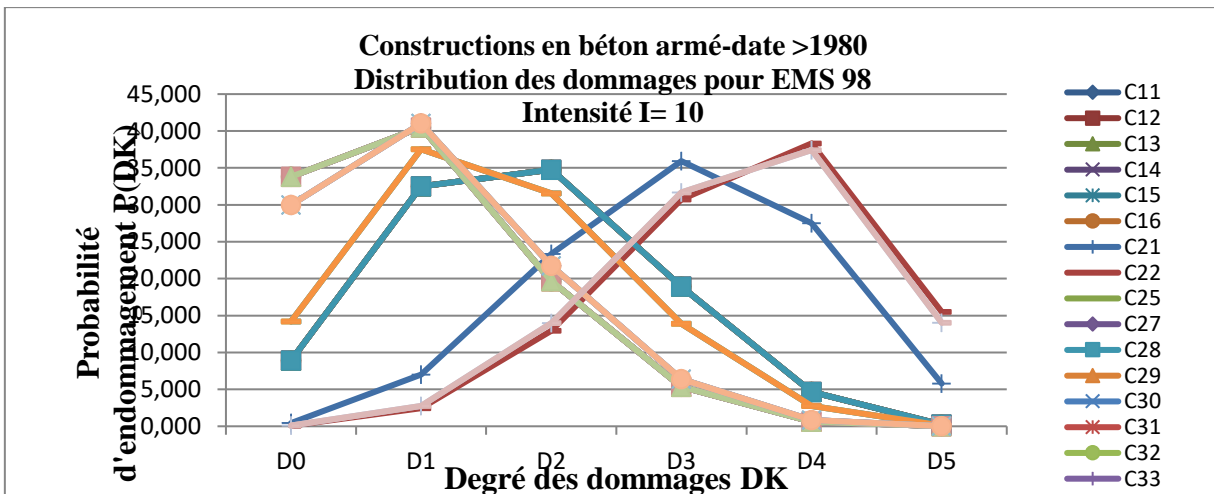


Figure 37 : distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date>1980)

## CHAPITRE 4

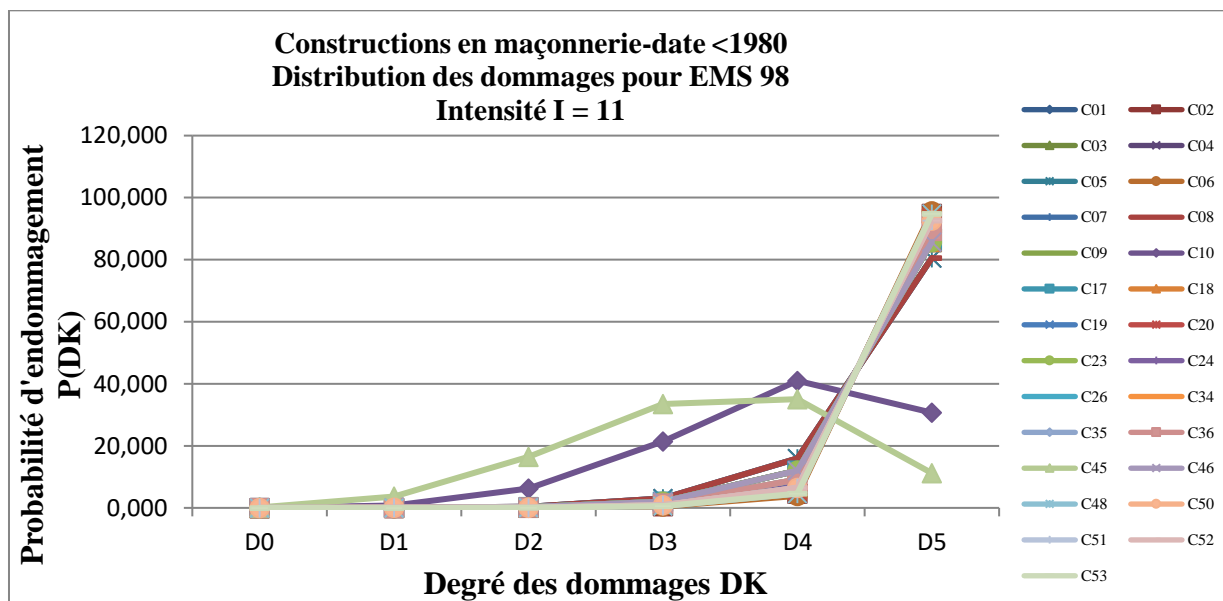
**Tableau 10 : Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=10**

Date & type des constructions	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Construction en maçonnerie date<1980	--	--	1	1	--	25
Construction en béton armé date>1980	--	15	7	1	3	--
Totale	--	15	8	2	3	25
%	0%	28.30%	15.09%	3.77%	5.66%	47.18%

### 3.7 Scénarios sismique pour intensité I=11

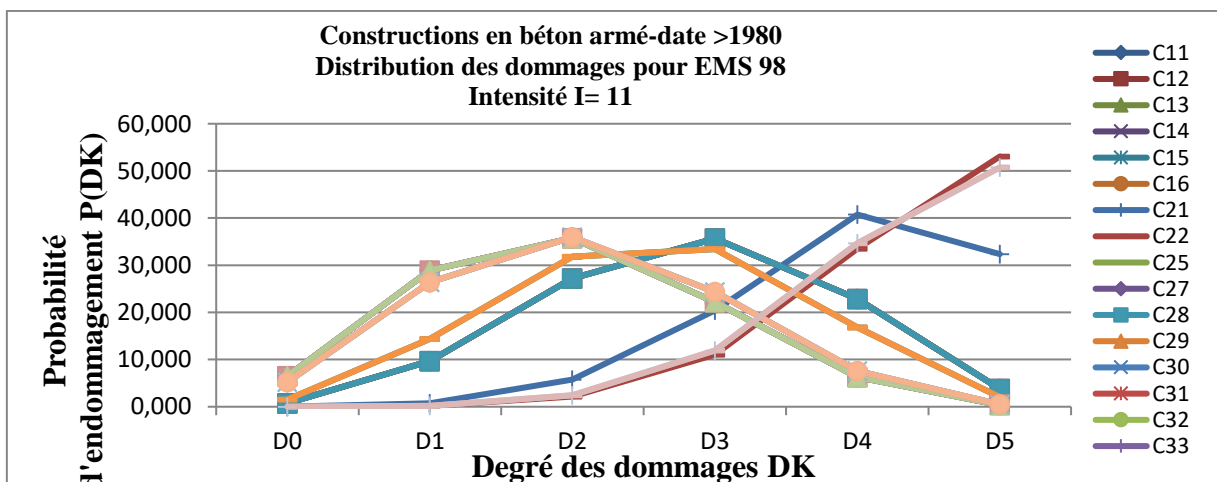
#### 3.7.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

(Date <1980)



**Figure 38 :** distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

#### 3.7.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé (Date >1980)



**Figure 39 :** distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date>1980)



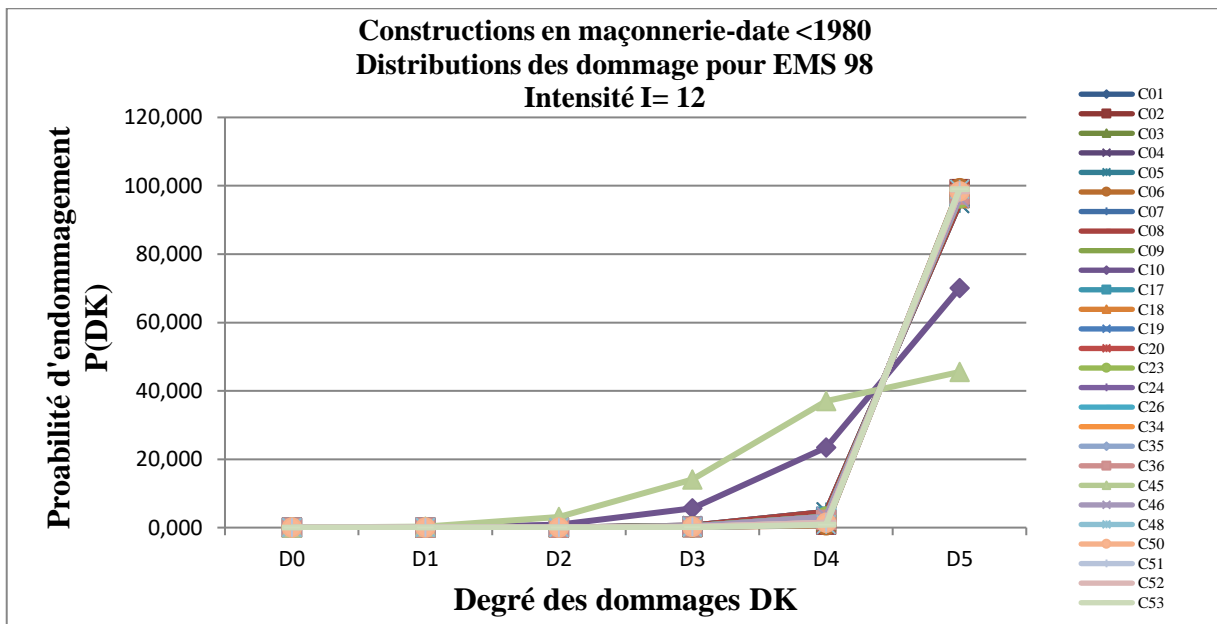
## CHAPITRE 4

**Tableau 11 : 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	--	--	--	--	2	25
Construction en béton armé date>1980	--	--	12	10	--	4
Totale	--	--	12	10	2	29
%	0%	0%	22.64%	18.87%	3.77%	54.72%

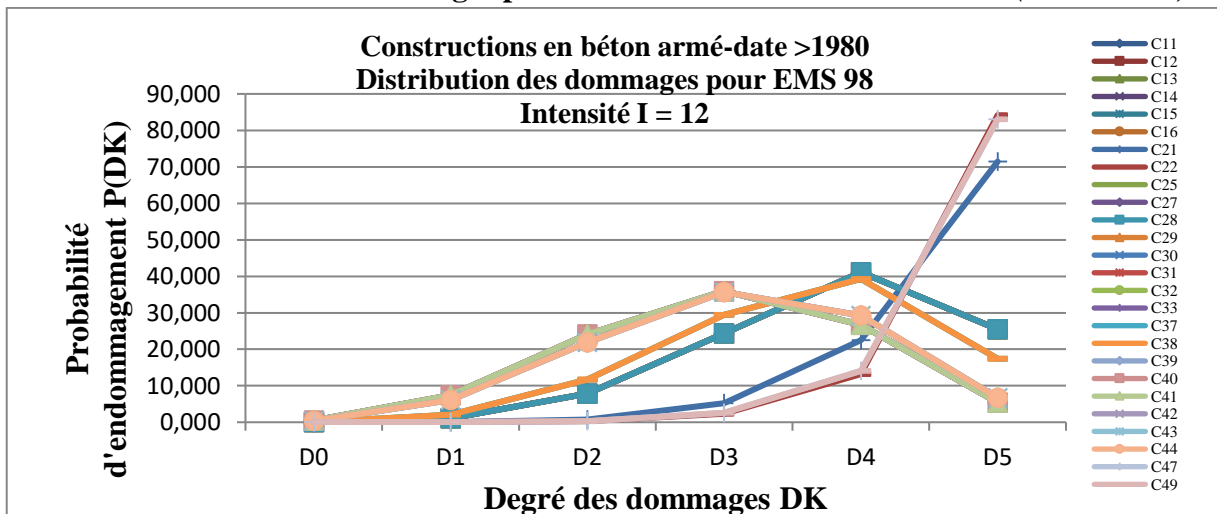
### 3.8 Scénarios sismique pour intensité I=12

#### 3.8.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie (Date <1980)



**Figure 40 :** distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

#### 3.8.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé (Date >1980)



**Figure 41 :** distribution des dommages pour les constructions en béton armé (date>1980)

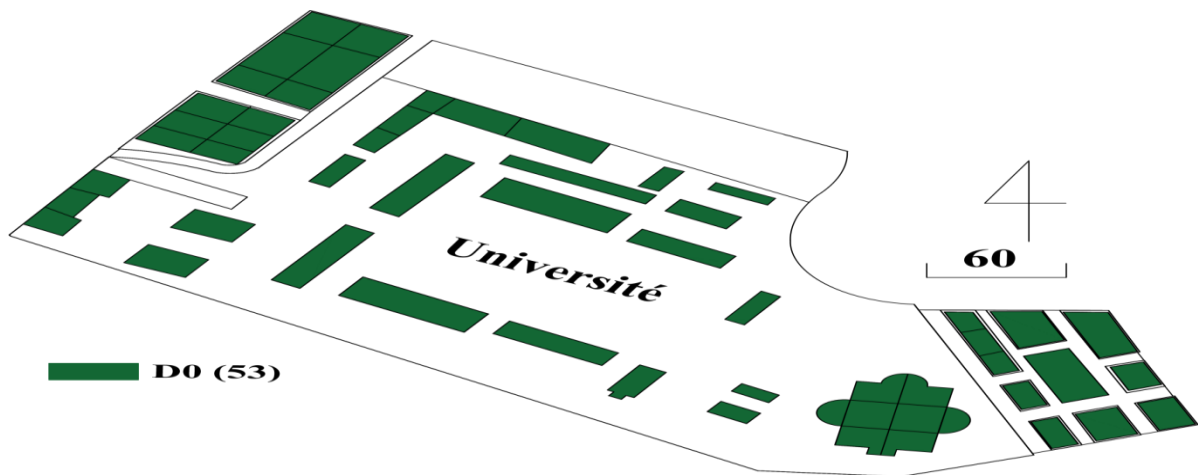
## CHAPITRE 4

**Table.8** : Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=12

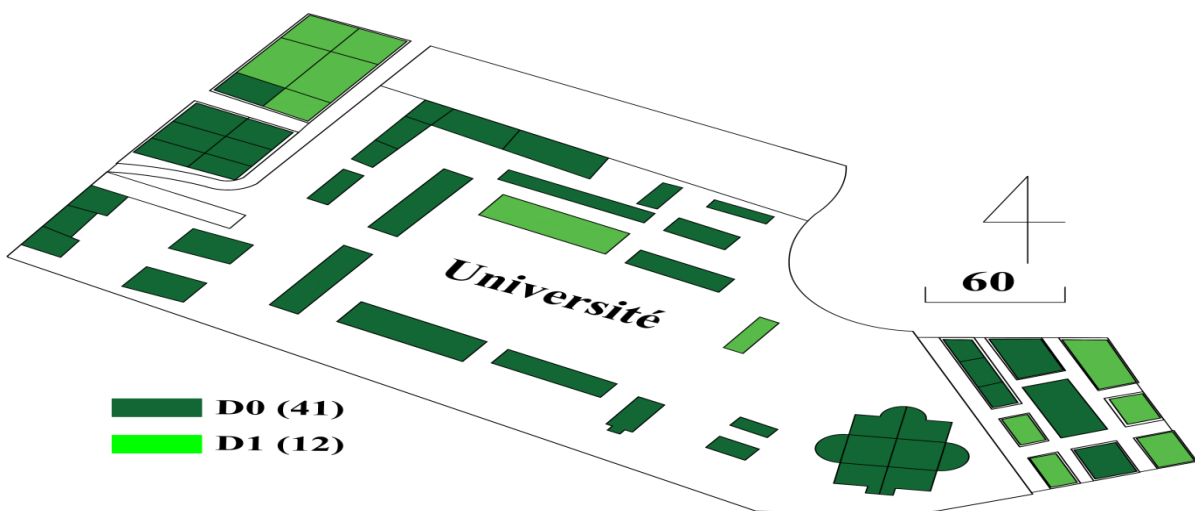
Date & type des constructions	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Construction en maçonnerie date<1980	--	--	--	--	--	27
Construction en béton armé date>1980	--	--	--	12	10	4
Totale	--	--	--	12	10	31
%	0%	0%	0%	22.64%	18.87%	58.49%

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

**Figure.20** : Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=5



**Figure 42** : Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=6



**Figure 43** : Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=7

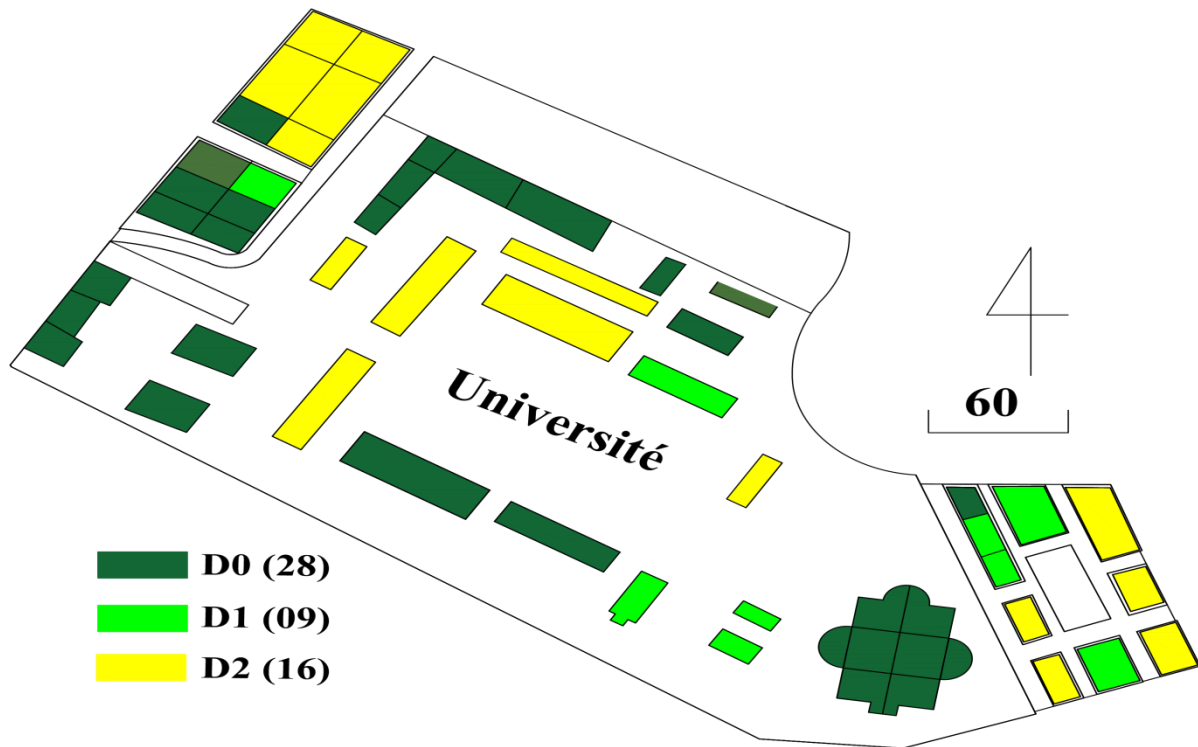


Figure 44 : Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=8

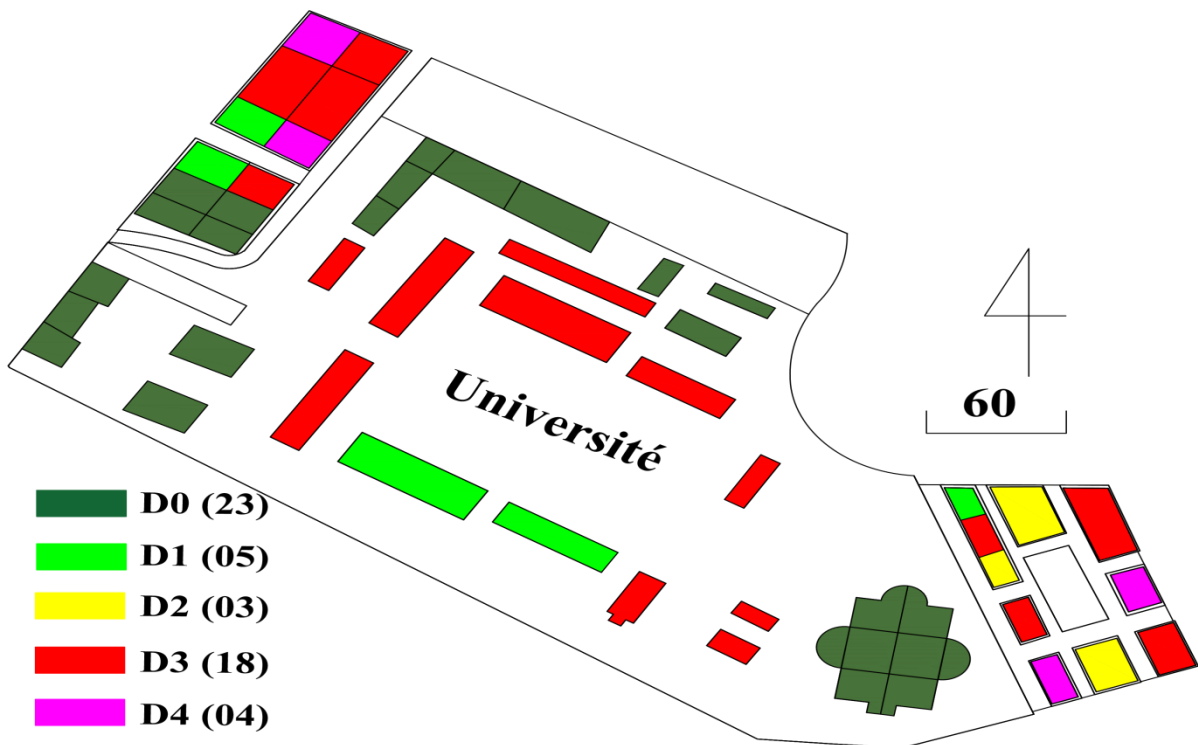
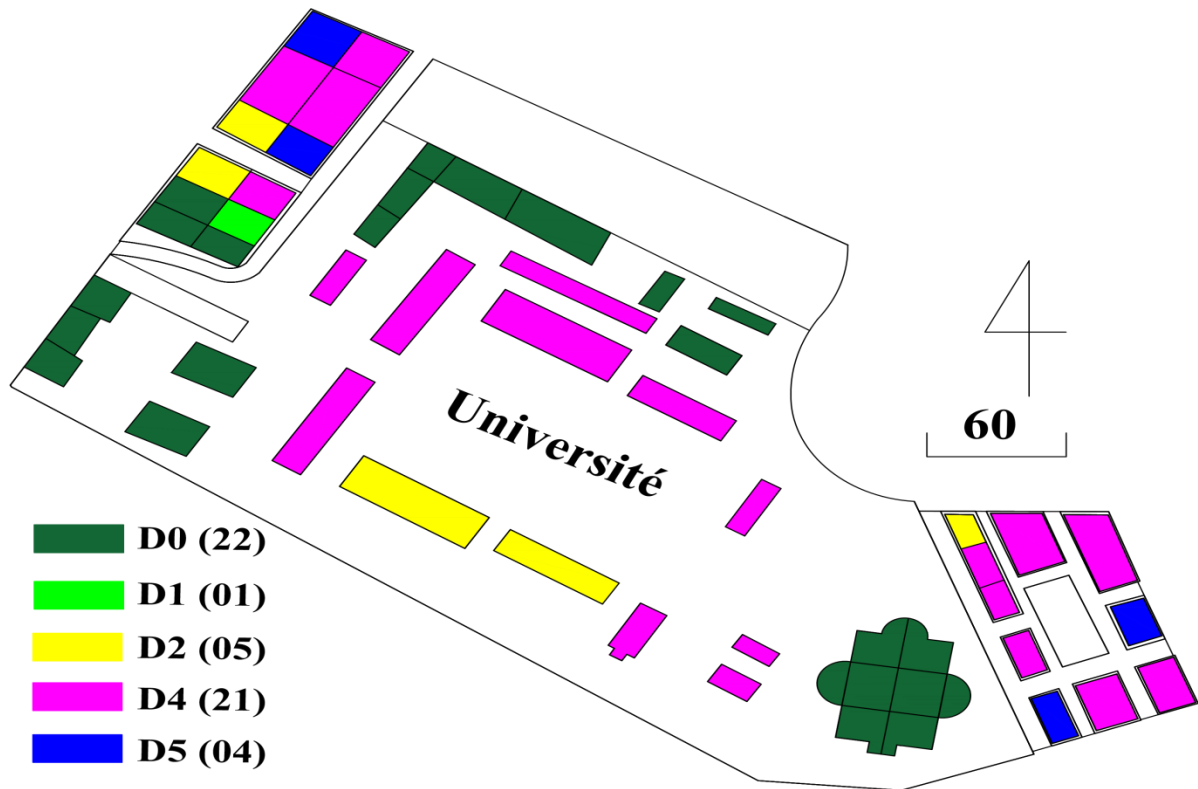
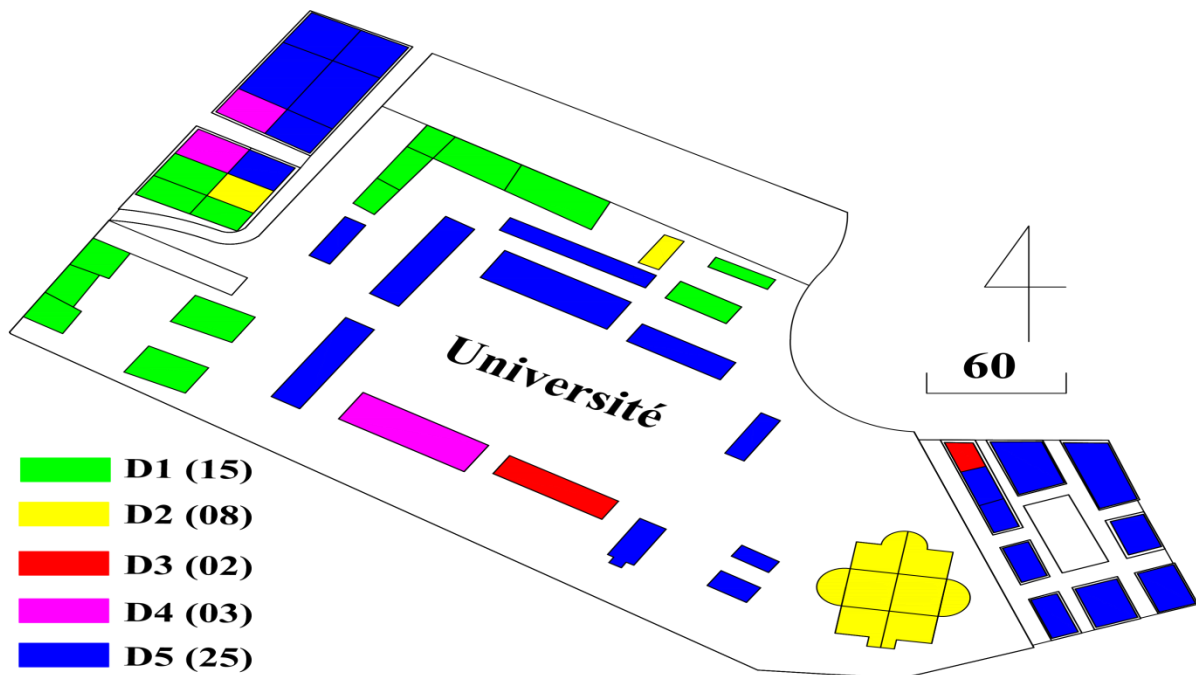


Figure 45 : Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=9



**Figure 46:**Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=10



**Figure 47:**Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=11

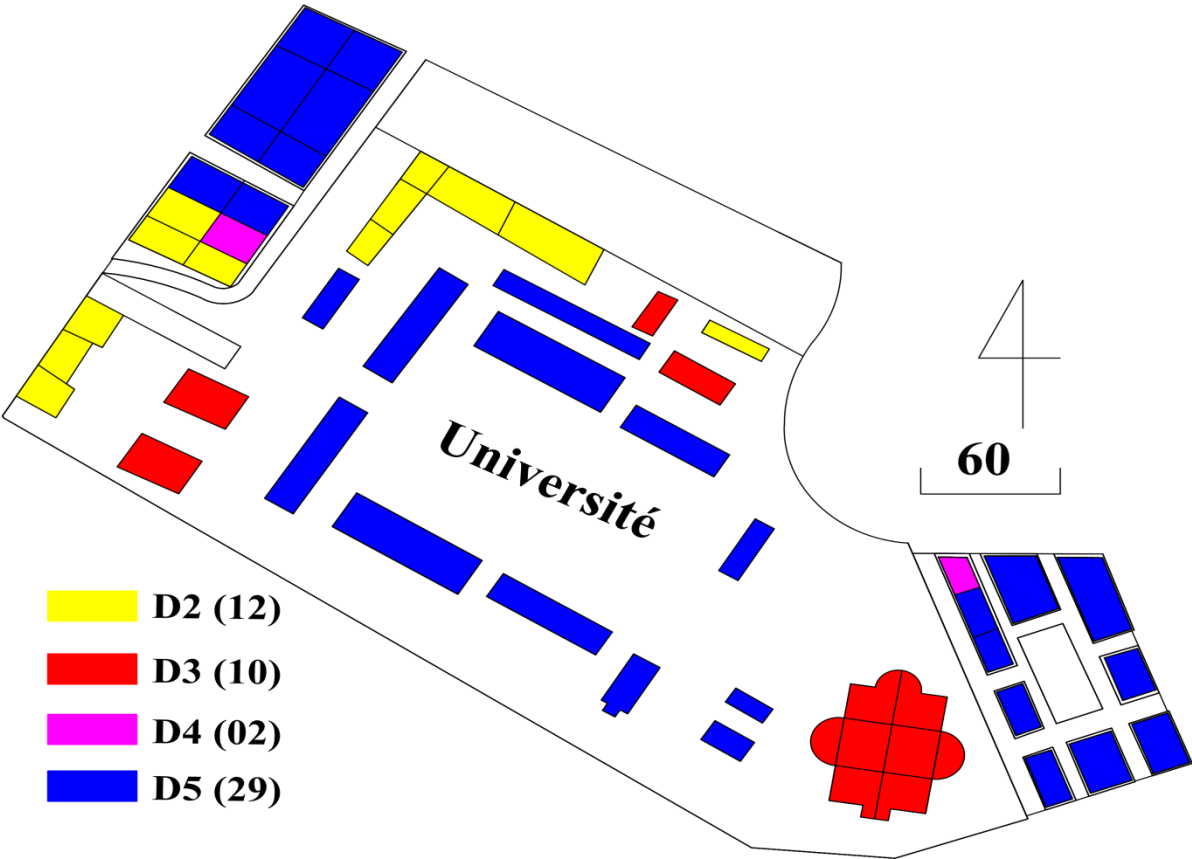


Figure 48: Cartographie de distribution des dommages selon EMS 98 intensité I=12

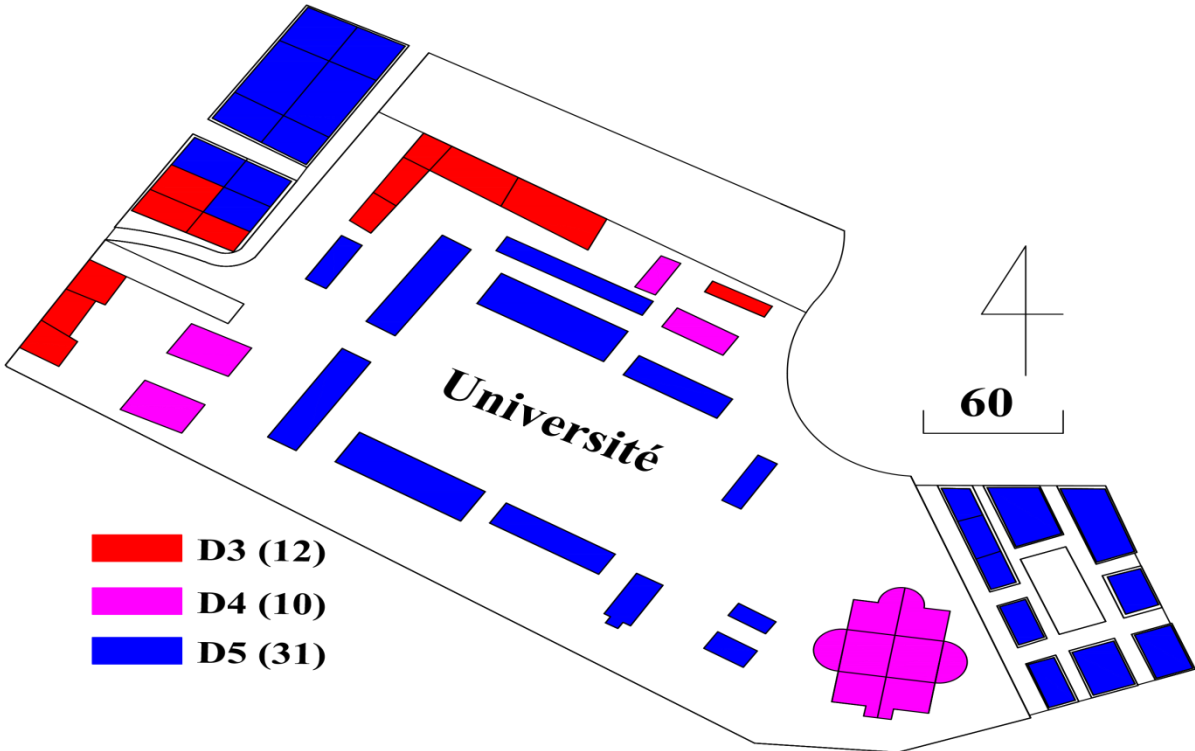
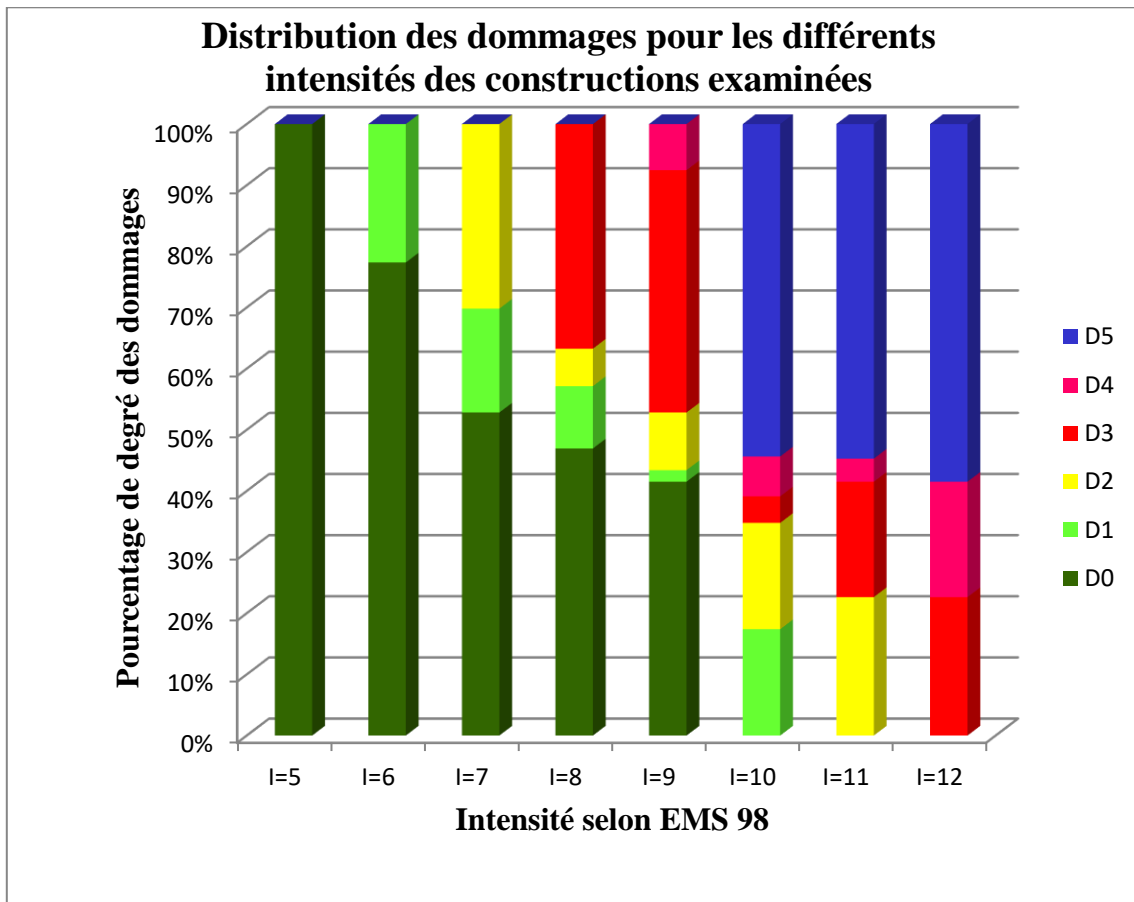


Figure 49: Synthèse des scénarios des défectueux dommages globaux selon EMS 98 de différentes intensités



### 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.

# Conclusion

L'objectif principal de cette recherche était d'évaluer la vulnérabilité sismique de l'ensemble des 53 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.



# Bibliographie

- [Observations sismologiques : Sismicité de la France entre 1971 et 1977 \[archive\]](#) [PDF], Institut de physique du globe, Université [Louis Pasteur](#) de Strasbourg, 209 pages, Ed. Bureau central sismologique français, 1983
- E. Rothé (P<sup>r</sup> à la Faculté des sciences de Strasbourg et ancien directeur de l'institut de physique du globe), *Annuaire de l'institut de physique du globe*, dont la seconde partie est consacrée aux données sismologiques de 1919. Cette publication se poursuit jusqu'en 1936, remplacée par les annales de l'institut de physique du globe.
- Christian Lefèvre et Jean-Luc Schneider, *Les risques naturels majeurs*, Éditions SGF, collection Géosciences, 2002([ISBN 2-8470-3020-4](#))
- D'Ayala D., Spence R., Oliveira C., Pomonis A. (1997), *Earthquake loss estimation for Europe's historic town centres*. Earthquake spectra, vol. 13, No. 4, Nov 1997, pp 773-793
- Céline Beauval, *Analyse des incertitudes dans une estimation d'une étude probabiliste de l'aléa sismique : exemple de la France*, Grenoble, [Université Joseph Fourier – Grenoble I](#), décembre 2003, 179 p. Thèse de doctorat
- Mémoire de magistère «
- Mémoire de master «
- Algérie presse service.

## **Annexe 1: Sigles utilisés**

<b>RISK-UE</b>	Advanced approach to earthquake risk scenario with applications to different European towns
<b>EMS-98</b>	Échelle macroscopique européenne 1998
<b>DPM</b>	Matrice de dommages probables

### Annexe 2: Symbole utilisé

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