



*Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Civil*

Mémoire de Magister
Spécialité: Génie Civil
Option: Gestion des risques majeurs

**CONTRIBUTION À L'AMÉLIORATION DE LA PROTECTION
PARASISMQUE DES BÂTIMENTS EN ALGÉRIE**

*Enjeux de la perception de la construction parasismique par les concepteurs
(Architectes et ingénieurs).*

Présenté par : M.BENFARHAT Bachir

Membres du jury :

Dr. BENANANE Abdelkader	Maître de conférences, Université Abdelhamid Ben Badis Mostaganem.	Président
Prof. BENOUAR Djilali	Directeur du laboratoire bâti dans L'environnement LBE, Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene (USTHB)	Rapporteur
Dr. BENDANI Karim	Maître de conférences, Université Abdelhamid Ben Badis Mostaganem.	Co-Rapporteur
Dr. AYADI Abdelhakim	Directeur de recherches, Centre De Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique (GRAAG)	Examineur
Dr. NAILI Mounir	Maître de Recherches, Centre de Recherche en Génie Parasismique (CGS)	Examineur
Dr. MAOUCHE Saïd	Maître de Recherches, Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique (GRAAG)	Invité

REMERCIEMENTS

*Je tiens à adresser ma reconnaissance et mes remerciements les plus sincères à mon promoteur Monsieur **BENOUAR Djilali**, Professeur, directeur du laboratoire bâti dans l'environnement (LBE) de l'université des sciences et de la technologie Houari Boumediene (USTHB), pour l'accueil et l'aide qu'il m'a apportée dans la conduite de mon travail, je n'oublierai pas sa gentillesse, sa disponibilité et la confiance qu'il m'a accordée durant toute cette période. Sa contribution à ma formation dans le domaine de la gestion des risques majeurs est grandement appréciée.*

*Mes remerciements vont également à Monsieur **BENDANI Karim**, Docteur, Maître de conférences à l'université Ibn Badis de Mostaganem pour ses encouragements, son indéfectible soutien et les efforts qu'il n'a pas ménagés pour la réussite de notre formation tout en me témoignant une grande confiance durant la conduite de ce travail.*

*L'honneur que me fait mon ancien professeur Monsieur **BENANANE Abdelkader**, Docteur maître de conférences à l'université Ibn Badis de Mostaganem en acceptant la présidence du jury est immense, je l'en remercie bien vivement.*

*Je remercie infiniment Monsieur **AYADI Abdelhakim**, Docteur, Directeur de recherches au Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique(GRAAG) pour son précieux cours sur la gestion des risques majeurs, je lui suis très reconnaissant de m'avoir transmis son énergie et son enthousiasme pour cette noble discipline.*

*Je tiens à exprimer ma gratitude à Monsieur **NAILI Mounir**, Docteur, Maître recherches au Centre de Recherche Appliquée en Génie Parasismique (CGS) pour ses conseils et ses encouragements tout au long de ma formation. Je n'oublierai pas sa disponibilité et sa modestie.*

*J'adresse aussi mes vifs remerciements à Monsieur **MAOUCHE Saïd**, Docteur, Maître de Recherches au Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique(GRAAG) pour son précieux cours sur les risques géologiques, pour ses conseils et ses encouragements.*

*J'exprime ma reconnaissance à Monsieur **BENMOUSSA Brahim**, Docteur, enseignant de sociologie à l'université d'Alger 2 pour les conseils qu'il m'a prodigués et sa disponibilité lors de la conduite de l'enquête objet de mon travail.*

Enfin, je ne saurais terminer ces remerciements sans exprimer mon infinie reconnaissance à ma famille, mes proches et mes amis pour leur soutien durant toute la période de ma formation.

RÉSUMÉ

La vulnérabilité du territoire national vis-à-vis des phénomènes sismiques et les niveaux de risques potentiels que celle-ci présente, particulièrement dans les régions du nord du pays, sont un fait établi par la fréquence même des séismes et la récurrence des événements de fortes magnitudes.

Le moyen le plus efficace de se protéger des effets d'un séisme majeur est la construction parasismique car, dans la plupart des cas, ce sont les constructions qui tuent en s'effondrant sur les occupants.

Depuis 1981, L'Algérie dispose d'un code parasismique, révisé suivant l'évolution de l'expérience et des connaissances scientifiques.

L'application de la norme parasismique a pour but de conférer aux ouvrages un certain niveau de protection vis-à-vis de l'action sismique, qu'elle soit optimisée ou non par la conception de l'ouvrage.

Le présent travail a pour objectif de mener une enquête auprès des bureaux d'études en vue de sonder la perception de cette protection par les architectes et les ingénieurs chargés de la conception des divers bâtiments publics et privés et d'en suivre la réalisation dans de nombreux cas.

Les carences, insuffisances et même incohérences dans la culture parasismique de ces deux principaux acteurs que ladite enquête a pu déceler, devront être sérieusement prises en charge au moyen d'actions d'information et de formation au même titre que les autres actions engagées déjà dans le cadre de la politique de la gestion préventive du risque sismique en Algérie.

Mots clés : Vulnérabilité, Risque sismique, prévention, Formation, Construction parasismique, conception parasismique, règles parasismiques.

ملخص :

ان هشاشة التراب الوطني بالنسبة للظواهر الزلزالية و كذا مستويات الاخطار الكامنة التي يمكن ان تسببها هذه الاخيرة خاصة بالمناطق الشمالية للوطن تعتبر حقيقة ثابتة بالنظر الى تكرار النشاط الزلزالي و الحوادث الزلزالية ذات الشدة القوية.

امام هذا الواقع الطبيعي ، يعتبر البناء المقاوم للزلازل الوسيلة الاكثر فعالية للحماية من اثر الزلازل لان في غالب الاحيان يكون فقدان قاطني البنايات ناتج عن سقوطها و ليس نتيجة الزلزال كظاهرة طبيعية متوقعة الحدوث.

منذ سنة 1981، تتوفر الجزائر على تنظيمات مقاومة للزلازل (RPA) في مجال البناء و التي تمت مراجعتها مع تطور التجارب و كذا المعارف العلمية في هذا المجال.

ان تطبيق هذه التنظيمات المقاومة للزلازل يهدف الى اعطاء المنشآت مستوى محدد من الحماية لمقاومة القوى الزلزالية سواء كان هذا المستوى من الحماية محسن اولا من خلال التصميم الهندسي للمنشأة.

يهتم هذا البحث بالقيام باستطلاع لدى مكاتب الدراسات من اجل معرفة الى اي مدى يدرك هذه الحماية المهندسين المعماريين و المهندسين المدنيين المكلفين بتصميم مختلف العمارات العمومية و الخاصة و كذا متابعة انجازها في عدة حالات.

ان النقائص و عدم التوافق في " ثقافة البناء المقاوم للزلازل " لدى هذين الفاعلين الرئيسيين الذين ابرزهم هذا الاستطلاع ، يجب ان يتكفل بهما بصفة جدية بواسطة عمليات الاعلام و التكوين في اطار السياسة المنتهجة من طرف السلطات العمومية الخاصة بالتسيير الوقائي للخطر الزلزالي في الجزائر.

كلمات مفتاحية : هشاشة ، خطر زلزالي ، حماية ، البناء المقاوم للزلازل ، القواعد المقاومة للزلازل، تكوين في الوقاية

Abstract

The vulnerability of the national territory with respect to the seismic phenomena and the levels of possible hazards that this one presents, particularly in the areas of the north of the country, are a fact established by the frequency even of the seisms and the recurrence of events of strong magnitudes.

The effective way to protect against the effects of a major earthquake is the paraseismic construction because in most cases, it is the buildings that kill by collapsing on the occupants.

Since 1981, Algeria has a paraseismic code, revised according to the evolution of the experiment and the scientific knowledge

The purpose of the application of the paraseismic standard is to confer to constructions a certain level of protection against the seismic action, that it is optimized or not by the design of the buildings

The present work aims to conduct a survey near the architecture studies offices in order to probe the perception of this protection by the architects and the engineers responsible of the design of various public buildings and private and monitoring of their realization in many cases.

The deficiencies, insufficiencies and even inconsistencies in the paraseismic culture of these two main actors that the aforementioned investigation had detected, will have to be seriously taken of load by means of actions of information and training with same importance that other engaged actions already within the framework of the policy of the preventive management of the seismic risk in Algeria.

Key words: Vulnerability, seismic Risk, Prevention, paraseismic Construction paraseismic design, Paraseismic code, paraseismic training.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements.....	iii
Résumé.....	v
ملخص.....	vi
Abstract.....	vii
Table des matières.....	viii
INTRODUCTION.....	01
1. RISQUE SISMIQUE ET VULNÉRABILITÉ	04
1.1 Le risque sismique.....	04
1.2 La vulnérabilité aux séismes.....	06
1.3 Composantes de la vulnérabilité.....	07
1.4 Connaissance de la vulnérabilité aux séismes.....	07
1.5 Apports des études de vulnérabilité sur un territoire.....	08
1.6 Actions et outils de réduction de la vulnérabilité aux séismes.....	08
1.7 Prévention du risque sismique.....	10
1.8 Evaluation du risque sismique à l'échelle d'un territoire.....	12
1.9 Évaluation du risque sismique à l'échelle d'un bâtiment.....	13
1.10 Facteurs de vulnérabilité des bâtiments.....	15
1.11 Conclusion.....	16
2. LA CONSTRUCTION PARASISMIQUE	18
2.1 Notion de construction parasismique.....	18
2.2 L'étendue des problèmes de la construction parasismique.....	19
2.3 La conception parasismique.....	22
2.4 Enjeux de la conception parasismique	23
2.5 Principes de la conception parasismique.....	24
2.6 Conséquences d'une mauvaise conception des bâtiments	26
2.7 Exemples de dommages sismiques typiques.....	27
2.8 Conclusion.....	41
3. LA RÉGLEMENTATION PARASISMIQUE	43
3.1 Définition.....	43
3.2 Philosophie de la réglementation parasismique.....	43
3.3 Contenu des règles parasismique.....	45
3.4 Portée des règles parasismiques.....	47
3.5 Limite des règles parasismiques.....	47
3.6 Evolution des règles parasismiques.....	52
3.7 Règles parasismique Algériennes.....	55
3.8 Conclusion	59

4	LA PERCEPTION DU PARASISMIQUE PAR LES BUREAUX D'ÉTUDES	61
4.1	Présentation de l'enquête auprès des BET	61
4.1.1	la méthodologie utilisée	61
4.1.2	Présentation de l'échantillon.....	62
4.2	Analyse des données générales sur les répondants et les BET	63
4.2.1	Identification des lieux des études.....	63
4.2.2	Régions d'exercice de la profession.....	64
4.2.3	Expérience des architectes et des ingénieurs.....	65
4.2.4	Fonction exercée au sein des BET.....	65
4.2.5	Activité principale des BET.....	66
4.2.6	Le principal client.....	67
4.2.7	Les principaux projets.....	67
4.3	Analyse des réponses relatives à la protection parasismique	68
4.3.1	prise en compte du risque sismique en général.....	68
4.3.2	prise en compte du génie parasismique dans la profession.....	70
4.3.3	Formation en génie parasismique.....	70
4.3.4	Niveau de connaissance des objectifs de la réglementation parasismique.	73
4.3.5	Construction et règles parasismiques.....	76
4.3.6	Créativité en matière d'expression architecturale et règles parasismique...	77
4.3.7	Surcoûts de la construction parasismique.....	78
4.3.8	Dommmages sismiques et conformités aux règles RPA.....	79
4.3.9	Qualification des entreprises pour l'application des RPA.....	81
4.4	Analyse des réponses aux questions destinées aux directeurs des BET	83
4.4.1	Formation des employés.....	83
4.4.2	Architecture et conception parasismique.....	85
4.4.3	Suggestions et recommandations des directeurs des BET.....	86
4.5	Etat des lieux sommaire des programmes du cursus des architectes et ingénieurs	86
4.5.1	Programme d'enseignement des architectes.....	86
4.5.2	Programme d'enseignement des ingénieurs.....	87
4.5.3	Autres formations post diplôme.....	88
4.6	Conclusion	89
	PROPOSITIONS ET RECOMMANDATIONS	91
	CONCLUSION GÉNÉRALE	97
	BIBLIOGRAPHIE	98
	ANNEXES	101

« La seule chose que nous puissions prédire avec certitude, c'est que plus nous nous éloignons du dernier tremblement de terre, plus nous sommes proches du suivant. Face à ce risque et à l'impossibilité de le prévoir, la seule prévention est la construction parasismique ».

Victor DAVIDOVICI. La construction en zone sismique. Editions Le Moniteur. Paris, 1999.

Introduction



Introduction

Les risques majeurs sont à l'origine de situations socio-économiques coûteuses et quelquefois graves en termes de nombre de victimes et de blessés. Dans la famille de ces risques, les séismes occupent un problème d'actualité provoquant assez systématiquement des dégâts dans les ouvrages de génie civil (bâtiments, ponts, centrales nucléaires, barrages...). C'est la raison pour laquelle la prévention et la connaissance du comportement de ces ouvrages sont indispensables.

Historiquement, l'Algérie est connue pour être une zone sismique très active. Selon le CRAAG, les investigations de paléo sismicité effectuées après le séisme D'El Asnam ont permis de révéler l'existence de traces d'anciens séismes qui auraient affecté cette région.

Ces travaux ont montré l'existence de plusieurs séismes importants avec rupture en surface ($M_s > 6,5$) ayant affecté la région depuis au moins 600 ans environ. Ces données de paléosismicité permettant également d'estimer la récurrence des événements sismiques qui auraient marqué cette région.

L'activité sismique en Algérie du Nord connue remonte au 02/01/ 1365 date à laquelle s'est produit le séisme d'Alger (Al Suyuti, 1505, Ambraseys, 1988). Depuis 1365, de nombreux séismes se sont produits, parmi eux certains violents et meurtriers. Parmi ces séismes nous pouvons citer ceux qui ont touché Alger en 1716, Oran en 1790, Gouraya en 1891. Dans une période plus récente, on peut citer les séismes d'Orleansville (09.09.1954), d'El Asnam (10.10.1980, Ouyed et al., 1981, Benhallou, 1985, Meghraoui, 1988), de Constantine (27.10.1985, Bounif et al., 1991), de Tipaza (29.10.1989, Meghraoui, 1991) de Mascara (17.08.1994, Benouar et al., 1996), d'Alger (04.09.1996, Yelles et al., 1997) , de Ain Temouchent (22.12.1999, Yelles et al., 2004) et de Beni Ouartilane (10.11.2000, Yelles et al., 2001) (Boumerdes-Alger, 2003, Yelles et al., 2003).

Ces séismes ont des manifestations spectaculaires et dévastatrices. Il est difficile d'apprécier le risque sismique tant la prévision est incertaine et leur apparitions aléatoires. On ne connaît les phénomènes sismiques que de manière imparfaite et seuls des séismes majeurs incitent la population à une prise de conscience générale. C'est pourquoi la plupart des nations ne sont pas protégées contre les tremblements des terres et leurs conséquences économiques et humaines.

La solution parasismique semble être une solution de protection efficace qui consiste en **l'art de construire des bâtiments tels que mêmes endommagés, ils ne s'effondrent pas.**

Dans le cadre de cette protection efficace contre les effets des séismes, la conception d'ensemble et de détail des constructions joue un rôle fondamental. L'application de la réglementation parasismique a certes son importance mais ne constitue pas, le plus souvent une garantie fiable de résistance de face aux séismes ; les codes parasismiques, s'ils réglementent effectivement la conception de détail (dispositions constructives) et le dimensionnement, s'interdisent, pour des raisons d'éthique, de porter des jugements de valeur sur la conception d'ensemble. Or La conception qui précède le calcul est l'étape essentielle qui détermine le comportement sismique de l'ouvrage. Si les aspects parasismiques sont pris en compte dès les premiers stades de la conception d'un bâtiment, un comportement favorable peut être assuré sans surcoût notable.

Dans le cadre d'une gestion préventive du risque sismique en Algérie, le présent travail vise une contribution à l'amélioration de la protection parasismique des bâtiments en s'intéressant à la perception du parasismique par les principaux professionnels de la conception qui sont l'architecte et l'ingénieur exerçant dans les bureaux d'études désignés dans la suite du document par les BET.

Le mémoire est structuré en quatre chapitres :

- Chapitre 1 : le risque sismique et la vulnérabilité
- Chapitre 2 : La construction parasismique
- Chapitre 3 : la réglementation parasismique
- Chapitre 4 : la perception du parasismique par les BET.

Ce dernier chapitre a fait l'objet d'une enquête faite auprès d'un échantillon d'architectes et ingénieurs travaillant au sein des BET à travers le territoire national.

Chapitre 1

Le risque sismique et vulnérabilité

1. Risque sismique et vulnérabilité

1.1 Le risque sismique

Le risque sismique, qui peut être évalué pour une construction, pour une ville ou pour une région spécifique, est défini par la probabilité de pertes en biens, en activités productives et en vies humaines dans un laps de temps donné, il augmente constamment avec la densité de la population et avec le potentiel économique du pays.

En Algérie, le nord est frappé régulièrement par des séismes parfois majeurs mais souvent modérés ou mineurs. Les séismes modérés ou forts génèrent bien souvent des catastrophes difficiles à surmonter car notre pays, à l'instar de beaucoup d'autres, reste encore mal préparé pour affronter de tels cataclysmes. (figure1.1)

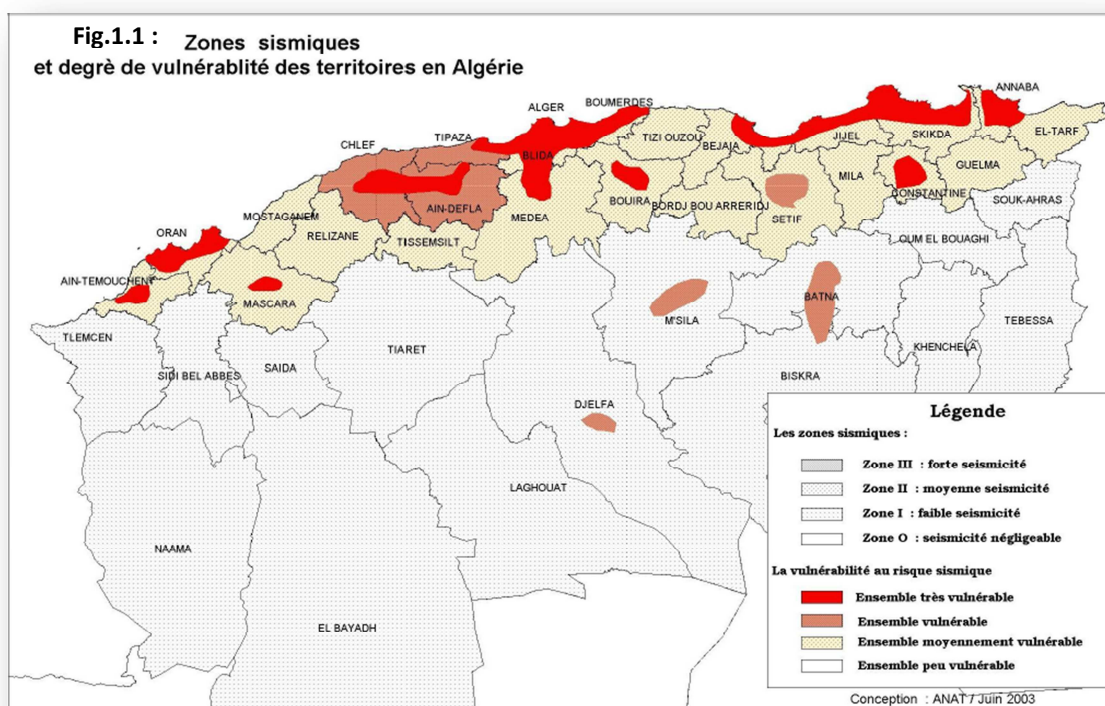


Fig.1.1 : Zones sismique et degré de vulnérabilité des territoires en Algérie. *Source : ANAT 2003*

Paradoxalement, le développement des sociétés entraîne donc un accroissement de leur propre vulnérabilité face aux tremblements de terre.

Le niveau de risque sismique (*figure 1.2*) est spécifique à chaque territoire exposé à un aléa sismique et fonction :

- des caractéristiques de l'aléa local ;
- des caractéristiques structurelles (occupation du sol) et fonctionnelles (flux et relation entre les enjeux) de la zone concernée ;
- de la vulnérabilité des enjeux du territoire considéré.

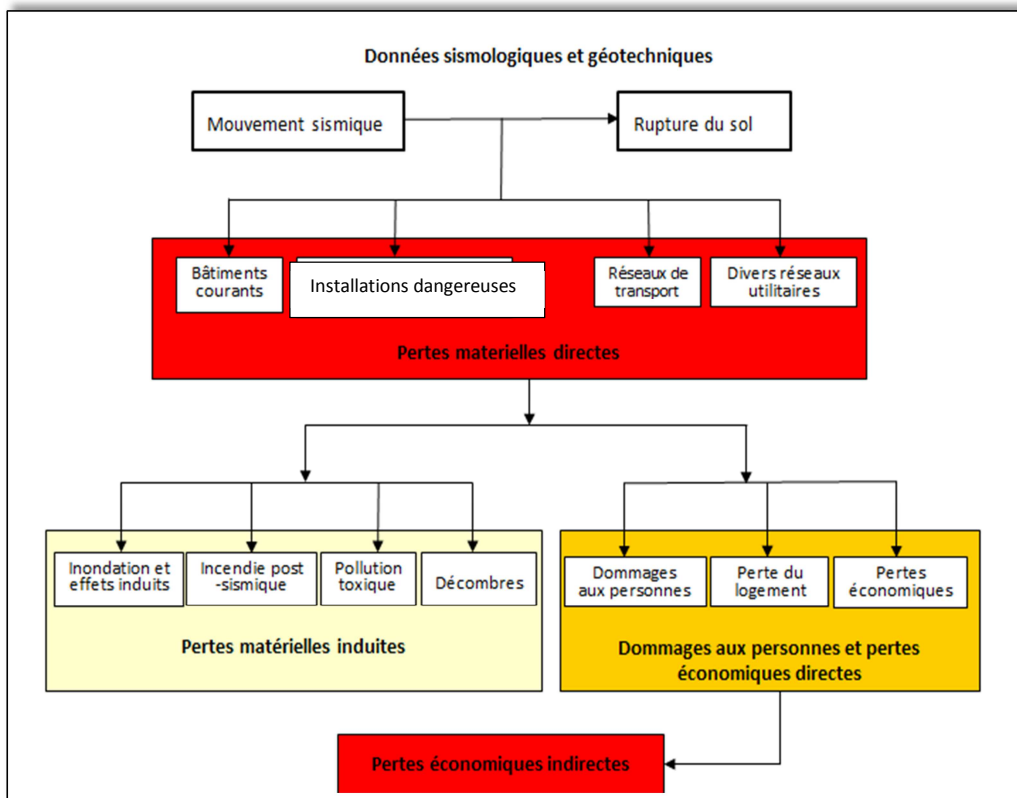


Fig. 1.2 : Exemple d'organigramme d'analyse du risque sismique urbain

Si la prévision réussie d'un tremblement de terre permet de sauver des vies humaines, une amélioration de la résistance aux séismes du patrimoine bâti réduit sa vulnérabilité et diminue donc aussi bien la probabilité des pertes en vies humaines que celle de destruction des biens matériels et du potentiel économique (*figure 1.3*) [10]

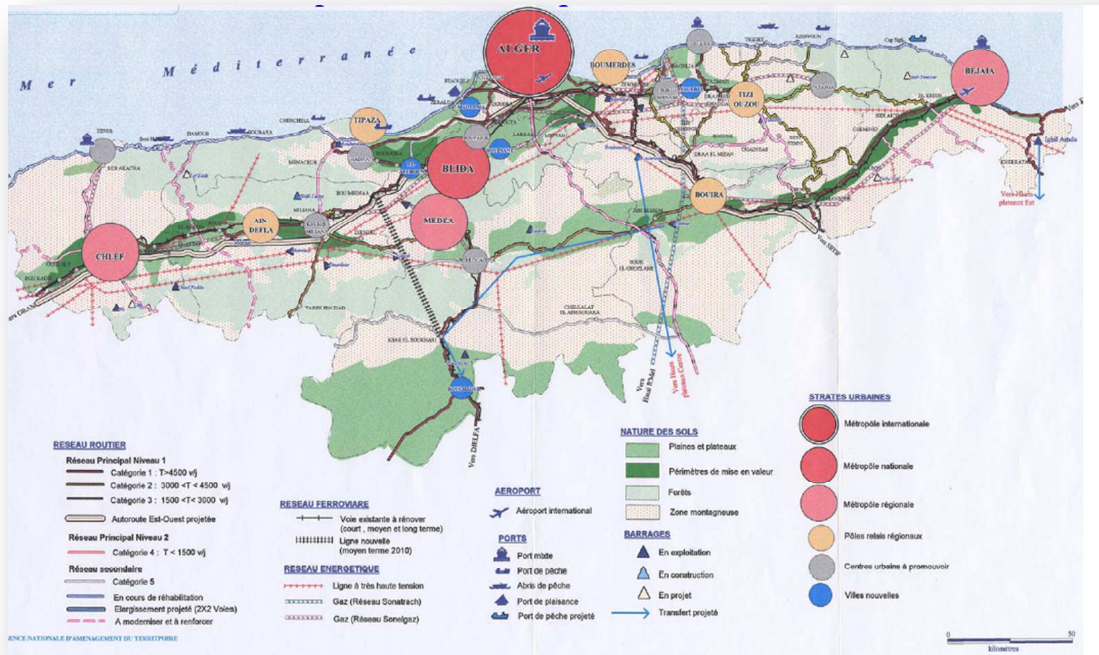


Fig.1.3 : L'essentiel du potentiel économique de l'Algérie. Source : ANAT

1.2 La vulnérabilité aux séismes

La vulnérabilité caractérise la capacité d'un territoire ou d'un enjeu à résister à un séisme donné. Elle se traduit par le niveau des conséquences prévisibles (dommages directs ou indirects exprimés en pourcentage par exemple) (figure 1.4) d'un séisme sur les enjeux (personnes, biens, activités réseaux, infrastructures...).



Fig.1.4 Dommages aux habitations suite au séisme de Zemmouri -Boumerdes 2003

1.3 Composantes de la vulnérabilité

La connaissance de la vulnérabilité, aux séismes ou à d'autres aléas, doit porter sur ses différentes composantes. On distingue successivement la vulnérabilité structurelle des ouvrages ou bâtiments liée à leur conception et réalisation, la vulnérabilité organisationnelle liée aux modalités d'utilisation d'une infrastructure ou d'un équipement, la vulnérabilité individuelle exprimant le niveau de développement d'une culture du risque chez les individus, la vulnérabilité de dépendance qui traduit enfin les interactions entre les enjeux eu égard au risque considéré (figure 1.5). [10]

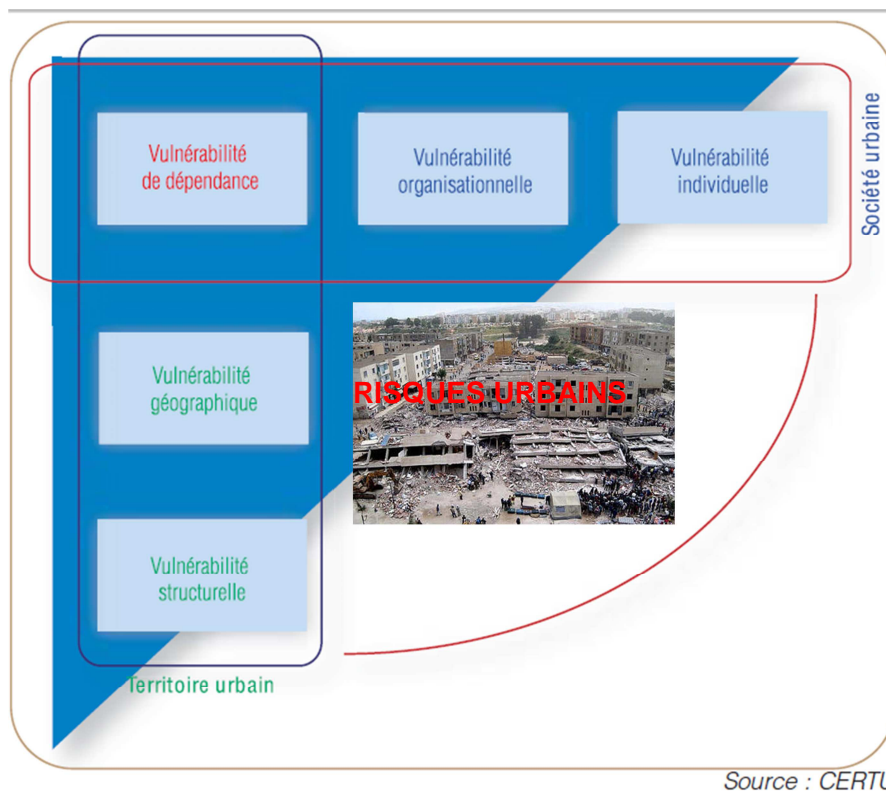


Fig.1.5 Composantes de la vulnérabilité

1.4 Connaissance de la vulnérabilité aux séismes

Pour réduire la vulnérabilité aux séismes d'un territoire ou d'un enjeu, il est au préalable nécessaire de la connaître. En matière d'évaluation de la vulnérabilité, le terme évaluation de vulnérabilité est souvent employé pour désigner les études conduites. Il désigne l'approche technique visant à appréhender le niveau et les facteurs de vulnérabilité et à définir les pistes d'actions pour la réduire.

La précision d'un diagnostic est dépendante des finalités. Pour établir des priorités d'actions entre plusieurs constructions, une approche sommaire de hiérarchisation des bâtiments par niveau de vulnérabilité est suffisante.

Si l'objectif est d'arrêter par exemple des techniques de renforcement d'un bâtiment, un diagnostic approfondi pouvant aller jusqu'à des modélisations de comportement sous séisme pourra être nécessaire. [10]

1.5 Apports des études de vulnérabilité sur un territoire

Au-delà de leurs objectifs intrinsèques, les études de vulnérabilité contribuent aux différents champs de la politique territoriale : planification (habitat, déplacements...), projets de développement, dispositifs d'exploitation et de gestion, actions de prévention et de gestion des risques (adaptation des plans de secours, actions de sensibilisation ciblées...). [10]

1.6 Actions et outils de réduction de la vulnérabilité aux séismes

La réduction de la vulnérabilité concerne à la fois les projets nouveaux et les enjeux existants. Pour les bâtiments ou projets nouveaux, elle se fonde sur l'obligation de respect des règles de construction parasismique. Toutefois, si les niveaux de résistance des bâtiments sont conditionnés par la réglementation, il n'en demeure pas moins que la vulnérabilité d'un ouvrage est fortement influencée par des choix opportuns de site d'implantation, de conception architecturale, d'urbanisme...

Pour l'existant, il s'agit d'appliquer des mesures de réduction de la vulnérabilité telles qu'un niveau optimum de protection soit atteint en tenant compte des dimensions techniques et économiques, et que la fonction des ouvrages importants pour la sécurité publique soit assurée en cas de crise. Dans certains cas, la réduction de la vulnérabilité peut conduire également à changer l'usage, délocaliser, démolir et reconstruire.

Au-delà de ces principes généraux, les actions de réduction de la vulnérabilité sont dépendantes des composantes auxquelles on s'intéresse. Divers outils et actions seront donc possibles selon que l'on veut agir en vue de la réduction de la vulnérabilité structurelle, réduction de la vulnérabilité organisationnelle, réduction de la vulnérabilité individuelle ou réduction de la vulnérabilité de dépendance (*Tableau 1.1*) [10]

Tableau 1.1: Les outils de maîtrise de la vulnérabilité urbaine face aux risques majeurs

Type de vulnérabilité	Famille d'outils	Principales applications
Vulnérabilité individuelle	Développement de la culture du risque	Document de sensibilisation, cycles de formations, réunions publiques
Vulnérabilité organisationnelle	Management des organisations, planification opérationnelle	Système de gestion de la sécurité, plans de secours ...
Vulnérabilité de dépendance	Gestion systémique	Réduction de la vulnérabilité des réseaux, alternatives de fonctionnement
Vulnérabilité géographique	Maîtrise de l'urbanisation et l'aménagement	SNAT, PDAU, POS, PPR
Vulnérabilité structurelle	Conception architecturale Définition technique, neuf et réhabilitation	Règles de construction Parasismiques RPA 99/2003

Source : CERTU adaptée au contexte Algérien par l'Auteur

1.7 Prévention du risque sismique

La prédiction d'un séisme, si elle réussit, permet d'éviter des pertes en vies humaines, mais elle ne peut empêcher une destruction importante du patrimoine et du potentiel économique des régions exposées à des séismes violents. Le coût pour la collectivité de la remise en marche de l'économie d'une région dévastée par un tremblement de terre destructeur, l'impact psychologique et social que ce dernier produit et les dépenses entraînées par les dommages corporels ou la mort de personnes appellent à la mise en place d'une politique de prévention à l'échelle nationale et locale, permettant de réduire le risque sismique d'une manière efficace. Le schéma (*figure.1.6*) ci-après synthétise les différentes actions de cette prévention.

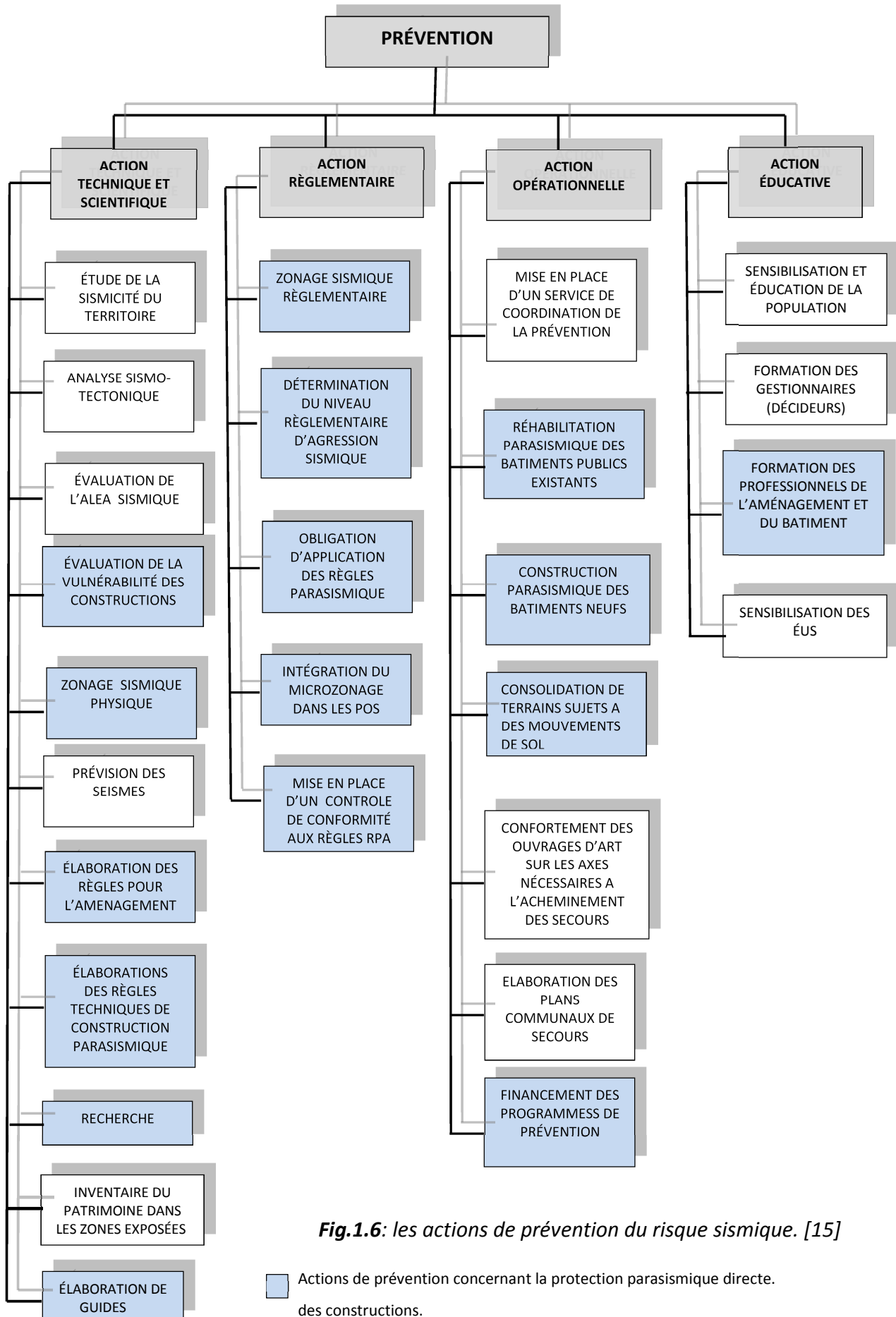


Fig.1.6: les actions de prévention du risque sismique. [15]

On a pu relever de l'ensemble de ces actions (*figure 1.6*) qui concourent à la réduction du risque sismique, l'existence de 16 actions (couleur bleu) qui relèvent directement de la protection parasismique des constructions sur un nombre de 27 actions soit un taux de 60%, ce qui montre l'importance que revêt cette protection dans un processus de gestion préventive du risque sismique auquel sont exposés le patrimoine bâti, celui qui est en cours de construction actuellement et celui qui va se réaliser dans un futur proche (Divers programmes de logements et d'équipements publics).

1.8 Evaluation du risque sismique à l'échelle d'un territoire

En pratique, un scénario de risque sismique consiste à évaluer sur un territoire, grâce à une simulation, les dégâts que pourrait provoquer un séisme. Un logigramme relatif à la démarche d'élaboration d'un scénario de risque sismique est présenté sur la *figure 1.7* suivante : [10]

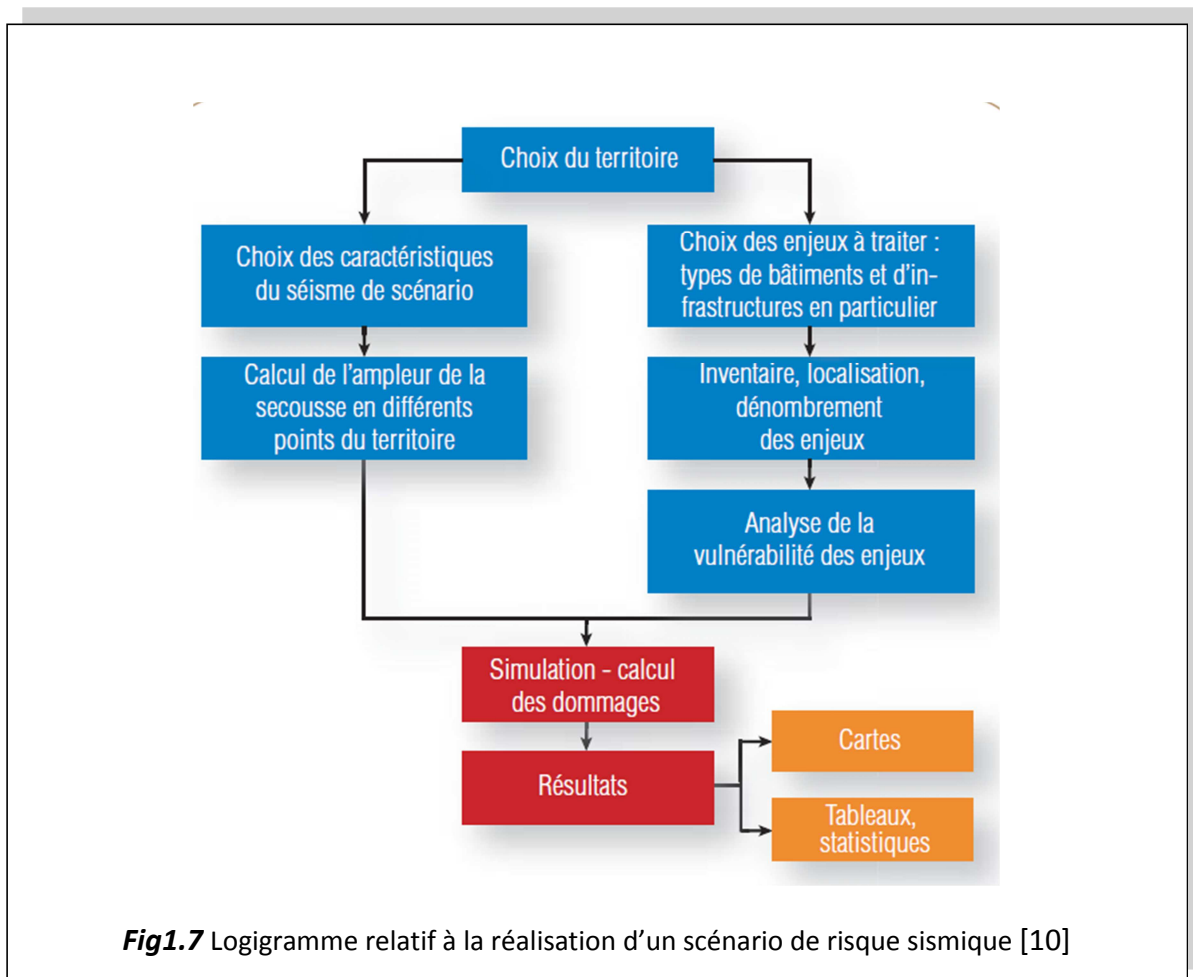


Fig1.7 Logigramme relatif à la réalisation d'un scénario de risque sismique [10]

Dans ce schéma :

- le séisme de scénario est un séisme fictif (Le choix d'un séisme de scénario est basé sur la désagrégation de l'aléa pour montrer quels sont les évènements qui contribuent le plus au pertes.) dont on veut évaluer les conséquences ;
- l'ampleur de la secousse varie sur la zone d'étude. Elle diminue globalement au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'épicentre. Elle est également modulée par des effets de site.

La simulation consiste, pour un séisme de scénario donné, à évaluer les dommages que celui-ci produirait sur les enjeux inventoriés. En fonction du type de dommages, cette évaluation peut être directe (dommages aux bâtiments, résultant de la confrontation entre aléa et vulnérabilité) ou indirecte (par exemple les dommages aux personnes (préjudice humain) sont déduits des dommages physiques aux bâtiments).

1.9 Évaluation du risque sismique à l'échelle d'un bâtiment

L'effondrement des constructions sous séisme est la cause principale des victimes lors de ce type d'événement. Partant de ce constat, des règles nationales de construction parasismique ont été rendues obligatoires pour la construction des ouvrages neufs. Pour autant, les villes situées dans les zones de forte sismicité en Algérie restent aujourd'hui très vulnérables au séisme. En effet, bon nombre de bâtiments ont été construits avant l'obligation d'application des règles de construction parasismique, le faible taux voire l'absence de renouvellement du bâti ne peut palier cette situation (*Figure. 1.8*). Dans ce cadre, l'analyse du risque sismique à l'échelle du bâtiment existant est une action préventive essentielle qui contribue à la définition d'actions de réduction de ce dernier. [10]

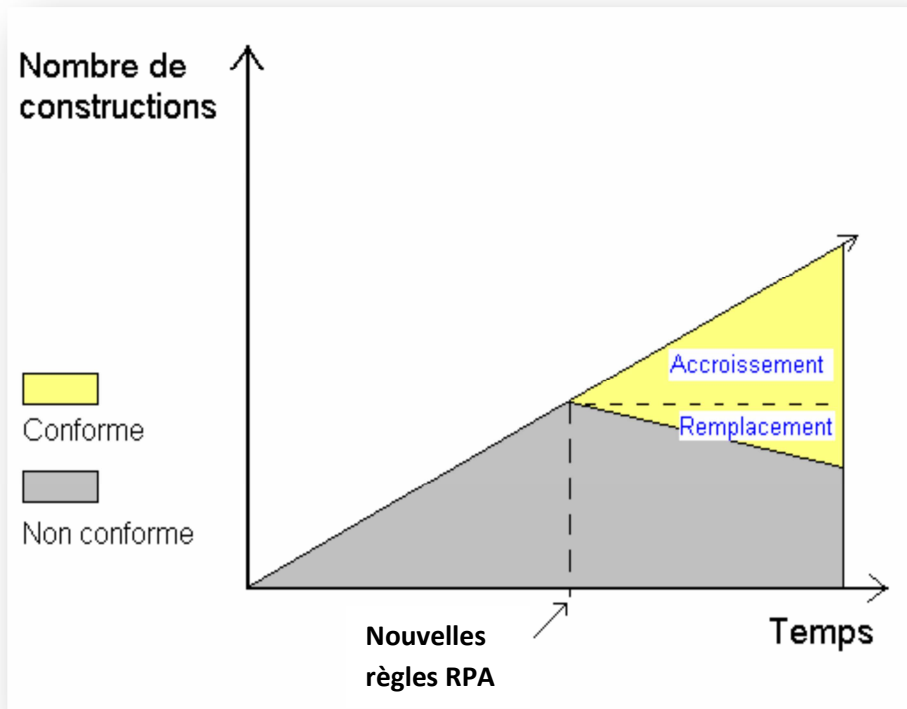
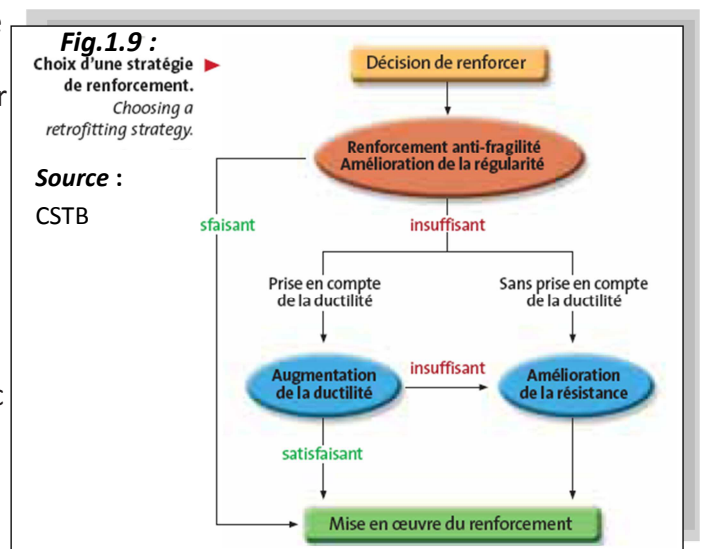


Fig.1.8 Constructions et conformité aux règles parasismiques. [5] schéma adapté au contexte Algérien par l'auteur

S'il n'existe pas à l'heure actuelle de méthodes normalisées au niveau national, deux types d'approche sont mis en œuvre en fonction des objectifs recherchés pour cerner le comportement d'un bâtiment face à l'aléa sismique, et donc le niveau de risque sismique : des méthodes qualitatives et des méthodes quantitatives.

Les approches qualitatives sont basées sur l'analyse de la structure du bâtiment et l'identification de facteurs de vulnérabilité à partir desquels sont estimés des niveaux de dommages possibles en fonction de l'aléa sismique de référence considérée. Les résultats permettent de juger de l'opportunité présumée

d'un renforcement (**Figure.1.9**) et d'en esquisser les pistes qui seront ensuite confirmées et dimensionnées via la modélisation et le calcul. Ce type d'approche est notamment utile pour hiérarchiser les priorités d'action lorsqu'un parc de bâtiments est concerné.



Les approches quantitatives sont fondées sur des modélisations dont les méthodes dépendent des caractéristiques de la structure et des objectifs recherchés.

Ces modélisations permettent d'approcher le comportement dynamique des constructions sous séisme, d'identifier les concentrations de contraintes potentielles, de localiser et de quantifier les dommages potentiels. Constituant l'évaluation la plus précise du risque sismique à l'échelle du bâtiment, elles sont le préalable à la définition des travaux de renforcement. [10]

1. 10 Facteurs de vulnérabilité des bâtiments

L'observation des dégâts subis par les structures lors des séismes a permis d'identifier les principaux paramètres influençant la vulnérabilité des structures. Ces facteurs peuvent être résumés comme suit :

- Vulnérabilité liée à l'architecture (configuration et de détail)
- Vulnérabilité liée au système constructif (système porteur)
- Vulnérabilité liée aux dispositions constructives
- Vulnérabilité liée à l'état de conservation
- Vulnérabilité liée à l'interaction avec l'environnement construit
- Vulnérabilité liée au site

Toutes ces vulnérabilités sont souvent les causes de dégâts que l'on retrouve inmanquablement lors de chaque catastrophe sismique .ils ont pu être examinés à l'occasion des diverses missions post-sismiques effectuées par les experts des différents organismes (CGS, CTC, etc.) à la suite des principaux événements comme le plus récent séisme de Zemmouri-Boumerdes en 2003. Ces expertises ont permis aux spécialistes de réunir des données irremplaçables concernant le comportement sismique réel des structures dans le but d'améliorer les mesures parasismiques pour les constructions futures (les restrictions apportés quant à l'usage du système poteaux –poutres dans la version 2003 des RPA 99 est très bon exemple de cette amélioration parasismique). Il faut également relever que ces missions revêtent un important aspect en terme de formation et de sensibilisation des architectes et des ingénieurs car rien ne vaut l'observation des dégâts sur le terrain pour pouvoir apprécier grandeur nature l'effet dévastateur des manquements anodins en apparence des principes et des règles de construction parasismique.

1.11 Conclusion :

Les actions qui concourent à la réduction du risque sismique pour un pays comme l'Algérie sont multiples : actions scientifiques et techniques, actions réglementaires, actions opérationnelles et enfin des actions éducatives.

Parmi les principales actions est la protection parasismique des bâtiments qui consiste à construire parasismique les bâtiments neufs et à réhabiliter « parasismiquement » le bâti existant par la réduction des vulnérabilités qui peuvent exister.

Dans le chapitre suivant (la construction parasismique), nous allons essayer de présenter les principes de la construction et de la conception parasismique ainsi que des illustrations de quelques cas de dommages sismiques et des cas de constructions que nous avons visuellement inspectées et qualitativement jugées pouvant présenter quelques vulnérabilités sismiques similaires à celles identifiées précédemment .

Chapitre 2

La construction parasismique

2. La construction parasismique

2.1 Notion de construction parasismique

La protection des bâtiments courants fait l'objet des règles parasismiques dont le niveau de protection recherché, fixé par la puissance publique, résulte d'un compromis entre le coût de la protection et le risque que la collectivité est prête à accepter. L'éventualité d'échecs est par conséquent admise. En effet le respect des règles parasismiques réduit considérablement le risque d'effondrement des constructions, sans toutefois le garantir. Les limites de ces règles sont multiples dont certaines sont évoquées dans le chapitre 3 consacré à la réglementation parasismique.

Les études post-sismiques montrent que les dommages graves aux bâtiments sont en grande partie directement imputables à des choix incorrects ou erreurs et commis par les concepteurs de projet (à la différence du calcul au séisme et des dispositions constructives minimales, la conception architecturale n'est pas réglementée) : configuration de bâtiment **aggravant les oscillations**, conception incorrecte des niveaux ouverts (transparence), choix d'un système à poteaux et poutres (portiques) pour des bâtiments fondés sur sol meubles, localisation préjudiciables des parois pleines et des parois vitrées, présence d'allèges hautes entraînant un cisaillement de poteaux, conception incorrecte des planchers et des escaliers , éléments de seconds œuvre incompatibles avec les déformations de la structure, etc.[15]

En revanche, il a été observé que des bâtiments correctement conçus et réalisés ont résisté aux séismes les plus violents. En outre, une conception de projet intrinsèquement parasismique permet de minimiser ou dans certains cas même de supprimer le surcoût résultant de l'application des règles de calcul parasismique. Il faut aussi rappeler que l'observation de ces règles parasismiques perd beaucoup de son efficacité si des libertés doivent être prises par ailleurs vis-à-vis des règles normales de construction. [15]

Les enseignements apportés par les séismes passés montrent qu'une construction n'est réellement parasismique que si elle est le fruit de trois démarches. [1] (*figure 2.1*) :

- Conception architecturale parasismique
- Application des règles parasismiques
- Exécution de qualité

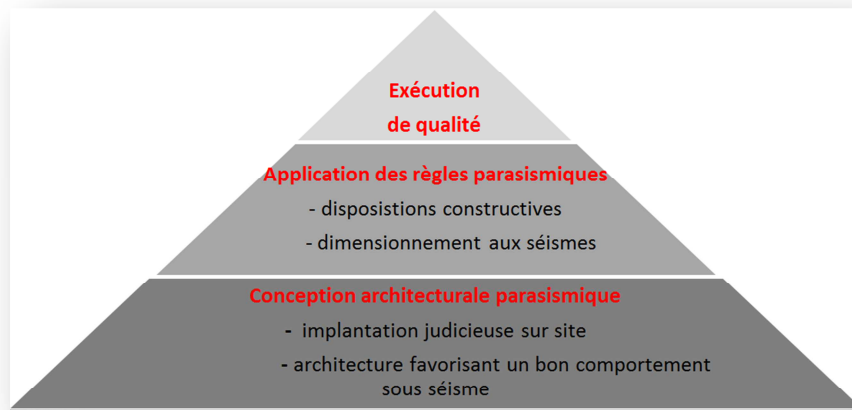


Fig.2.1 : les trois démarches de la construction parasismique (schéma conçu par l'auteur)

Le non-respect de l'une de ces démarches peut être à l'origine de l'effondrement du bâtiment lors d'un tremblement de terre.

La protection parasismique des bâtiments n'est donc pas uniquement une affaire de calcul ou d'études d'ingénierie. Les choix opérés par l'architecte en amont de l'application des règles parasismiques influent d'une manière déterminante sur le comportement de l'ouvrage lors d'un séisme. [1]

2.2 L'étendue des problèmes de la construction parasismique

Les critères parasismiques qui interviennent à tous les stades de la construction et même après son achèvement en vue d'assurer une sécurité optimale vis-à-vis des actions sismiques sont :

➤ **Choix du terrain d'implantation**

Sur un terrain instable, sur une faille ou sur un terrain pouvant être enseveli par un glissement de sol, même la meilleure construction parasismique ne survivra pas à un séisme de quelques importances.

➤ **Parti architectural**

Le comportement des bâtiments lors d'un séisme est influencé d'une manière importante par leur forme. Certaines configurations amplifient considérablement les sollicitations d'origine sismique et créent de mauvaises conditions de résistance, notamment à cause des concentrations des contraintes qu'elles favorisent.

➤ **Choix du système porteur (parti constructif)**

L'intention des charges sismiques dépend directement de la nature de la conception de la structure. Selon le type de leur système porteur, des bâtiments d'aspects extérieurs similaires peuvent subir lors du même séisme et sur le même sol des charges très différentes.

➤ **Choix des matériaux**

Les propriétés des divers matériaux favorisent plus ou moins bien la résistance des éléments constructifs aux tremblements de terre, ainsi que la dissipation de l'énergie cinétique qui leur est communiquée lors des secousses sismiques.

➤ **Conception des assemblages**

Face aux secousses sismiques, les assemblages et les liaisons entre divers éléments constructifs constituent l'un des principaux points faibles. La dégradation progressive de leur résistance et de leur rigidité conduit rapidement à la ruine de la construction. La conception des assemblages exige donc une attention particulière.

➤ **Conception des éléments non structuraux**

Les éléments non structuraux devraient être conçus de manière à tolérer sans dommage les déformations de la structure à laquelle ils sont fixés. Leur destruction est une cause fréquente de blessures de personnes et entraîne en outre des frais de réparation ou de remplacement très importants.

➤ **Protection contre le feu**

Les incendies consécutifs aux séismes sont fréquents. Une construction qui a résisté aux secousses sismiques peut être sérieusement affectée par le feu. Lors du tremblement de terre du Kanto (Japon, 1923) ,445 000 maisons sur 565 000 détruites l'ont été par l'incendie qui a suivi le séisme. [15]

➤ **Calcul de structure**

Le calcul constitue une autre phase cruciale de la conception parasismique des bâtiments. Une modélisation incorrecte de la structure peut conduire à une sous-estimation des charges sismiques et à leur distribution inexacte. Le choix des méthodes de calcul est également important. Dans certain cas, le calcul statique équivalent peut être utilisé. Dans d'autres, un calcul dynamique est nécessaire.

➤ **Mise en œuvre**

Les rapports de mission sur les sites ravagés par un séisme indiquent qu'un nombre important d'effondrement de construction a été provoqué par une exécution médiocre et par l'absence de contrôle sur le chantier. La qualité d'une construction conditionne son comportement en cas de séisme.

➤ **Entretien**

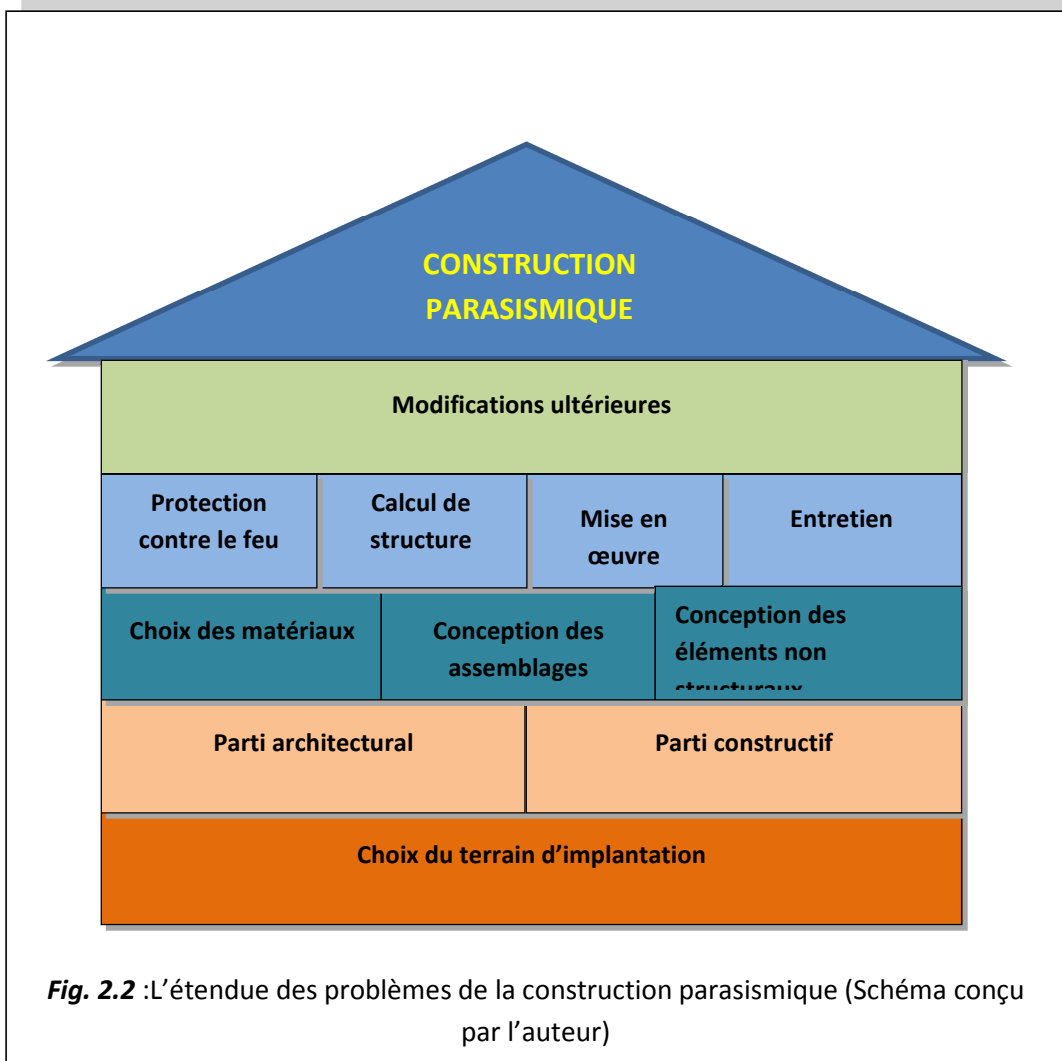
L'inspection et l'entretien réguliers sont nécessaires pour conserver la résistance des bâtiments dans le temps. Une dégradation progressive de l'état du parc immobilier est également une cause fréquente d'effondrement des constructions exposées aux séismes.

➤ **Modifications ultérieures**

Une transformation de cloisonnement ou une augmentation des charges d'exploitations consécutives à un changement de destination peuvent modifier défavorablement le comportement d'une construction sous l'action sismique.

Les aspects précédemment cités montrent l'étendue des problèmes de la construction parasismique. Pour être menée à bien, celle-ci nécessite, dès les premières esquisses, une collaboration suivie entre les divers acteurs de l'acte de construire : le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre (l'architecte et l'ingénieur), et dès qu'il est connu, l'entrepreneur.

Tous ces critères peuvent être schématisés par *la figure 2.2* suivante :



2. 3 la conception parasismique

Tout projet de construction débute obligatoirement par une phase de conception dans laquelle des choix décisifs quant aux caractéristiques principales de l'ouvrage sont arrêtés. Une bonne conception requiert une vue d'ensemble de la problématique, plus basée sur une solide expérience et le savoir-faire que sur des calculs élaborés. Elle n'en constitue pas moins l'étape cruciale du projet car c'est à ce stade que les décisions déterminantes pour le comportement de la structure vont intervenir. Pour cette raison, elle est malheureusement occultée dans la formation des architectes et des ingénieurs qui, par la suite, ne lui réservent pas la place qu'elle mérite dans leurs activités (Nous essayons dans le chapitre suivant au travers d'une enquête menée au niveau des bureaux d'études de mettre en évidence cette problématique).la conception constitue l'étape cruciale du projet, car c'est à ce stade que les décisions déterminantes pour le comportement de la structure vont intervenir. L'importance de la conception n'est pas l'apanage exclusif du génie parasismique, mais elle- y exacerbée

en raison du caractère particulier des sollicitations sismiques et des conséquences dramatiques auxquelles de petites lacunes peuvent conduire. Dans le génie parasismique une erreur de conception ne peut pas être rattrapée par des calculs aussi sophistiqués soient-ils, et la sanction de la nature est implacable, souvent catastrophique. [6]

2.4 Enjeux de la conception

L'importance prédominante de la conception par rapport à l'analyse de la structure est bien résumée dans l'adage suivant, qu'il vaut la peine de bien méditer :

« Un bâtiment bien conçu et mal calculé se comportera toujours mieux face aux séismes qu'un bâtiment bien calculé, mais mal conçu ». [11]

Pour fixer les idées, on peut affirmer qu'une bonne conception garantit déjà au moins les $\frac{3}{4}$ de la sécurité sismique d'un ouvrage. [11] Idéalement, la participation de tous les spécialistes de la construction, de l'architecte à l'entrepreneur, en passant par l'ingénieur en structures et le géotechnicien, est nécessaire dès le stade de la conception pour assurer un comportement sismique favorable de l'ouvrage. Malheureusement, la réalité est bien éloignée de ce scénario idéal. Trop souvent, l'architecte élabore le projet de son côté, sans vraiment se préoccuper des problèmes structuraux. L'ingénieur intervient plus tard, lorsque toutes les décisions importantes ont été prises et où on l'autorise plus qu'à répartir l'armature dans les éléments de la structure. Bien que largement répandue, cette manière de procéder n'est pas seulement préjudiciable au comportement de la structure, mais également du point de vue économique. En effet ; le surcoût engendré par la prise en compte de l'aspect sismique pour la construction des bâtiments s'avère insignifiant si l'ingénieur intervient tout au début du projet. Les solutions qu'il faut proposer à un projet déjà avancé sont, au contraire, très coûteuses et généralement peu satisfaisantes d'un point de vue parasismique. [11]

Une conception et une exécution parasismique appropriées n'entraînent en général pas ou peu de surcoût pour les nouvelles constructions. Ceci reste valable même lors de l'application de méthodes modernes de calculs et de dimensionnement, en particulier le dimensionnement en capacité orienté en déformation. (Figure 2.3) [3] et [4]

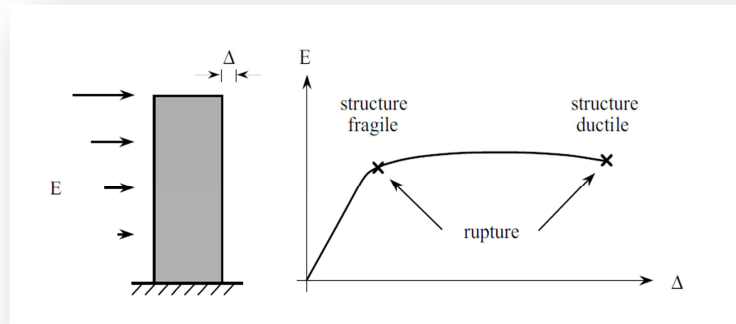


Fig.2.3 : Structure porteuse ductile grâce au dimensionnement en capacité [4]

En résumé, l'incidence de la conception parasismique des constructions se situe à trois niveaux. Elle permet de :

- Minimiser les amplitudes d'oscillations du bâtiment et par là les charges sismique ;
- Créer de bonnes conditions de résistance en limitant les concentrations d'efforts ;
- Minimiser le coût de la protection parasismique des bâtiments.

Par ailleurs, Concevoir parasismique ne signifie pas nécessairement réaliser des ouvrages massifs, dépourvus d'originalité architecturale. Les exemples sont nombreux d'ouvrages aux lignes audacieuses s'étant bien comportés lors des séismes. Les architectes peuvent continuer à laisser libre cours à leur imagination pour peu qu'ils respectent certains principes intangibles, aient acquis les connaissances de base leur permettant de cerner les tenants et les aboutissants de la construction parasismiques, et dialoguent avec les ingénieurs chargés du calcul et de la réalisation. [1]

2.5 Principes de la conception parasismique

Les éléments qui interviennent dans le cadre de la conception parasismique des bâtiments peuvent être regroupés dans les catégories suivantes :

- La forme du bâtiment (en plan et en élévation),
- Le système structural de contreventement,
- L'insertion des éléments non structuraux,
- L'implantation du bâtiment (choix du site)

La conception parasismique ne s'arrête pas à la structure porteuse mais doit également s'étendre aux éléments non porteurs, aux installations ainsi qu'aux équipements. En particulier, il faut absolument veiller à ce que les éléments non porteurs n'entravent pas les déformations de la structure porteuse (exemple du remplissage partiel avec la maçonnerie).

Pour la conception architecturale « parasismique », nous avons essayé de résumer dans le tableau (2.1) les préoccupations générales qui doivent être traités de façon sérieuse par les architectes et les ingénieurs.

Tableau 2.1 : Eléments de conception architecturale « parasismique »

Eléments de conception	Critères à prendre en compte
Forme des bâtiments	Symétrie du plan
	Simplicité du plan
	Dimension horizontales du bâtiment
	Symétrie et simplicité en élévation
	Hauteur de la construction et position du centre de gravité
	Présence de niveaux ouverts
	Présence de niveaux décalés
	Hauteurs d'étages
Eléments d'architecture	Forme des éléments constructifs
	Espaces intérieurs
	Escaliers
	Façades - Panneaux de façade non porteurs - Allèges - Baies - Eléments suspendus devant les façades
	Conception des angles
Choix et conception de la structure	Système porteur
	Homogénéité
	Symétrie en plan et en élévation
	Régularité
	Faible poids
	Hyperstaticité et monolithisme
	Adaptation aux conditions d'appui
	Résistance à la torsion d'ensemble
Résistance aux efforts alternés	
Contreventement	Contreventement Horizontal (conception des diaphragmes)
	Contreventement vertical - Constitution - Nombre et disposition - Distribution vertical

Matériaux de structure	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance mécanique - Rapport résistance/masse élevé - Rigidité - Résilience - Ductilité - Ténacité - Endurance - Durabilité
-------------------------------	--

2.6 Conséquences d'une mauvaise conception des bâtiments

Les dommages sismiques résumés dans le tableau (2.2) dressé ci-après sont généralement observés lors des tremblements de terre ayant une magnitude supérieure ou égale à 6. L'occurrence de tels séismes en Algérie est tout à fait plausible (les séismes d'el Asnam en 1980 et de Zemmouri- Boumerdes en 2003 avaient respectivement des magnitudes de 7.3 et 6.8).

Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que l'importance des dommages sismiques résulte de la conjonction de nombreux facteurs liés au séisme (magnitude, profondeur, durée, contenu fréquentiel), au site (topographie, nature, épaisseur et stabilité des sols), ainsi qu'à la construction (conception, exécution et état de conservation).

Tableau 2.2 Dommages sismiques causés par une mauvaise conception

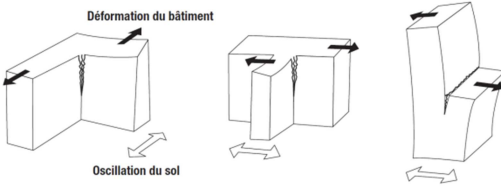

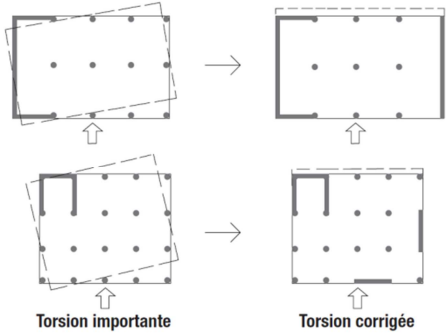


DOMMAGES	CAUSES FREQUENTES DUES A LA CONCEPTION
Effondrement de la construction	<ul style="list-style-type: none"> - Résonance avec le sol, - Niveau " souple " (transparence) sans murs de contreventement, - Absence de contreventement ou de portiques dans une ou plusieurs directions, - Panneaux de contreventement très excentrés (torsion d'axe vertical), - Absence de continuité mécanique (ancrage) entre les planchers et les panneaux de contreventement, - Poteaux affaiblis ou de constitution hétérogène, - Structures dont la résistance dépend d'un seul élément.

<p>Effondrement partiel et désordres graves</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Entrechoquement entre blocs ou bâtiments contigus séparés par un joint de fractionnement insuffisant, - bâtiments possédant des ailes mécaniquement solidaires, - Percements importants dans les panneaux de contreventement ou dans les nœuds de portiques, - irrégularités de forme accentuées, - couplage de bâtiments par des passerelles ou escaliers extérieurs, - contreventement de faible largeur totale, dans une ou plusieurs directions, - systèmes " poutres fortes-poteaux faibles " (cas des ossatures en portiques), - ossature en béton armé avec panneaux de remplissage en maçonnerie, - descente de charges discontinue, - Effet de poteau court dans un élément participant au contreventement, - planchers-diaphragmes percés par des trémies importantes, - niveaux en retrait > 40 %, - porte-à-faux de grande portée (Selon le RPA 99/v2003 le calcul sismique doit prendre les cas plus de 1.5 m en zone III)
<p>Désordres modérés</p>	<ul style="list-style-type: none"> - irrégularités non accentuées en plan et en élévation, - porte-à-faux de faible portée, - faibles écarts par rapport à la régularité des travées.

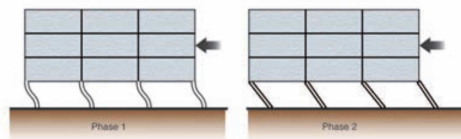
2.7 Exemples de dommages typiques causés par une conception inadéquate.

Pour mieux résumer quelques cas de bâtiments présentant des facteurs de vulnérabilité liés essentiellement aux problèmes de conception, nous avons jugé utile de dresser *un tableau(2.3)* qui présente le facteur de vulnérabilité, le phénomène, des cas potentiellement exposés aux phénomènes décrits et enfin le type de dommages typique qui peut se produire.

Tableau 2.3 : Facteurs de vulnérabilité et dommages sismiques typiques

Facteur de vulnérabilité	Phénomène	Exemple de cas potentiels (photos prises par l'auteur)	Exemple de dommage typique
<p>1. Vulnérabilité liée à l'architecture</p>	<p>oscillations différentielles des différentes parties de la construction</p> 		 <p>El Asnam 1980</p>
	<p>Torsion d'ensemble</p> 	 <p>Construction exposée à la torsion</p>	 <p>Mexico 1985</p>

Effet du niveau souple

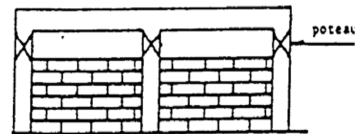


Faiblesse de la structure en RDC



Boumerdes 2003


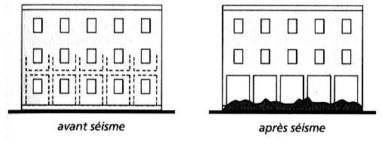


Effet du poteau court

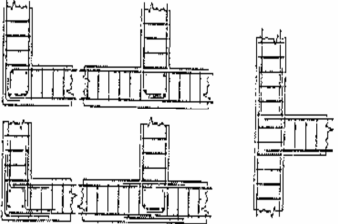


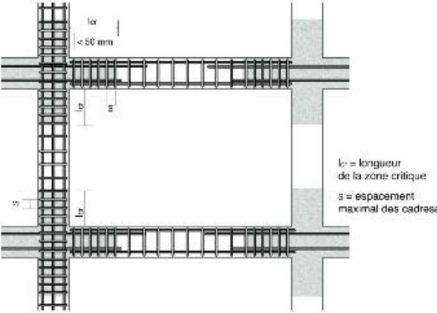






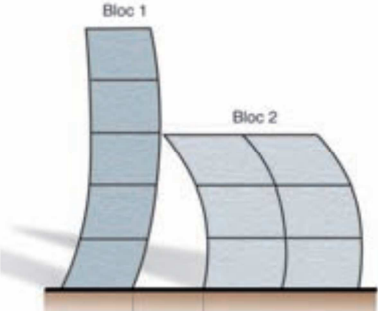


Présence d'effet du poteau court

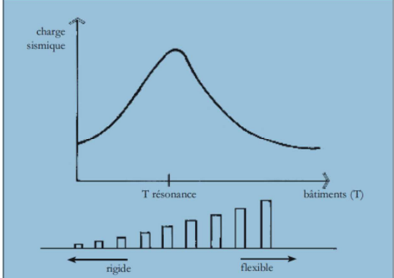

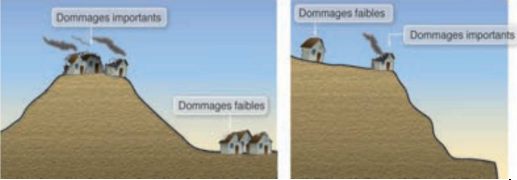



Boumerdes 2003

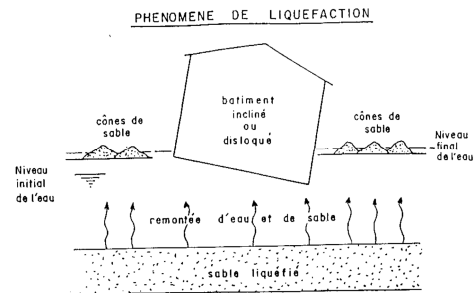
2. Vulnérabilité lié au système constructif	Insuffisance du contreventement		 <p>Boumerdes 2003</p>
	Eclatement des panneaux de maçonnerie 	 <p>Remplissage par des panneaux de maçonnerie</p>	 <p>Boumerdes 2003</p>

	<p>Absence de confinement des constructions en maçonnerie</p> 	 <p>Mur porteur sans chainages verticaux</p>	 <p>Boumerdes 2003</p>
<p>3. Vulnérabilité liée aux dispositions constructives</p>	<p>Absence de confinement des poteaux des constructions en ossatures en béton armé</p>  <p>$l_c < 50 \text{ mm}$</p> <p>s</p> <p>l_c = longueur de la zone critique s = espacement maximal des cadres</p>	 <p>Mauvais confinement du noeud</p>	 <p>Boumerdes 2003</p>

<p>4. Vulnérabilité liée à l'état de conservation</p>	<p>Mauvaise état de conservation</p>	 <p>Construction vétuste</p>	 <p>Boumerdes 2003</p>
<p>5. Vulnérabilité liée à l'interaction avec l'environnement construit</p>	<p>Entrechoquement des bâtiments voisins (insuffisance de joints)</p> 	 <p>Mauvaise conception du joint</p>	 <p>Boumerdes 2003</p>

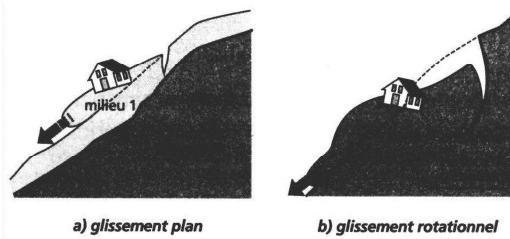
	<p>Résonance de la construction avec le sol</p>  <p>The graph plots 'charge sismique' (seismic load) on the y-axis against 'bâtements (T)' (building periods) on the x-axis. A bell-shaped curve represents the resonance effect, peaking at 'T résonance'. Below the x-axis, a bar chart shows the relationship between stiffness and flexibility, with 'rigide' (rigid) on the left and 'flexible' on the right.</p>		 <p>Mexico 1985</p>
<p>6. Vulnérabilité liée au site</p>	<p>Effet topographique</p>  <p>The diagram shows two cross-sections of a hillside. The left side shows a building on a peak with 'Dommmages importants' (important damage) and another on a slope with 'Dommmages faibles' (weak damage). The right side shows a building on a slope with 'Dommmages importants' and another on a peak with 'Dommmages faibles'.</p>	 <p>Construction sur une falaise</p>	

Possibilité de liquéfaction du sol



Adapazari, Turquie 1999 .

Possibilité de glissement de terrain ou d'éboulement rocheux



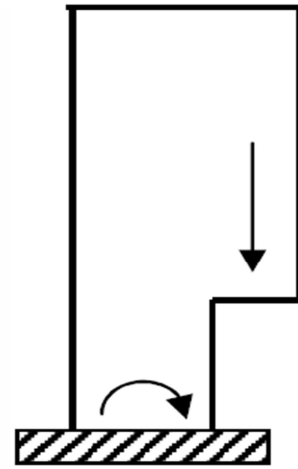
Implantation de batiments sur un terrain argileux en pente



Salvador 2001

En plus de ces vulnérabilités de conception et de site, nous avons ajouté quelques commentaires à d'autres cas similaires que nous avons qualitativement jugés de vulnérables vis-à-vis de l'aléa sismique. Il s'agit de conception de bâtiments (architecture et système structural) inadéquats à travers lesquels nous souhaiterons sensibiliser les architectes et les ingénieurs des bureaux d'études afin d'éviter ce genre de choix dont les conséquences peuvent être dramatiques.

- Conception architecturale



Porte-à-faux

Fig.2.4 Mauvaise configuration de la forme en élévation 1

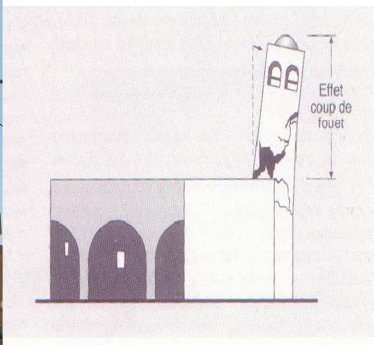


Fig.2.6 Effet du coup de fouet



Fig.2.5 Mauvaise configuration de la forme en élévation 2



Fig.2.7 Différence de raideur entre les niveaux1



Fig.2.8 Différence des raideurs entre les niveaux du bâtiment

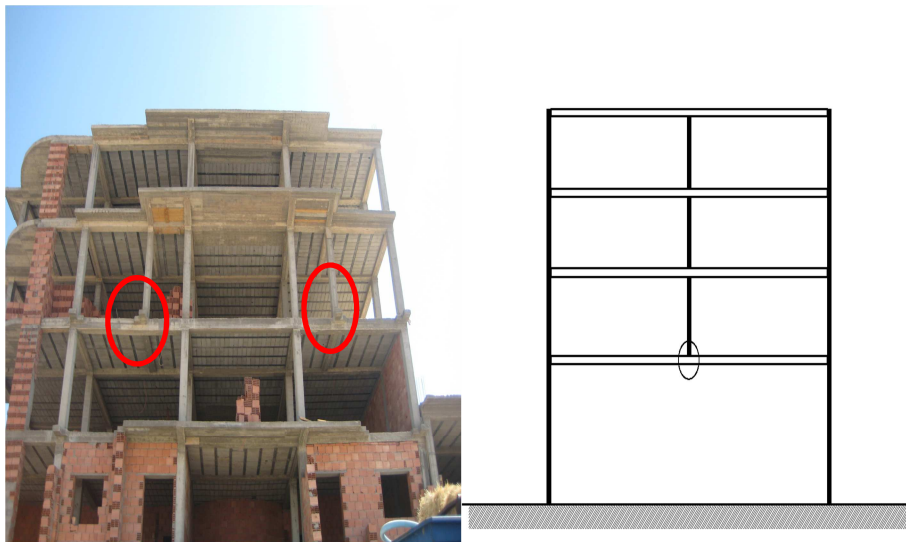


Fig. 2.9 Descente de charge interrompue



Fig.2.10 Affaiblissement du diaphragme par la présence des baies sur le plancher



Fig.2.11 Hétérogénéité structurale (Mur porteur en RDC – Poteaux et poutres en étage)

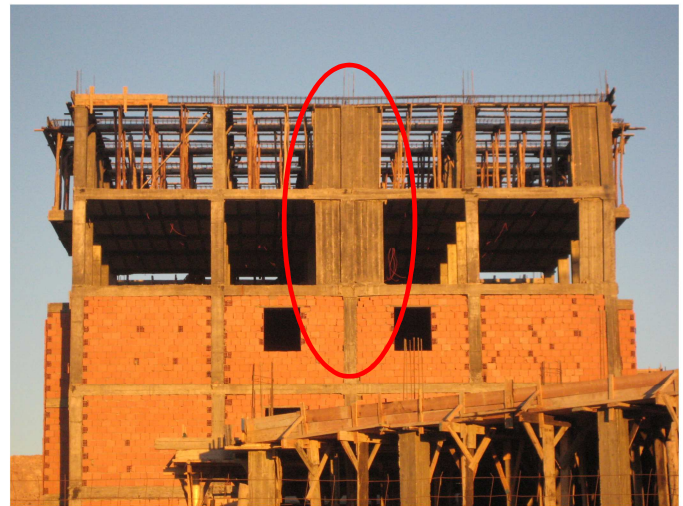


Fig.2.12 Mauvaise disposition des voiles (discontinuité)



Fig.2. 13 Non-respect du principe poteau fort- poutre faible



Fig.2.14Présence de poutres-allèges



Fig.2.15 Présence de poteaux courts



Fig2.16 Mauvaise conception et exécution du joint



Fig.2.17 Bonne disposition et bonne exécution des voiles



Fig. 2.18 Exécution soignée d'un joint parasismique

2.8 Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre de façon succincte l'intérêt que revêtent la construction parasismique en général, la conception architecturale en particulier dans le domaine de la prévention contre les séismes. Cette construction (parasismique) constitue la seule protection efficace à l'heure actuelle. Les dommages sismiques observés sur les bâtiments en Algérie et en d'autres pays sont dans la majorité des cas le résultat des choix peu judicieux, erreurs ou négligences commises par les concepteurs de projets à divers niveaux : implantation du bâtiment, parti architectural, parti constructif, détails d'exécutions.

Dans le chapitre suivant qui sera dédiée à la réglementation parasismique, nous allons voir que le calcul règlementaire, fondé sur des hypothèses de nature probabiliste et généralement forfaitaire, ne peut à lui seul garantir la résistance d'un bâtiment incorrectement conçu.

Chapitre 3

La réglementation parasismique

3. La réglementation parasismique

3.1 Définition

La réglementation parasismique, comme toute réglementation n'a pas un caractère définitif ni scientifiquement exacte mais représente la réunion d'un consensus technique traduisant l'état des connaissances scientifiques et d'un consensus sociétal traduisant les limites de la protection parasismique définies comme acceptables. La réglementation est donc une convention à un moment donné de l'évolution technique et sociétale. Elle énonce l'obligation de construire parasismique. Elle peut être formulée en termes normatifs ou en terme exigentiels. [13]

3.2 Philosophie des codes parasismiques

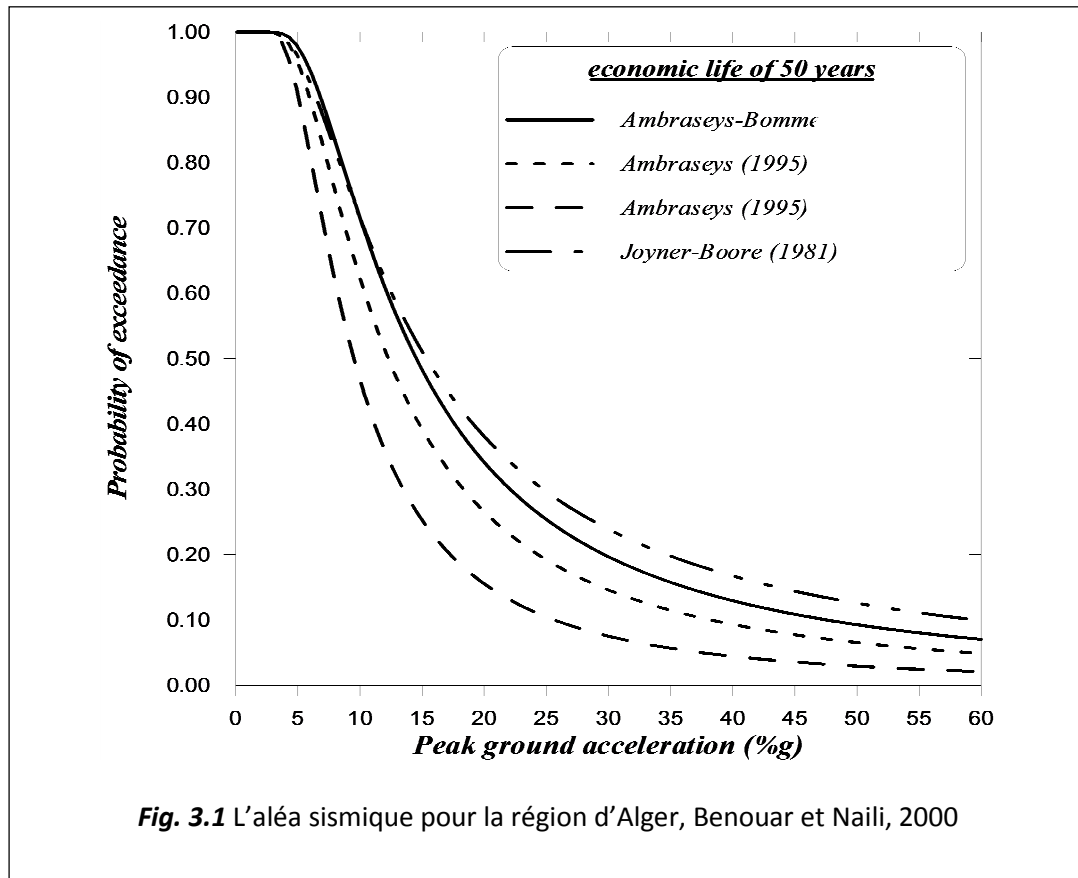
La construction parasismique est incontestablement le moyen le plus sûr de prévention du risque sismique. Elle exige le respect préalable des règles normales de bonne construction, mais repose également sur des principes spécifiques, dus à la nature particulière des charges sismiques. Ces principes et leur mode d'application sont généralement réunis, avec plus ou moins de détails, dans les codes (règles parasismiques). [15]

De nombreux pays exposés aux tremblements de terre dont l'Algérie possèdent un code parasismique applicable aux constructions courantes. Le niveau d'élaboration des codes est toutefois assez variable d'un pays à l'autre. Certains pays, disposent également de prescriptions techniques spécifiques destinés à assurer une protection plus poussée d'ouvrages particuliers dont la destruction ou même une défaillance partielle peuvent avoir des conséquences graves pour la population ou pour l'environnement, aucun échec n'est admissible. Ces bâtiments doivent être objet de prescriptions techniques plus sévères que celles adoptées par les codes parasismiques. Le séisme de référence auquel ils doivent être capables de résister n'est pas défini par la méthode probabiliste mais par une approche déterministe. Par exemple le code parasismique Algérien RPA exclu de son domaine d'application les constructions et installations pour lesquelles les conséquences d'un dommage même léger peuvent être d'une exceptionnelle gravité : centrales nucléaires, installations GNL, installations de fabrication et de stockage des produits inflammables, explosifs, toxiques, ou polluants.

Les codes parasismiques n'ont pas pour but de garantir la sécurité de chaque bâtiment considéré individuellement (protection dite « intrinsèque » dans certains codes). Ils recherchent un résultat global, donc au niveau de l'ensemble des constructions implantées sur un territoire, qu'ils entendent protéger contre un séisme de référence dont l'intensité nominale est fixée par les pouvoirs publics, responsables de la protection civile et de la préservation du patrimoine national. [15]

La protection visée par les codes a un caractère probabiliste et puisque on admet que les séismes destructeurs sont des phénomènes relativement peu fréquents et de durée très brève, les concours de circonstances défavorables envisagés dans le cas de protection intrinsèque apparaissent comme assez improbables pour qu'on les puisse négliger. A l'échelle de la ville ou de la région, on est conduit à considérer comme peu significatifs d'éventuels échecs dus à l'un de ces cas fortuits... En outre, dans un séisme donné, les grands intensités n'affectent qu'une aire incomparablement moins étendue que celle où le séisme n'est ressenti qu'avec une intensité plus modérée. Les constructions exposées à des secousses modérées sont donc statistiquement beaucoup plus nombreuses que celles qui subissent des tremblements de terre de forte intensité. [15]

Etant donné que le coût de la protection sismique augmente en même temps que la magnitude du séisme contre lequel on cherche à se protéger (et au-delà d'un seuil, beaucoup plus vite que la réduction escomptée de la vulnérabilité des constructions), le choix du niveau de protection nominale est en réalité le résultat d'un compromis entre le risque sismique, c'est-à-dire la probabilité des pertes en biens, en activités productives et en vies humaines, et le coût d'une protection économiquement acceptable pour la collectivité. Le coût d'une protection totale des constructions contre les séismes serait dans la plus part des cas élevée (*figure. 3.1*). Bien entendu les constructeurs sont libres d'opter pour un niveau de protection supérieur à celui qui découle de l'application des codes. [15]



3.3 Contenu des codes parasismique

Malgré leur différence, les divers codes parasismiques donnent en général au moins trois types d'indications :

- Recommandations pour la conception d'ensemble (conception architecturale) ;
- Dispositions constructives générales et dispositions particulières à divers matériaux ou procédés de construction ;
- Règles de calcul.

Les règles de calcul constituent la partie principale des codes. Elles fournissent une méthode permettant de déterminer l'action sismique pour laquelle les constructions doivent être calculées (charges hypothétiques dont on considère qu'elles correspondent à l'intensité du séisme de référence contre lequel on entend se protéger) et d'effectuer les vérifications de sécurité en fonction des exigences de comportement de l'ouvrage sous séisme. [15]

Dans le cas des constructions simples et régulières (Le RPA défini dans son article 3.5 les critères de régularité en plan et en élévation avec des limitations de la hauteur à 65m pour la zone I et II et 30m pour la zone III), les actions sismiques d'ensemble sont en général déterminées par le calcul statique équivalent, consistant à déterminer des forces statiques fictives, présumées équivalentes (et non pas égales) aux actions dynamiques réelles. Les forces statiques sont obtenues en appliquant au poids des constructions considérées un coefficient sismique qui comprend plusieurs facteurs, variant d'un code à l'autre : coefficient de zone sismique, coefficient d'importance de la construction, coefficient de réponse, etc. ce dernier est donné par les spectres de réponse réglementaire. Sauf anomalie marquée dans la distribution des charges, on considère que toutes les masses en mouvement, et par conséquent les forces statiques équivalentes, sont concentrées au niveau des planchers.

Le calcul statique équivalent donne des résultats corrects pour de nombreux types de structure. Cependant, il n'est pas applicable aux structures élancées et flexibles, ni aux constructions ayant une configuration très irrégulière ou présentant une rigidité latérale très différente à divers niveaux. Pour ces ouvrages, ainsi que pour les bâtiments à haut risque, l'analyse modale ou le calcul dynamique direct est nécessaire. Ce dernier s'effectue à partir d'accélérogramme.

Les constructions doivent être dimensionnées de sorte que leur stabilité et leur résistance soient assurées sous les actions sismiques de calcul, obtenues par l'une des méthodes autorisées par les codes. Aux conditions de stabilité et de résistance s'ajoute une limite de déformabilité, exprimée en termes de déplacement relatif maximal des planchers et dont le but est de prévenir les dommages importants aux éléments non structuraux et à l'équipement. [15]

Il faut toutefois noter que les codes parasismiques ne fournissent pas de règles ni de prescription détaillées couvrant tous les types de construction ou toutes les situations de site que l'on peut rencontrer. L'expérience des concepteurs doit être suffisante pour interpréter correctement l'esprit des codes et pour les adapter à chaque cas spécifique. Une utilisation « aveugle » des codes peut parfois conduire à un résultat contraire au résultat recherché. Par exemple une augmentation de la section de tel ou tel élément constructif ne se traduit pas nécessairement par une structure plus fiable, mais au contraire peut entraîner la ruine prématurée de l'ouvrage. [15]

3.4 Portée des règles parasismiques [16]

Les normes parasismiques sont efficaces par rapport à leur objectifs, les bâtiments conformes aux règles parasismiques doivent présenter, vis-à-vis des actions sismiques de calcul une probabilité raisonnablement faible d'effondrement ou de désordres structuraux majeurs. Elles ne garantissent donc pas l'absence de dommages graves en cas de séisme destructeur. Des exemples montrent l'effondrement de bâtiments conformes aux normes parasismiques à Northridge, Kobé, etc. (Figure. 3.2)



Northridge, Californie 1994



Kobé, Japon 1995

Fig.3.2 Effets des séismes sur les constructions conformes aux codes parasismiques

3.5 Limites des règles parasismiques

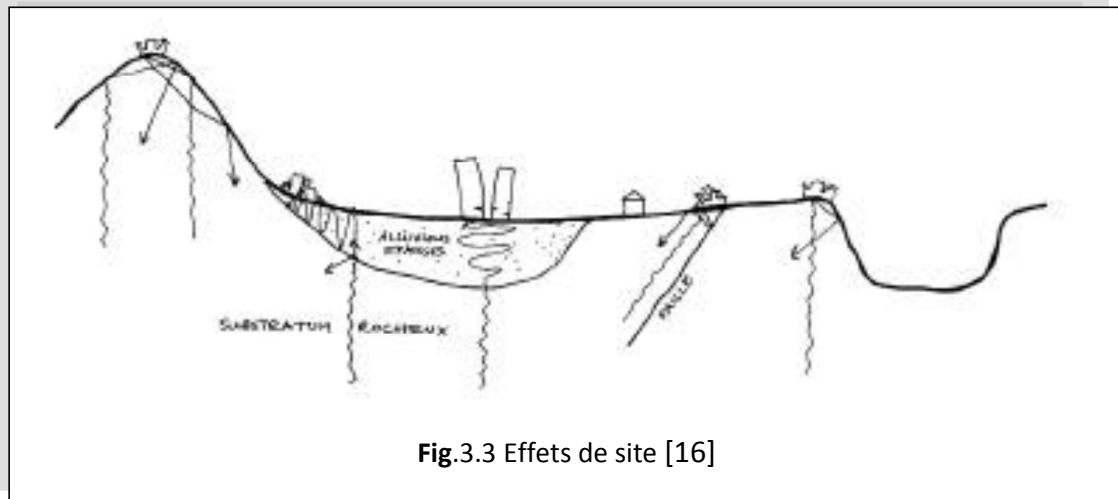
La nécessité d'avoir des règles parasismiques simples, faciles à utiliser, ainsi qu'un compromis entre un niveau de protection parasismique acceptable et son coût, a été évoquée précédemment. Dans le but d'apprécier le degré de prise en compte par les règles de l'aléa sismique et du comportement réel des structures, quelques démarches réglementaires sont commentées dans ce qui suit :

✚ Pour le niveau de l'aléa sismique

- Les constructions courantes ne sont pas calculées pour résister au séisme maximum plausible dans la zone concernée, car la probabilité de son occurrence durant la vie d'une construction est faible (sa période de retour étant généralement longue). Un tel séisme peut cependant se produire. Par exemple à

Kobé en 1995, des constructions réglementairement calculées pour des charges sismiques équivalentes à 30 % de leur poids, ont subi des charges 2,5 fois plus élevées. Elles n'ont pas pu leur résister. [16]

- Le zonage sismique (et par conséquent le niveau de protection exigé) est basé sur la connaissance de la sismicité historique. L'ignorance de séismes violents survenus dans le passé équivaut à une sous-estimation du mouvement sismique de référence.
- Les amplifications locales des secousses dues aux effets de site (*Figure.3.3*) et qui peuvent multiplier les charges sismiques par cinq ou plus, ne sont prises en compte que partiellement. Par exemple les règles parasismiques algériennes RPA99/2003 ne prennent pas l'effet topographique en compte alors que les règles PS 92 prévoient une majoration des charges sismiques par un facteur de 1,4 maximum. Quant aux effets d'amplification dynamique observée dans les sols alluvionnaires de forte épaisseur, ils sont négligés (car mal connus). A Mexico, lors du séisme de 1985, ce dernier type d'amplification a atteint le facteur 7,5 pour les bâtiments à période propre fondamentale de 2s (tours de 10 à 20 niveaux) fondés sur sols alluvionnaires. Ces bâtiments se sont tous effondrés. (*Figure. 3.4*)



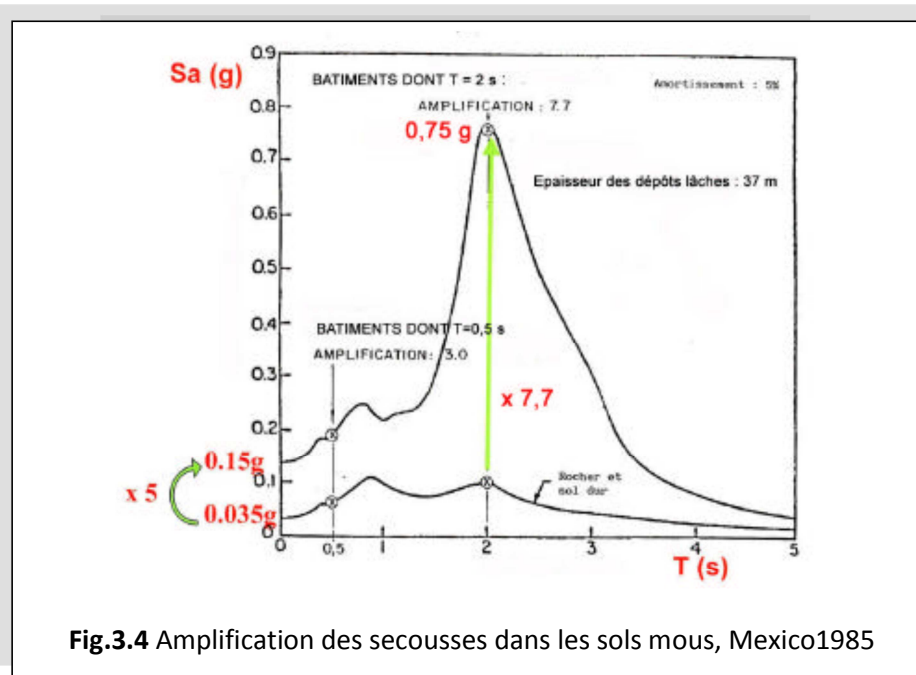


Fig.3.4 Amplification des secousses dans les sols mous, Mexico1985

Philosophie du calcul

Par commodité, le calcul des structures aux séismes est basé sur le concept de force, alors qu'aucune force d'origine sismique réelle ne s'exerce sur elles. Lors des tremblements de terre, les structures subissent une mise en mouvement (de l'énergie cinétique leur est " injectée ") et des déformations imposées. Leur survie en cas de séisme dépend davantage de leur capacité à absorber cette énergie et à tolérer ces déformations, que de leur résistance pure. On observe effectivement que les structures ayant une bonne capacité à absorber l'énergie (par stockage temporaire et par dissipation) se comportent mieux sous séismes destructeurs que d'autres, plus " résistantes en soi ", mais qui n'ont pas cette capacité. Cette dernière est conférée aux ouvrages lors de la phase de conception, qui est donc essentielle.

Hypothèses de calcul

- Un séisme impose aux constructions une suite d'accélération violentes dont la durée peut dépasser 1 mn (caractère dynamique des sollicitations sismiques). Cependant, le calcul réglementaire ne considère qu'une seule accélération (supposée maximale), appliquée sans durée comme une force statique. Les deux situations ne sont pas comparables car la durée de secousses est un facteur de dommage important. Un séisme long est en général plus destructeur qu'un séisme court plus fort.

- Pour le calcul aux séismes, les constructions sont considérées comme non déformées au moment d'application des charges sismiques. Or, la période des secousses étant dans la plupart des cas plus courte que celle de l'oscillation des ouvrages, les charges sismiques sollicitent dans ces cas plusieurs fois les ouvrages déformés, avant leur retour en position initiale. Leur action réelle est donc plus préjudiciable que dans le cas considéré par les règles parasismiques.
- Le facteur le plus destructeur observé lors des tremblements de terre est la résonance des constructions avec le sol. La résonance accroît considérablement les amplitudes d'oscillation et, par conséquent, multiplie l'intensité des charges sismiques par un facteur important (les charges sismiques sont proportionnelles aux amplitudes d'oscillation, appelées " déplacements ").

Cependant, la résonance n'est pas spécifiquement prise en compte dans le dimensionnement des ouvrages aux séismes. Les périodes propres du sol d'assise et de la structure ne sont pas comparées (la résonance se produit lorsqu'elles sont les mêmes ou très proches), bien que la modification, lors de la phase du projet, des périodes propres des bâtiments (si elle s'avérait souhaitable), soit une démarche aisée. On peut, par exemple, ajouter des murs de contreventement (pour raccourcir la période) ou opter pour des façades légères à la place de murs de remplissage en maçonnerie ou encore augmenter l'élancement du bâtiment pour allonger sa période. (Figure.3.5)

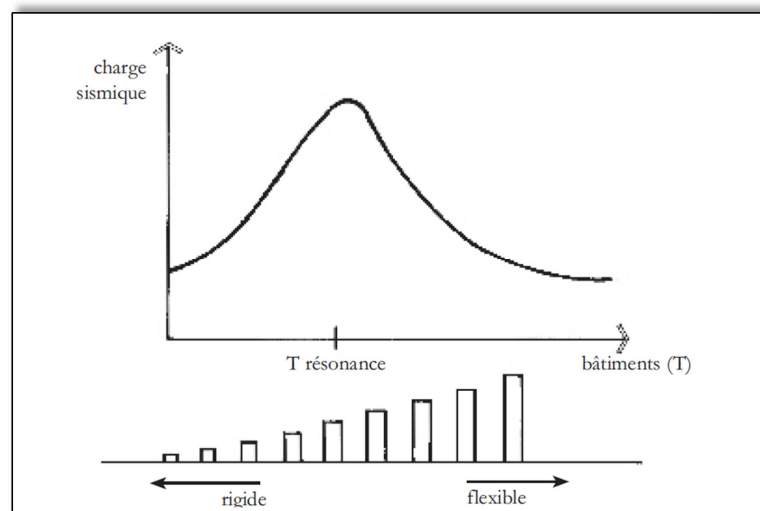


Fig.3.5 Le pic du spectre correspond à la période de résonance

- La stratégie de protection parasismique réglementaire consiste à conférer aux constructions une ductilité suffisante pour éviter leur dislocation lors des oscillations imposées. On accepte donc des dommages localisés (rotules plastiques) bien placés, économiquement réparables ou non, dans le but d'éviter l'effondrement de l'ouvrage sur les occupants. Le degré de ductilité, ou plus précisément de dissipativité car d'autres mécanismes de dissipation entrent en jeu, est caractérisé pour le calcul par un " coefficient de comportement ". Il s'agit d'un coefficient diviseur des charges sismiques ayant une valeur entre 1 et 8, selon la dissipativité estimée de la construction (*Figure 3.6*). Cependant, ce coefficient est global et forfaitaire et sa valeur peut parfois être très surestimée lorsque la structure comporte des zones susceptibles de rupture fragile (poutres ou poteaux courts ou bridés, poutres sollicitées en torsion, changements brusques de section, percements importants, reports de charges, etc.), ce qui est loin d'être rare. La structure est alors dimensionnée pour des charges inférieures à celles qu'elle pourrait subir. En outre, après la division des charges par un coefficient de comportement, le calcul peut indiquer les sollicitations de compression dans des sections dans lesquelles une traction ou un soulèvement peuvent se produire.

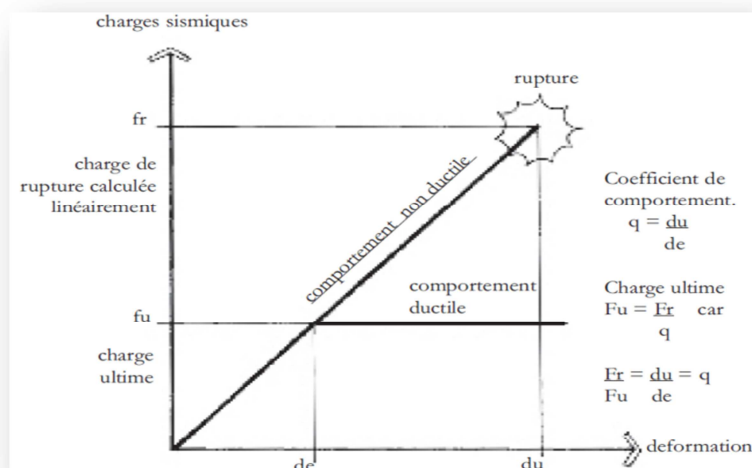


Fig.3.6 Réduction des charges sismiques par la ductilité. [16]

- L'interaction sol-structure n'est pas prise en compte dans le calcul réglementaire. Son incidence est le plus souvent favorable (dissipation d'énergie), mais les cas défavorables ne sont pas rares (accroissement de charges dans le cas de certaines structures rigides).

Malgré l'existence des distorsions qui viennent d'être exposées, les constructions conformes aux règles parasismiques montrent globalement un comportement nettement meilleur que celles qui ne le sont pas. Les échecs sont relativement rares. Toutefois, ce fait ne devrait pas inciter à s'en contenter, car les bâtiments conformes aux règles qui s'effondrent lors de séismes majeurs entraînent eux aussi des pertes en vies humaines et représentent un échec personnel pour l'architecte.

3.6 Evolution de la réglementation parasismique

- Premières tentatives

C'est au début du XXe siècle, après les séismes de San Francisco (18 avril 1906) et de Messine (28 décembre 1908), que les premières règles de calcul parasismique furent proposées ; elles visaient simplement à imposer une certaine résistance des structures vis-à-vis des efforts horizontaux, au moyen d'un coefficient sismique forfaitaire (de l'ordre de 0,1), éventuellement modulé en fonction de la cote (coefficient sismique plus élevé pour les étages supérieurs). [7]

On ne disposait à cette époque d'aucune donnée d'enregistrement de mouvements forts, et les valeurs d'accélération du sol étaient l'objet de conjectures (fondées, par exemple, sur le renversement ou le maintien en place de statues) qui s'accordaient en général pour prédire des valeurs assez faibles (de l'ordre de 1 à 2 m/s²) et justifiaient les coefficients sismiques choisis. [7]

En parallèle avec ces premières tentatives de calcul, l'importance des dispositions de construction et particulièrement des « choses à ne pas faire » a été rapidement reconnue et les premiers codes parasismiques ont introduit des recommandations sur la nature des contreventements et la mise en œuvre des matériaux. [7]

- Codes parasismiques de deuxième génération

Le premier enregistrement de mouvement fort fut obtenu à Long Beach en 1933 et, jusqu'en 1970, le nombre de tels enregistrements est resté très limité. Le plus célèbre, qui a été utilisé par des générations de calculateurs, est celui d'El Centro en Californie le 18 mai 1940 (*Figure 3.7*) dont une composante horizontale a atteint l'accélération de 3,4 m/s² ; cette valeur paraissait très élevée d'après l'opinion la plus répandue à l'époque, et beaucoup d'experts pensaient qu'elle était proche du maximum concevable qui était considéré comme étant de l'ordre de 5 m/s². [7]

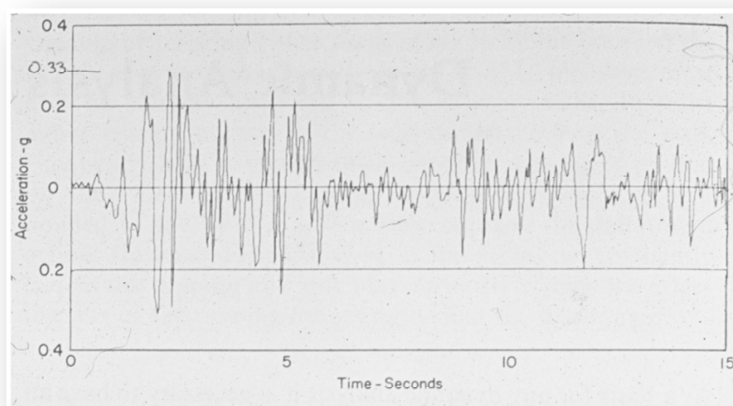


Fig.3.7 Accélérogramme de la composante N-S enregistrée à El Centro (Californie) le 18 mai 1940

En 1971, le séisme de San Fernando, également en Californie, fournit un très grand nombre d'enregistrements dont un, celui de Pacoima Dam, dépassait l'accélération de la pesanteur. Les ingénieurs de génie parasismique, dont certains avaient déjà pressenti que les spéculations alors en vigueur sur la limitation des mouvements sismiques n'étaient guère fondées, durent reconnaître que ces mouvements pouvaient être beaucoup plus intenses que ce que l'on croyait.

Corrélativement, la compréhension du comportement des structures sous charges dynamiques progressait rapidement suite au développement des études expérimentales, notamment celles sur table vibrante, et à l'apparition du calcul informatique. Le rôle fondamental de la dissipation d'énergie lors des cycles de déformation inélastique fut mis en évidence et permit de comprendre le bon comportement de certaines structures non

calculées au séisme, ou calculées avec des coefficients sismiques modérés, et la ruine de certaines autres, dont les capacités de dissipation d'énergie étaient insuffisantes.

Ces progrès dans les connaissances ont été concrétisés dans les codes dits de deuxième génération dans lesquels :

- le caractère dynamique de la réponse est explicité par un coefficient dépendant de la période fondamentale de la structure ;
- le rôle de la ductilité est reconnu implicitement par le fait que les coefficients sismiques restent modérés (alors que les nouvelles données d'enregistrement auraient dû conduire à une augmentation sensible) et par l'accent qui est mis sur les dispositions qualitatives de construction (notamment pour les chaînages des maçonneries et les armatures de béton armé) nécessaires pour l'obtention de la ductilité.

Des règles de premières urgences sous forme de recommandations (AS 55) ont été édictées pour l'Algérie après le séisme d'Orléansville (1954) qui ont permis par la suite l'élaboration des règles PS 69/82 en France. Élaborées pour l'essentiel en 1962, retouchées en 1964, elles ont été publiées en octobre 1970 sous forme d'un DTU (Document Technique Unifié). Après le séisme de 1980 à El Asnam (ex-Orléans ville), la nécessité de certaines révisions a conduit à la rédaction des Addenda de 1982 (Addenda aux règles PS69). [7]

- **Codes parasismique de troisième génération**

Le défaut principal des codes de deuxième génération est que la prise en compte de la ductilité n'est pas explicite et qu'il n'est donc pas possible de représenter les différences de comportement entre les structures véritablement ductiles et celles qui le sont peu. Il en résulte, comme indiqué au paragraphe 3.4, une disparité dans la sécurité effectivement obtenue avec ces codes.

C'est pourquoi les codes parasismiques modernes, dits de troisième génération, ont choisi d'explicitier le coefficient de comportement. Différentes appellations et notations sont utilisées : [7]

- facteur R_w des codes américains UBC 1988 et SEAOC 87-88 ;
- facteur S de type structural du New Zélande Standard NZ 4203 de 1984 ;
- facteur de comportement sismique Q et facteur de réduction Q' de la norme mexicaine de

1987 ;

- facteur de réduction de force D_s du Building Standard Law japonais (1981) ;
- facteur de comportement R et facteur de qualité Q de la norme Algérienne RPA (1988)
- facteur q de comportement de l'Eurocode 8.

3.7 Règlementation parasismique Algérienne

En Algérie, le premier règlement parasismique intitulé « Règles AS » a été élaboré suite au séisme qui a dévasté El Asnam (ex-Orléanville) du 9 septembre 1954, qui a fait 1243 morts et qui a provoqué la destruction de 20.000 maisons. Bien avant le terrible séisme du 10 octobre 1980 qui a ravagé la même région (2633 morts, 8369 blessés, 348 disparus, 478.948 sinistrés, plus de 20.000 bâtiments détruits, 2 milliards de dollars de dégâts directs, plus des pertes indirectes de l'ordre de 30 à 40 % de ces derniers), les autorités conscientes du danger, avaient chargé en 1976 le CTC (Organisme national de contrôle technique de la construction) d'élaborer un projet de règlement parasismique, ce qui fut fait dès 1979 en collaboration avec l'Université de Stanford, et le document a reçu le titre de RPA-81 complété et rectifié en 1983. Depuis 1987, l'actualisation de ce règlement est prise en charge par le CGS qui a procédé à une première révision (RPA-88), cette version a repris les mêmes prescriptions du RPA81 version 83, en apportant quelques modifications ou enrichissements.

Continuant dans la philosophie originelle du RPA et bénéficiant des leçons tirées des séismes survenus entre temps en Algérie et dans le monde, le RPA 99 est une actualisation du RPA88, qui a aussi tenu compte des grands progrès réalisés par la recherche dans le domaine du génie parasismique.

Elle a aussi pris en compte :

- L'évolution de la réglementation internationale en la matière.
- La réponse aux questions et remarques des utilisateurs du RPA.
- La valorisation de l'expérience acquise dans la pratique du génie parasismique.
- L'harmonisation du RPA avec les autres DTR (CBA, CCM97, Maçonnerie et Fondation...).

- La réorganisation du contenu du RPA selon un schéma de plus en plus utilisé dans les codes étrangers.
- L'amélioration de la présentation du RPA en tant qu'outil de travail très utilisé par les bureaux d'études (BET)

Les points ayant fait l'objet de la révision se présentent comme suit :

- Définir de manière plus précise l'objet du RPA.
- Préciser davantage le domaine d'application du RPA.
- Préciser les objectifs et les niveaux de protection parasismique recherchés pour les différentes catégories de constructions qui relèvent du domaine d'application du RPA.
- Décrire les principes de conception parasismique à respecter, préalablement à tout calcul (choix de site, implantation...).
- Revoir les différentes classifications (zonage sismique, sites et sols, catégories d'ouvrages).
- Préciser davantage les critères de régularité en plan et en élévation des constructions.
- Identifier les systèmes structuraux en usage courant en Algérie.
- Préciser les critères de choix de la méthode de calcul des forces sismiques (méthode statique équivalente, méthode d'analyse modale spectrale).
- Décrire la méthode statique équivalente avec les modifications apportées sur les différents paramètres.
- Décrire la méthode dynamique modale spectrale.
- Décrire les critères de sécurité à justifier pour que la structure soit réputée parasismique (système de contreventement, éléments secondaires et éléments non structuraux).
- Revoir les dispositions constructives relatives aux constructions en béton armé, en acier et maçonnerie porteuse chaînée.
- Envisager un nouveau chapitre relatif aux fondations et murs de soutènement (fondations, liquéfaction, stabilité des pentes, murs de soutènement).

Cette version des RPA constitue une nette avancée pour la réglementation parasismique nationale.

Au lendemain du séisme de Zemmouri- Boumerdes du 21 Mai 2003 les pouvoirs publics devant le nombre de victimes et l'ampleur des dégâts occasionnés aux constructions ont chargé le ministère de l'habitat et de l'urbanisme d'examiner la révision de certaines prescriptions techniques du RPA en vue de :

- Proposer un complément au RPA99.
- Engager la réflexion pour la future version du RPA99.

Cette révision est motivée a été motivée par :

- Les niveaux d'accélérations enregistrées dans la région de Boumerdes.
- le mauvais comportement des structures constituées par portiques autostables.

Les travaux du groupe de travail spécialisé ont abouti aux « modificatifs et complément aux RPA99 » qui ont porté essentiellement sur deux volets :

- La révision du zonage sismique du RPA99. (*Figure 3.8*)
- Les nouvelles prescriptions, plus restrictives, pour le système de portiques auto stables en béton armé (système poteaux poutres).

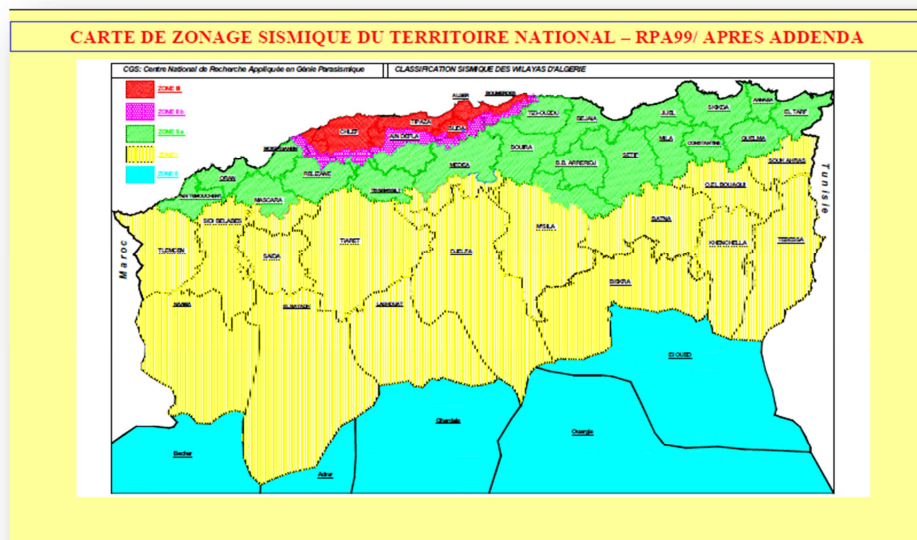


Fig. 3.8 Zonage réglementaire du RPA99 version 2003

- Objectif des règles parasismiques Algériennes RPA 99/V.2003

La réglementation parasismique Algérienne RPA 99/V.2003 vise à assurer une protection acceptable des vies humaine et des constructions vis-à-vis des effets des actions sismiques par une conception et un dimensionnement appropriés. (Article 1.2 des dits règles)

Ces objectifs se traduisent au niveau des structures de bâtiments par les principes suivants :

Objectifs	
Pour un séisme modéré	Pour un séisme majeur
Une rigidité et une résistance suffisante pour limiter les dommages non structuraux et éviter les dommages structuraux par un comportement de la structure.	Une ductilité et une capacité de dissipation d'énergie adéquates pour permettre à la structure de subir des déplacements inélastiques avec des dommages limités et sans effondrement, ni perte de stabilité

Pour ce qui est des ouvrages importants, la protection visée est encore plus sévère puisqu'il faudra que l'ouvrage puisse demeurer opérationnel immédiatement après un séisme majeur.

1.8 Conclusion :

Il convient de souligner que les textes réglementaires imposent des mesures minimales qui peuvent être accrues par voie contractuelle : un maître d'ouvrage, s'il ne peut pas se soustraire à la loi, a toujours le droit de demander plus que le minimum imposé.

L'inconvénient de ces codes, si inconvénient il y a, est peut-être d'accréditer l'idée que le calcul représente la partie la plus importante de la conception parasismique. Il suffit de réfléchir à la notion même de coefficient de comportement, et à la manière dont ses valeurs sont estimées, pour se rendre compte qu'une telle idée ne saurait correspondre à la réalité. Le calcul élastique avec coefficient de comportement, même s'il constitue un progrès par rapport aux méthodes précédentes, reste très approximatif et vise essentiellement à fournir un procédé de dimensionnement plutôt qu'une image du comportement réel.

La conception parasismique au sens propre, responsabilité commune de l'architecte et de l'ingénieur, repose donc en grande partie, et sans doute pour longtemps encore, sur le choix raisonné, à partir des enseignements de l'expérience, des formes et de la structuration du bâtiment, en liaison avec l'adoption de dispositions appropriées pour la construction des éléments et un contrôle rigoureux de l'exécution sur le chantier.

Dans le chapitre suivant, nous allons tenter de s'intéresser à travers une enquête à la perception du parasismique en général par les principaux concepteurs de bâtiments au niveau des BET à savoir l'architecte et l'ingénieur.

Chapitre 4

La perception du parasisme par les bureaux d'études

4. La perception du parasismique par les bureaux d'études

L'application de la norme parasismique a pour but de conférer aux ouvrages un certain niveau de protection vis-à-vis de l'action sismique, qu'elle soit optimisée ou non par la conception de l'ouvrage. Qu'il le sache ou non, l'architecte joue donc un rôle important dans la protection parasismique des bâtiments. Il devrait revendiquer ce rôle et le faire valoir auprès des maîtres d'ouvrage.

C'est la raison pour laquelle nous tentons de nous intéresser dans le présent chapitre à la perception de cette protection par les architectes et les ingénieurs exerçant au sein des bureaux d'études qui ont la fonction de maître d'œuvre chargés de la conception des divers bâtiments publics ou privés et d'en suivre la réalisation dans de nombreux cas.

Il s'agit d'une enquête faite auprès d'un échantillon de professionnels de bureaux d'études intervenant dans différentes régions du territoire national.

Le questionnaire objet de cette enquête (voir annexe 1) dont le contenu est décrit ci-après a été adressé à tout bureau d'études exerçant sur le territoire national capable de prendre des missions de maîtrise d'œuvre de bâtiments publics ou privés. Il a été diffusé à ces destinataires par tous les moyens possibles notamment par le biais des conseils locaux des ordres des architectes (CLOA)

4.1– Présentation de l'enquête auprès des BET

4.1.1 La méthodologie utilisée :

a. Choix des techniques :

Compte tenu de l'objet de l'enquête, le nombre important des bureaux d'études que recèle le secteur de l'habitat en Algérie et leur répartition géographique, nous avons jugé utile de choisir comme technique le questionnaire au moyen d'un sondage dont le contenu est décrit ci-après.

b. Descriptif du questionnaire :

Afin de pouvoir collecter des informations pertinentes qui ont un rapport direct avec notre problématique, notre questionnaire a porté essentiellement sur les éléments suivants :

- La pertinence des questions liées au risque sismique et au parasismique où nous avons veillé à ce que les questions ne soient pas purement d'ordre technique, et

par conséquent éviter que le questionnaire puisse paraître comme une mise à l'épreuve du niveau de connaissances des répondants en matière de parasismique

- Les questions sont à choix multiple : cela aidera les interrogés à y répondre plus facilement que les questions ouvertes et facilitera par la suite le traitement statistique des données.
- La garantie de l'anonymat des réponses à travers le non révélation des informations liées à l'identité des répondants ou de leurs bureaux employeurs.

C. Contenu du questionnaire :

Sur la base des éléments précédemment cités, nous avons tenté d'élaborer un certain nombre de questions qui ont été subdivisées en trois parties :

- **Partie 1** : relative aux données générales sur le répondant et sur le bureau d'études ;
- **Partie 2** : relative aux données et opinions sur le génie parasismique ;
- **Partie 3** : comporte des questions adressées spécifiquement aux directeurs ou aux gérants des bureaux d'études.

Ces deux dernières parties sont clôturées chacune par une question ouverte portant sur les suggestions et les recommandations qui peuvent être formulées par les répondants.

Ce questionnaire est présenté par une introduction explicative de son objectif et de sa portée et comportant l'adresse électronique de son auteur. (Voir annexe).

4.1.2 Présentation de l'échantillon

Nous avons enregistré la réception de 168 questionnaires répartis comme suit :

- 107 questionnaires concernant la fonction d'architecte
- 61 questionnaires concernant la fonction d'ingénieur

Afin de mieux faire parler les résultats statistiques, nous n'avons pas volontairement voulu dissocier ces deux fonctions au niveau du traitement statistique en considérant deux sous échantillons, ce qui nous a permis d'éviter les répétitions dans l'analyse.

4.2 Analyse des données générales sur les répondants et sur les BET.

Moyennant le logiciel SPSS.19 dédié aux statistiques, l'introduction de différentes réponses nous a permis le traitement suivant :

4.2.1 Identification du lieu des études

Le tableau 4.1 ci-dessous montre la répartition géographique des lieux des universités et des écoles dans lesquelles les répondants ont suivi leurs études supérieures en architecture ou en génie civil et bâtiment.

Tableau 4.1 : lieu des études

lieu des études	nature du diplôme		
	Architecte	Ingénieur	Total
Epau Alger	18	0	18
Blida	14	5	19
Oran	10	0	10
Constantine	0	3	3
Laghouat	24	11	35
Mostaganem	9	3	12
Tizi Ouzou	8	2	10
Sétif	9	0	9
Biskra	7	0	7
Tlemcen	4	1	5
Batna	1	0	1
Bejaia	3	0	3
INFORBA	0	8	8
Ecole Polytechnique Alger	0	6	6
USTHB Alger	0	7	7
Tiaret	0	15	15
Total	107	61	168

Dans ce tableau, on peut constater ce qui suit :

a) Pour la profession architecte :

- Toutes les universités et les écoles habilitées à la formation de l'architecture sont représentées à l'exception des universités qui n'ont pas connu de sortie de premières promotions.

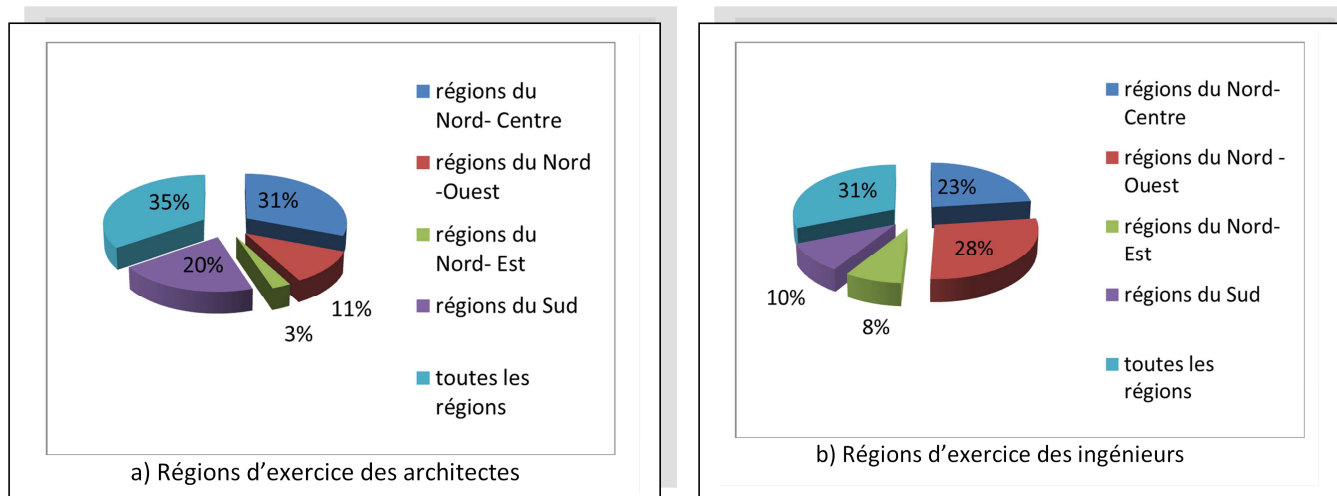
- L'université de Laghouat détient le maximum des participants avec un taux de 22%, cela ne reflète pas une adhésion distinctive à notre enquête par rapport aux autres universités mais il peut s'expliquer simplement par « le porte à porte » et l'effort de sensibilisation personnel rendus possibles grâce à la proximité des BET de la wilaya de Laghouat de notre lieu de résidence.

b) Pour la profession ingénieur :

- En dépit de la faible participation des ingénieurs exerçant au sein des BET à cette enquête, il est à constater que toutes les régions sont représentées ;
- Le taux de participation par lieu des études varie de 2 à 18% ;
- Le taux le plus élevé est détenu par l'université de Laghouat qui est de l'ordre de 18% explicable par les mêmes raisons que celles évoquées pour le cas des architectes.

4.2.2 Région d'exercice de la profession.

En vue d'une meilleure évaluation de la perception du génie parasismique au niveau des BET, nous avons interrogé les architectes et les ingénieurs sur leur régions d'intervention ce qui a donné lieu au *graphique 4.1* représentatif suivant :



Graphique 4.1 : Répartition des régions d'exercice de la profession

Il ressort de ce traitement que toutes les régions du pays sont représentées dans notre échantillon avec des proportions relativement variables. Cette variation n'a pas d'influence sur l'étude étant donné que 80% de ces BET interviennent réellement ou potentiellement dans les régions du nord où la sismicité est classée entre moyenne et forte selon le zonage sismique règlementaire. Ce constat est favorable pour notre objectif puisque la prise en compte du risque sismique dans la construction dans ces régions devrait y être plus rigoureuse.

4.2.3 Expérience professionnelle des architectes et des ingénieurs

Cette question a été introduite pour comparer l'influence de l'expérience capitalisée au niveau des BET sur la prise en compte du risque sismique dans le métier d'une manière général et dans le bâtiment de façon particulière, il ressort de ces réponses *le tableau 4.2* suivant :

Tableau 4.2 : Nombre d'années d'expérience

Nombre d'années d'expérience	nature du diplôme		Total
	Architecte	Ingénieur	
1 à 5 années	32	1	33
6 à 10 années	36	12	48
11 à 15 années	26	23	49
16 à 20 années	12	16	28
plus de 20 années	1	9	10
Total	107	61	168

De ce qui précède, on peut déduire que l'expérience capitalisée par les répondants dans le présent échantillon est largement suffisante pour notre cas d'étude puisque 70% des architectes et plus de 90% des ingénieurs possèdent une expérience entre 6 et 20 années dans le domaine du bâtiment ce qui était souhaitable avant le lancement de l'enquête.

4.2.4 Fonction exercée au sein du BET

Le tableau 4.3 ci-après indique la fonction exercée par les répondants au questionnaire au sein de leur bureaux d'études employeurs afin de mieux distinguer la perception du parasismique entre les directeurs et leur employés.

Tableau 4.3 : Fonction exercée au sein du BET

Fonction	nature du diplôme		Total
	Architecte	Ingénieur	
Directeur/gérant	79	2	81
Employé	28	59	87
Total	107	61	168

Dans le tableau ci-dessus, on remarque que plus de 70% des architectes interrogés gèrent eux même leur bureaux ou ils travaillent en association, ce mode de gestion est généralement le plus répandu au sein de la corporation des architectes privés. Le reste

représente généralement les architectes nouvellement recrutés qui avant de créer leur propres bureaux font un passage au niveau des BET en quête d'expérience et d'apprentissage.

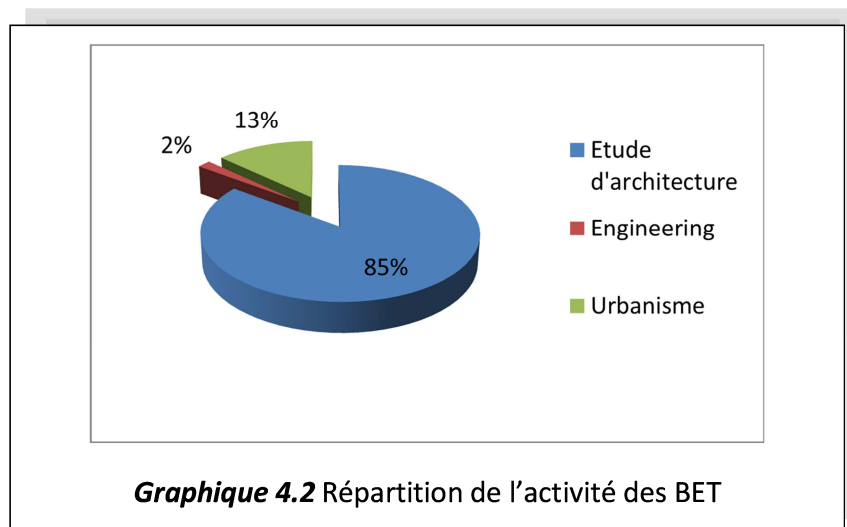
Pour les ingénieurs en génie civil ou en bâtiment, la majorité (plus de 95%) exercent leur métier au sein de bureaux d'étude et de cabinets d'architecture en qualité d'employés permanents ou en qualité de sous-traitants.

4.2.5 Activité principale du BET

Le marché de la maîtrise d'œuvre comprend principalement trois activités :

- Les études d'architectures
- Les études d'engineering
- Les études d'urbanisme.

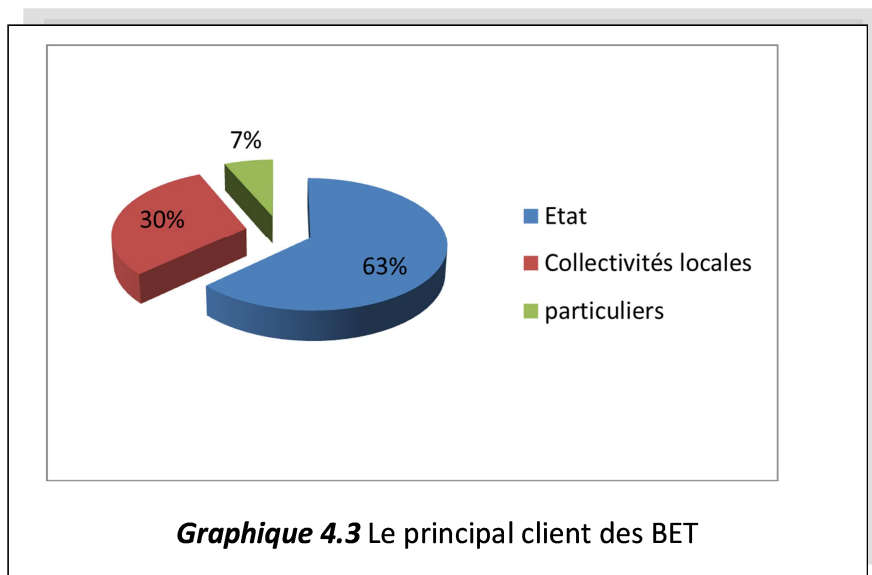
Cette segmentation nous conduit à travers la présente question à connaître la part des deux premières activités qui intéressent notre cas d'étude et d'en estimer la part du marché au niveau national :



La plus importante part du marché actuel est constituée d'études d'architectures avec un taux de 85%, ces études comportent l'ensemble des bâtiments de divers usage (habitation, équipement public etc.) où les études des aspects techniques de solidité des ouvrages notamment dans le contexte sismique et leur suivi en réalisation constituent une partie intégrante de cette activité.

4.2.6 Le principal client

Une question concernant le principal client de ces BET a été introduite dans notre questionnaire en vue de situer la proportion de la commande publique par rapport à la commande privée dans le secteur de l'habitat et de l'urbanisme étant donné qu'en matière de construction parasismique, les ouvrages publics sont plus contrôlés que ceux du secteur privé et de l'autoconstruction. Le résultat est représenté par *le graphique 4.3* suivant :



La lecture du graphique ci-dessus permet de dire que l'Etat et ses services déconcentrés détiennent la proportion la plus élevée en matière de commande publique dans le secteur de la construction (plus de 60%), ce taux se hisse à plus de 90% si on additionne la part des collectivités locales dans ce marché d'études, où rappelons-le, la construction parasismique est rendue obligatoire par l'application des règles RPA.

4.2.7 Les principaux projets

Le tableau 4.4 ci-dessous fait ressortir la répartition des principaux projets qui constituent actuellement le plan de charges des différents BET exerçant sur le territoire national :

Tableau 4.4 : les principaux projets des BET

Type de Projet	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Bâtiments à usage d'habitation	87	51,8	51,8
Equipements publics	59	35,1	86,9
Aménagements	22	13,1	100,0
Total	168	100,0	

87% des projets du plan de charge des BET sont constitués par des bâtiments à usage d'habitation et d'équipements publics avec une nette supériorité pour les bâtiments à usage d'habitation, cela est expliqué par la politique de maximisation et de diversification des programmes de logements (social, LSP, promotionnel, rural etc.) mise en place ces dernières années par les pouvoirs publics répondre à la forte demande et par conséquent atténuer la crise du logement que connaît le pays actuellement.

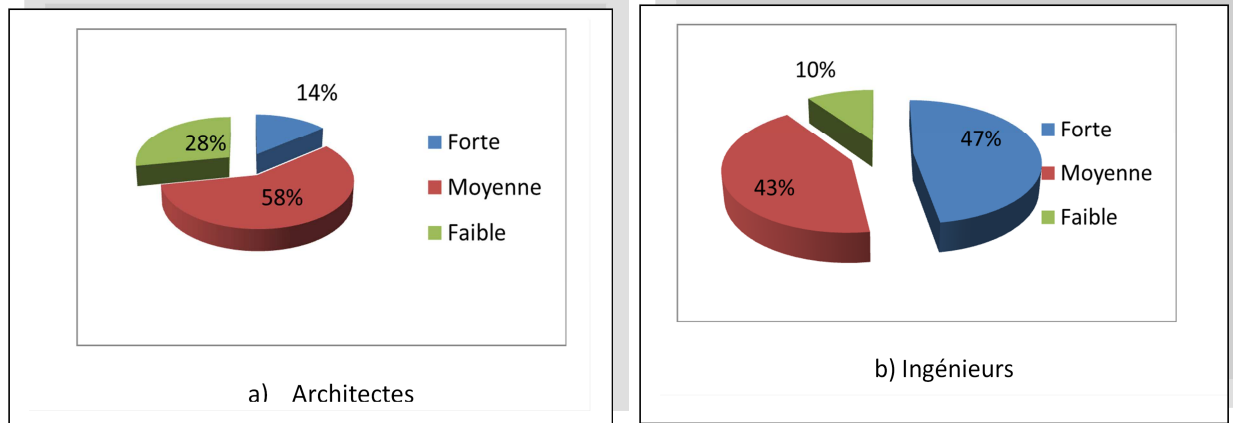
Etant donné que les bâtiments à usage d'habitation et les équipements publics constituent des enjeux potentiellement exposés au risque sismique, ce taux est propice pour les objectifs de notre cas d'étude.

4.3 Analyse des réponses relatives à la protection parasismique

L'analyse suivante synthétise à la fois les informations issues de l'enquête auprès des bureaux d'études et celles des rencontres directes avec des professionnels de la filière de l'acte de construire (maîtres d'ouvrages, Entrepreneurs et contrôleurs techniques)

4.3.1 Prise en compte du risque sismique dans en général

Interrogés sur la prise en compte du risque sismique d'une manière générale dans leur environnement professionnel, les résultats sont comme suit :



Graphiques 4.4 : Prise en compte du risque sismique par les professionnels des BET

De cette répartition, on peut constater :

- **Chez les architectes :** la proportion pour la faible prise en compte de ce risque est significative (graphique 3.4 a) (28 %) contre un faible taux (14%) pour ceux qui déclarent que ce risque est pris en compte de manière forte alors que le taux le plus élevé (58%) correspond à ceux qui estiment que ce risque est pris de manière moyenne (graphique 4.4 a).
- **Chez les ingénieurs :** les taux de 43% et 47% correspondent aux franges d'ingénieurs (graphique 3.4 b) qui estiment que le risque sismique est pris en compte respectivement de manière moyenne et forte alors que uniquement 10% qui considèrent que ce risque est pris de manière faible (graphique 4.4b)

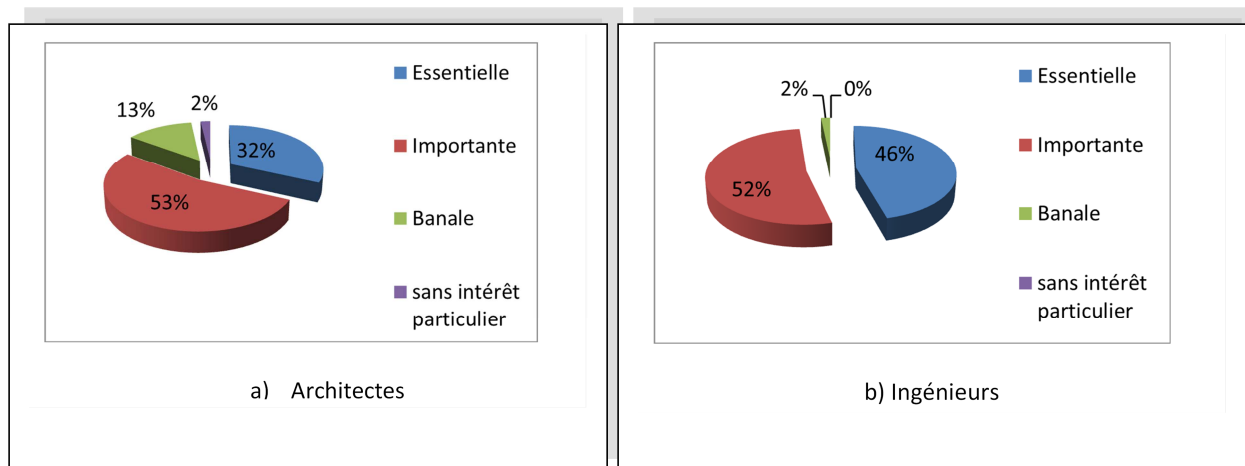
De ce qui précède, on peut observer le net contraste entre les déclarations des architectes et celles des ingénieurs qui peut s'expliquer d'une part par la différence des niveaux de connaissance acquises durant les cursus de formations et d'autre part par la nature des missions qui incombent à chacune des deux professions.

Il reste à souligner qu'un taux non négligeable (plus de 20%) parmi les architectes et ingénieurs qui estiment que le risque sismique est pris de manière faible dans l'exercice de leur activité.

Aussi nous pouvons déduire qu'au niveau de ces BET, le risque sismique n'est pas considéré de la même manière et ce en absence d'une tendance générale favorable à sa prise en considération.

4.3.2 La prise en compte du génie parasismique dans la profession

De même que précédemment, cette question est relative au niveau de la prise en compte du génie parasismique dans l'exercice de la profession d'architecte. Il en résulte la situation suivante :



Graphique 4.5 : Prise en compte du génie parasismique dans la profession

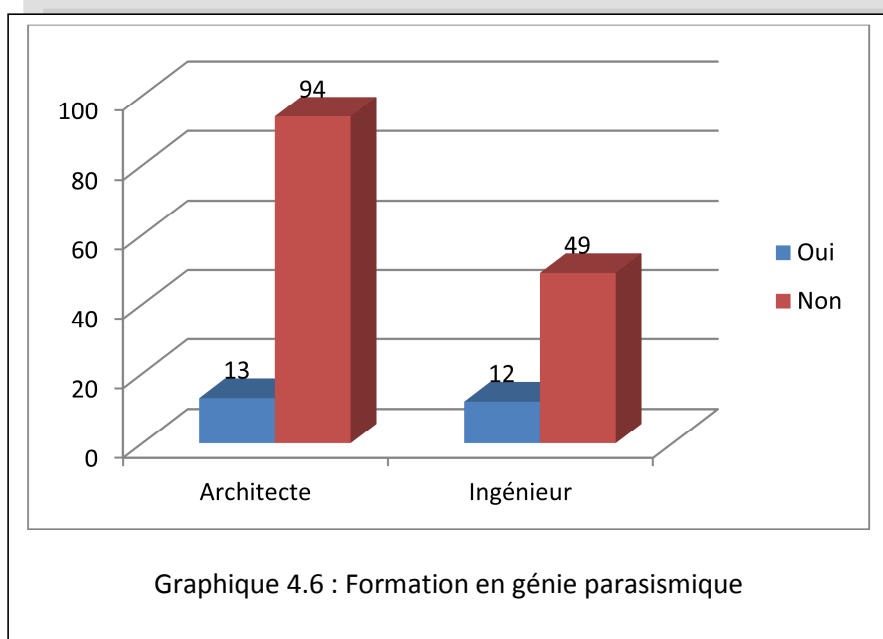
- **Chez les architectes** : un taux cumulé de 85% d'architectes qui qualifient la prise en compte du génie parasismique entre essentielle et importante contre 13% qui considèrent que cette prise en compte est banale et uniquement 2% qui estiment qu'elle n'a pas d'intérêt particulier. (Graphique 4.5 a)
- **Chez les ingénieurs** : les résultats sont sensiblement comparables avec ceux des architectes puisqu'un taux de 98% représente les ingénieurs qui qualifient cette prise en compte d'importante et essentielle. Toutefois ils ne sont pas comparables pour ceux qui considèrent que cette prise en compte est banale voire sans intérêt. (graphique 4.5 b)

Malgré ces résultats qui montrent une tendance généralement favorable à la prise en considération du parasismique, il demeure que le taux cumulé avoisinant les 16% représentant les architectes qui qualifient la prise en compte du génie parasismique de banal et sans intérêt, soit relativement significatif.

4.3.3 Formation en génie parasismique

Afin de nous permettre d'estimer les BET dont les architectes et ingénieurs ont suivi des formations ayant un rapport étroit avec le risque sismique notamment le génie

parasismique, une question a été posé à notre échantillon dans ce sens et qui a donné les résultats représentés par *le graphique 4.6* suivant :



Il ressort du graphique ci-dessus que la majorité des cadres qui exercent au sein des BET soit plus 87% des architectes et plus de 80% des ingénieurs n'ont pas suivi des formations en génie parasismique leur permettant de parfaire leur connaissance en la matière et par conséquent assurer une bonne application de règles parasismiques et surtout garantir une bonne conception des ouvrages capables d'optimiser la résistance aux séismes. En effet, un taux global pour les deux professions s'élevant à plus de 85% correspond à ceux qui n'ont pas à leur actif des formations post diplôme dans le domaine du parasismique.

Nous estimons que ce taux est généralisable à l'ensemble de la corporation de ces deux métiers et reflète fidèlement la situation qu'occupe la formation parasismique notamment dans le milieu professionnel des architectes.

Nous considérons aussi que ce résultat est alarmant et par conséquent nécessite un approfondissement dans la recherche des véritables raisons qui ont conduit à cette situation en dépit d'un risque sismique omniprésent notamment dans les régions du nord du pays.

Après cette question, une autre venait consécutivement d'être posée concernant les raisons qui ont fait que ces BET n'ont pas eu de formation dans ce domaine. Les résultats sont représentés dans *le tableau 4.5* suivant :

Tableau 4.5 : Raisons qui ont fait que les BET n'ont pas suivi des formations en parasismique

Raisons qui ont fait que les BET n'ont pas suivi de formations PS	nature du diplôme		
	Architecte	Ingénieur	Total
Manque de temps	13	4	17
Pas d'intérêt	2	0	2
Absence d'opportunités de formation	79	45	124
Total	94	49	143

Nous notons que presque tous les architectes et les ingénieurs interrogés qui n'ont pas suivi une formation en parasismique imputent cette carence au manque voire à l'absence d'opportunités de formation dans ce domaine (presque 87%).

Pour ceux qui ont eu l'occasion de suivre ce genre de formation, une question leur a été posée en vue savoir le type et le niveau de satisfaction des formations subies, les résultats sont représentés dans *les tableaux 4.6 et 4.7* suivants :

- **Type de formation :**

Tableau 4.6 : Type de formation

Type de formation	nature du diplôme		
	Architecte	Ingénieur	Total
Formation de courte durée	5	5	10
Séminaire	8	7	15
Total	13	12	25

- **Niveau de satisfaction :**

Tableau 4.7 : Niveau de satisfaction de la formation

Niveau de satisfaction de la formation	nature du diplôme		
	Architecte	Ingénieur	Total
Satisfait	11	9	20
Non satisfait	2	3	5
Total	13	12	25

De ces deux tableaux, on peut tirer les constatations suivantes :

- Inexistence totale dans notre échantillon de personnes ayant suivi une formation de longue durée dans ce domaine ce qui est pour notre cas d'étude un élément éclairant de l'état des lieux de la formation parasismique en milieu professionnel particulièrement celui des architectes.
- Le peu de formation suivi sont dans la majorité des cas des séminaires et des journées d'études ;
- Les ingénieurs sont plus habitués à ce genre de formation (séminaire et de formation de courte durée) que les architectes, un taux de 20% contre le taux de 12% ;
- Parmi ceux qui ont suivi ce genre de formation, 80% déclarent avoir été satisfaits de ces formations.

4.3.4 Niveau de connaissance des objectifs de la réglementation parasismique

La série suivante de questions a été posée dans le but d'avoir une idée globale sur l'état de connaissances de base du génie parasismique. A ce sujet nous n'avons pas voulu étendre cette série de questions aux aspects purement techniques relatives aux comportements des constructions sous séisme ou aux causes des dommages et ce pour que notre questionnaire ne soit pas perçu comme une mise à l'épreuve des répondants dans cette discipline et par conséquent éviter toute interprétation subjective qui conduira éventuellement à des refus de participation à cette enquête.

Ainsi la question relative à la connaissance des objectifs de la réglementation comporte quatre sous questions dont les réponses se résument comme suit :

a- Objectif 1 des règles parasismiques : (Eviter les désordres graves ?)

Tableau 4.8 : Objectif 1(Eviter les désordres graves)

Objectif 1 : Eviter les désordres Graves	nature du diplôme		
	Architecte	Ingénieur	Total
Vrai	96	54	150
Faux	11	7	18
Total	107	61	168

Malgré l'évidence de la réponse à cette question, on constate que 10 % des répondants architectes et ingénieurs confondus croient que parmi les objectifs des règles parasismiques figure celui de ne pas éviter les désordres graves que peut subir un bâtiment lors d'un séisme. (Tableau 4.8)

Si on analyse séparément les réponses, on constate que chez les ingénieurs ce taux est de 11% comparable à celui des architectes (10%) alors qu'il devrait être le plus réduit possible puisque les ingénieurs de par leurs missions au sein des BET utilisent plus la réglementation parasismique que les architectes et par conséquent connaître mieux que ces derniers ses objectifs. Ce même résultat inattendu peut trouver son explication dans le fait que la réponse de cette frange d'ingénieurs est juste (c'est-à-dire répondre par faux) dans le cas où il a été précisé que le séisme est destructeur.

b- Objectif 2 des règles parasismiques (Eviter tout désordre ?)

Tableau 4.9 : Objectif 2 (Eviter tout désordre)

Objectif 2 : Eviter tout désordre	nature du diplôme		
	Architecte	Ingénieur	Total
Vrai	51	20	71
Faux	56	41	97
Total	107	61	168

Malgré la bonne prestation des répondants sur la question de l'objectif 1 (Presque 90% de réponses justes), la réponse à cette deuxième question relative à l'objectif 2 des règles parasismiques semble être mitigée où les bonnes réponses représentent sont uniquement 52% pour les architectes et 68% pour les ingénieurs. Les réponses fausses représentent donc une moyenne pour les deux profils qui est de l'ordre de 43% ce qui nous semble particulièrement élevé.

c- Objectif 3 des règles parasismiques : (Garantir le non effondrement des ouvrages)

Tableau 4.10: Objectif 3 (Garantir le non effondrement des ouvrages)

Objectif 3 : Garantir le non effondrement des ouvrages	nature du diplôme		
	Architecte	Ingénieur	Total
Vrai	79	58	137
Faux	28	3	31
Total	107	61	168

La réponse à cette question semble être bien comprise par les répondants notamment les ingénieurs puisque les bonnes réponses sont de l'ordre de 74 % pour les architectes et de 95 % pour les ingénieurs. Toutefois ceux qui n'ont pas répondu correctement représentent une partie relativement significative notamment pour les architectes étant donné qu'il s'agit d'un principe sur lequel se base la philosophie des codes parasismiques.

d- Objectif 4 des règles parasismiques :(Garantir la sauvegarde de toutes les personnes).

Tableau 4.11:Objectif4 (Garantir la sauvegarde de toutes les personnes)

objectif 4:Garantir la sauvegarde de toutes les personnes	nature du diplôme		
	Architecte	Ingénieur	Total
Vrai	88	55	143
Faux	19	6	25
Total	107	61	168

Les réponses correctes à cette question représentent respectivement 83% et 90% pour les architectes et les ingénieurs mais le reste (réponse fausses) peut étayer malgré sa faible proportion l'hypothèse et les constats précédents relatifs au niveau de connaissance de base de la réglementation parasismique, de sa philosophie et de ses objectifs.

Cette analyse nous pousse d'avantage à essayer de corréler les réponses correctes issues de ces quatre questions concernant les objectifs des règles parasismiques (a, b, c et d) précédemment analysées avec les résultats relatifs à la formation en parasismique ce qui a donné le résultat représenté par le *tableau 4.12* suivant :

Tableau 4.12 : Formation PS et les réponses correctes.

Rappel de l'objectif	Nombre de cadres qui ont bénéficié de formation en PS et les réponses correctes				Total		Taux
	Ingénieur	Nbre de réponses correctes	Architectes	Nbre de réponses correctes	Nbre des cadres	Nbre de réponses correctes	
Eviter les désordres graves	12	11	13	12	25	23	92%
Eviter tout désordre		12		12		24	96%
Garantir le non effondrement des ouvrages		12		12		24	96%
Garantir la sauvegarde de toutes les personnes		11		11		22	88%

Au moyen de cette corrélation, on remarque que parmi les ingénieurs et les architectes exerçant au sein des BET et ceux qui ont bénéficié d'une formation en parasismique quel qu'en soit la nature ont répondu presque totalement (plus de 90%) de façon correcte à ces questions basiques, ce qui explique clairement l'effet de la formation sur cette discipline et sur la compréhension de la philosophie des règles parasismiques.

4.3.5 Construction et règles parasismiques :

Deux questions d'ordre général ont été posées dans la rubrique concernant la résistance des constructions aux séismes et l'apparition des dommages structuraux pour celles qui sont calculées selon les règles parasismiques et dont la mise en œuvre avait été jugée correcte. Les réponses à ces questions sont traitées dans les deux tableaux suivants

a- Effet 1 : Résistance sans effondrement

Tableau 4.13: Effet 1(Résistance sans effondrement à tous les séismes destructeurs)

Effet 1: Censée résister sans s'effondrer à tous les séismes destructeurs	nature du diplôme		Total
	Architecte	Ingénieur	
Vrai	85	34	119
Faux	22	27	49
Total	107	61	168

b- Effet 2 : Absence de dommages structuraux

Tableau 4.14 : Effet 2 (Dommages structuraux)

Effet 2: N'est pas censée subir des dommages structuraux	nature du diplôme		Total
	Architecte	Ingénieur	
Vrai	81	35	116
Faux	26	26	52
Total	107	61	168

Pour ces deux questions, nous enregistrons uniquement une moyenne de 30% de réponses correctes pour les deux profils avec une nette différence en faveur des ingénieurs. Ce résultat paraît paradoxal compte tenu des taux de bonnes réponses aux questions

précédentes, ce qui nous laisse à ce stade d'analyse affirmer d'avantage l'insuffisance en matière de connaissances en parasismique notamment pour les architectes.

De même que précédemment observé, nous allons voir au travers *le tableau de synthèse 4.15* ci-dessous l'effet de la formation sur ces résultats:

Tableau 4.15: Formation PS et les réponses correctes

Rappel de la question	Nombre de cadres qui ont bénéficié de formation en PS et les réponses correctes				Total		Taux
	Ingénieur	Nbre de réponses correctes	Architecte	Nbre de réponses correctes	Nbre de cadres	Nbre de réponses correctes	
Censée résister sans s'effondrer à tous les séismes destructeurs	12	11	13	11	25	22	88%
N'est pas censée subir des dommages structuraux		11		10		21	84%

Il ressort de ce tableau que pratiquement tous les interrogés qui ont bénéficié de formation complémentaire en parasismique ont donné de réponses correctes à ces deux question dont, rappelons-le, les réponses incorrectes représentait un taux de 70% de notre échantillon.

4.3.6 Créativité en matière d'expression architecturale et réglementation parasismique.

Cette question est relative au rapport de la conception parasismique à la créativité en matière d'expression architecturale, elle vise à savoir si la réglementation parasismique, notamment l'aspect conceptuel limite la créativité dans la production des œuvres architecturales. Le résultat se présente selon notre enquête comme suit :

Tableau 4.16 : Limitation de la créativité en matière d'expression architecturale

Limitation de la créativité en matière d'expression architecturale	nature du diplôme		
	Architecte	Ingénieur	Total
Vrai	71	32	103
Faux	36	29	65
Total	107	61	168

66% des architectes et 52% des ingénieurs interrogés croient que la réglementation et la conception parasismique constituent des contraintes dans l'expression artistique des formes, des choix de structures et de matériaux.

En effet dans une question ouverte qui suit la précédente demandant des justifications pour ceux qui ont cette conviction, la majorité des réponses ont porté sur les raisons suivantes :

- Limitation dans les formes (configuration en plan et hauteur) ;
- Limitation sur le choix des structures ;
- Limitation sur les matériaux de construction ;
- La présence des voiles.
- Le surdimensionnement sections.

Nous considérons ce résultat comme une « idée reçue » qu'il importe de corriger au travers de programmes de formations parasismiques destinés aux élèves architectes et ingénieurs durant leur cursus ainsi qu'aux architectes exerçants au sein des BET à l'occasion des formations complémentaires.

4.3.7 Construction parasismique et surcoûts

Deux questions ont été posées dans le but est de savoir si la construction parasismique notamment celle visant à savoir si la construction neuve induit des surcoûts significatifs sur le budget de la construction et quelle pourrait être l'estimation de ce surcoût par rapport au montant de la construction. Les réponses de notre échantillon sont représentées respectivement dans *le tableau 4.17* et *le tableau 4.18* dressés ci-dessous :

Tableau 4.17 : Surcoûts de la construction parasismique

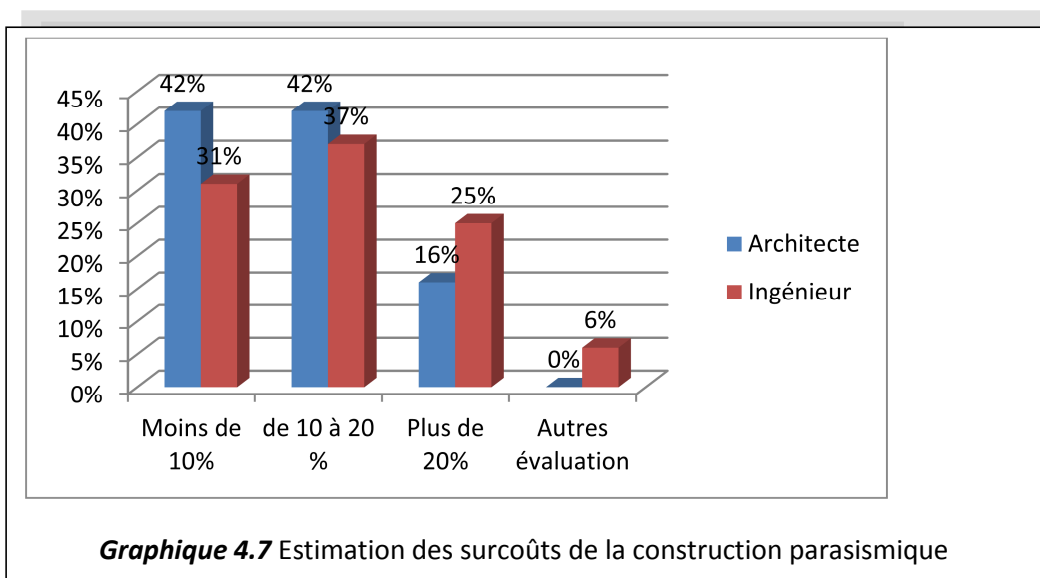
Surcoûts de la construction parasismique	nature du diplôme		
	Architecte	Ingénieur	Total
Vrai	76	32	108
Faux	31	29	60
Total	107	61	168

Sur cette question on constate que 71% des architectes et 52% des ingénieurs considèrent que le fait de construire parasismique induit forcément des surcoûts. Ces taux sont significatifs du nombre important d'architectes et d'ingénieurs qui exercent avec cette

fausse idée qui peut constituer comme la précédente un obstacle dans la création et les choix des constructions alors qu'il est montré que le génie parasismique ne limite pas la créativité architecturale qui tient compte du comportement favorable des structures face aux séismes et cela sans incidence financière particulière .

Tableau 4.18: Estimation des surcoûts

Estimation des surcoûts	nature du diplôme		
	Architecte	Ingénieur	Total
Moins de 10%	32	10	42
de 10 à 20 %	32	12	44
Plus de 20%	12	8	20
Autres évaluation plus précise	0	2	2
Total	76	32	108



Ce dernier tableau (4.18) et le graphique qui en résulte montrent en plus de la réponse précédente, l'estimation jugée excessive des surcoûts qui peuvent être engendrés par la construction parasismique.

Ceci, ne peut que corroborer l'hypothèse de la méconnaissance des bases de la construction parasismique par la majorité des architectes et d'ingénieurs qui travaillent dans les BET.

4.3.8 Dommages sismiques et conformité aux règles RPA

Dans le même ordre des questions précédentes, nous avons essayé d'avoir une idée sur l'opinion que se font les cadres des BET des dommages sismiques constatables sur les

bâtiments après un séisme, c'est-à-dire de savoir s'ils sont en général la conséquence ou non d'une mauvaise application des RPA voire une non observation partielle ou totale des prescriptions qui y sont édictées.

La réponse de notre échantillon se présente sur *le tableau 4.19* suivant :

Tableau 4.19 : Les dommages sismiques sont généralement conséquence d'une non-conformité aux RPA

Les dommages sismiques sont généralement conséquence d'une non-conformité aux RPA	nature du diplôme		
	Architecte	Ingénieur	Total
Vrai	84	38	122
Faux	23	23	46
Total	107	61	168

Presque 80% des architectes et plus de 62% des ingénieurs interrogés déclarent que les dommages sismiques causés au niveau des bâtiments après un séisme sont la conséquence d'une non-conformité avec les règles RPA en vigueur or les expertises postes sismiques révèlent des causes autres que celles qui puissent être le résultat d'une non-conformité directe avec ces règles, On peut citer à titre d'exemple :

 **En Architecture :**

- Ailles, volumes en saillie ou retrait d'étage ;
- Bâtiment de largeur ou de profondeur variable ;
- Hauteur importante par rapport à la plus petite dimension horizontale
- Présence de « niveaux souples » ;
- Présence ou effets de poteaux courts.
- Bâtiments reliés par des passerelles ou par des escaliers ;
- Toitures lourdes ;
- Changement brutal de section.

 **En Structure :**

- Distribution asymétrique des éléments de contreventement ;
- Absence ou mauvaise exécution de joints entre deux bâtiments ;
- Hétérogénéité des éléments structuraux ;
- Mauvais état de conservation.



En adéquation avec la nature du sol :

Les dommages sont élevés sur les sols hétérogènes ou meubles, les alluvions ou argiles meubles et remblais peu consolidés sont les plus dangereux.



Environnement bâti (Immeubles voisins) :

- Constructions mitoyennes
- Constructions séparées par des joints inférieures à la largeur requise
- Construction voisine à une distance inférieure à sa hauteur.

En plus de ces facteurs, d'autres causes telles que les effets lithologiques (amplification du mouvement sismique par un sol meuble ou par effets de relief) peuvent être à l'origine de dommages sismiques importants.

A une question ouverte qui complète la précédente, posée en vue de connaître les autres causes, nous avons obtenu des résultats disparates comme suit :

- 50% abstention de réponses.
- 23% des répondants imputent les causes des dommages sismiques à l'exécution et à la non qualification du personnel exécutant ;
- 27 % imputent les causes des dommages sismiques à la mauvaise qualité du suivi et de contrôle sur chantier.

4.3.9 Qualification de l'entreprise de réalisation pour l'application des RPA

Cette question vise à connaître l'avis des architectes et des ingénieurs des BET qui ont la charge de par leur missions contractuelle de suivre leur projets durant l'exécution sur les entreprises de réalisation particulièrement en matière de qualification de leur personnel technique pour l'application des règles parasismiques algériennes (RPA). Le résultat est présenté dans le tableau 4.20 suivant :

Tableau 4.20 : Encadrement des entreprises pour l'application des RPA

Encadrement des entreprises pour l'application des RPA	nature du diplôme		
	Architecte	Ingénieur	Total
Vrai	1	0	1
Faux	106	61	167
Total	107	61	168

La quasi-totalité des architectes et ingénieurs interrogés affirme que les entreprises de réalisations de bâtiments ne sont pas bien encadrées pour l'application des RPA.

Cette unanimité (presque 100%) reflète une autre problématique qui accentue celle de l'insuffisance de la formation parasismique des concepteurs (architectes et ingénieurs) à savoir la carence de l'encadrement technique au niveau des entreprises capable d'appliquer sans faille les dispositions parasismiques qui figurent dans les RPA.

Les mêmes répondants estiment en majorité pour la question ouverte qui découle de cette dernière que ces entreprises doivent, pour être en mesure d'appliquer les règles parasismique en vigueur, se doter de :

- Un personnel d'exécution qualifié
- la compétence de leurs cadres techniques dans ce domaine
- la formation dans ce domaine
- l'encadrement des chantiers par des ingénieurs etc.

Nous considérons à la lumière de cette double question qu'une incohérence se profile dans les réponses de la majorité de notre échantillon sur le volet formation en parasismique puisque les mêmes répondants reconnaissent cette insuffisance au niveau de leur propres carrières.

En fin de la deuxième partie de notre sondage, l'exploitation des résultats obtenus après la lecture des réponses à une question portant sur les recommandations des répondants a donné lieu aux principaux résultats suivants :

- la qualification et la formation du personnel des entreprises ;
- la rigueur dans le contrôle par les organismes habilités.

Ces suggestions nous paraissent insuffisantes étant donné que ces cadres ne semblent pas être très soucieux à la question relative à la conception architecturale et ses vertus avérées dans la sécurisation des constructions à l'égard des séismes puisqu'ils n'ont pas suggéré des actions visant à améliorer leurs connaissances en matière de génie parasismique en général et en conception parasismique des bâtiments en particulier.

4.4 Analyse des réponses aux questions destinées uniquement aux directeurs des BET

4.4.1 Formation des employés :

Cette question a été posée aux responsables des BET pour connaître le nombre d'employés qui ont reçu une formation en génie parasismique, le résultat est présenté dans le *tableau 4.21* suivant :

Tableau 4.21 : Formation des employés du BET

Fonction exercée au sein du BET Directeur/gérant	Formation des employés du BET		
	Oui	Non	Total
	9	72	81
Total	9	72	81

Parmi les 81 responsables des BET de notre échantillon, 9 seulement déclarent que parmi les effectifs de leur bureaux d'études, figurent des cadres qui ont bénéficié de formation en parasismique soit un taux de 11%. Cela représente un taux très faible par rapport aux exigences de la protection parasismique dans le contexte sismique propre de l'Algérie. Ce résultat est conforme statistiquement au résultat figurant dans le *graphique 4.6* précédent.

Pour les répondants par non (absence de cadres formés en parasismique), une question a été posée concernant le fait s'ils envisagent de mener ce type de formation au bénéfice de leur personnel. Le résultat de l'exploitation de cette question se présente comme suit :

Tableau 4.22 : Intention de Formation en PS des employés des BET

Fonction exercée au sein du BET	Formation des employés du BET (intention)		
	Oui	Non	Total
Directeur/gérant	62	10	72
Total	62	10	72

Sur les 72 responsables qui n'ont pas de personnel formé en parasismique, 62 envisagent de mener ce type de formation dans le futur soit un taux de 86% ce qui à notre sens très intéressant s'ils arrivent réellement à concrétiser cet objectif à travers les opportunités d'offres de formations dans ce domaine. Cela dénote aussi l'intérêt qu'accordent les responsables des différents BET à cette discipline.

Nous pouvons juger en outre que cet intérêt demeure juste au niveau de l'intention puisque nous n'avons pas constaté au cours de notre enquête des actions palpables en matière de formation parasismique envisageables par ces responsables ou leur employés. Les chiffres précédemment donnés en témoignent.

Dans le même ordre de question, nous sommes revenus à ceux qui ont déclaré l'existence au sein de leur personnel d'employés ayant déjà bénéficié de ce type de formation en vue de savoir s'ils pensent la poursuivre:

Tableau 4.23 : Intention de poursuite de la formation en PS pour les employés

Formation des employés du BET (effectuée)	Poursuite de formation pour les employés	
	Oui	Total
Oui	9	9
Non	4	4
Total	13	13

Les neufs directeurs de BET qui ont déclaré précédemment l'existence de cardes formés en parasismique au sein de leur effectifs ont répondu par l'affirmative pour poursuivre ce type de formation soit un taux de 100%(tableau 4.23), ce qui consolide la valeur de cette formation et ses vertus directes sur la qualité des projets étudiés, et par conséquent sur la protection parasismique en général but de notre étude.

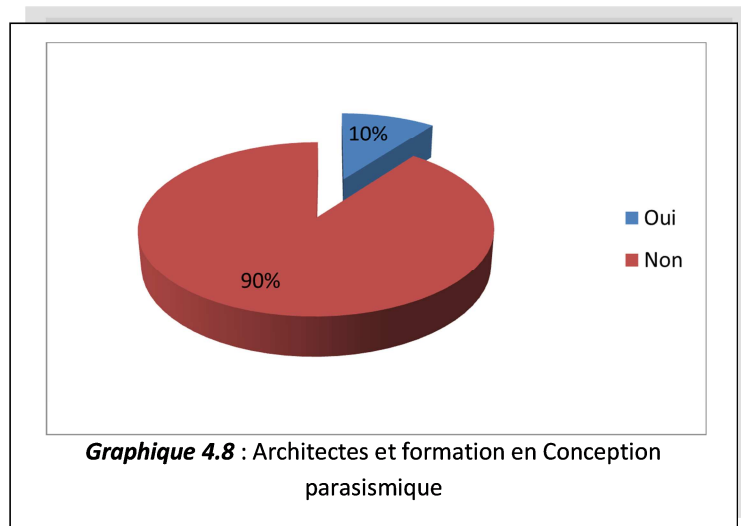
Une autre question enchaîne la précédente afin de connaître les catégories de personnel jugées les plus rentables en cas de formation en parasismique. Les réponses se présentent comme suit :

- 31% jugent uniquement l'intérêt de ce type de formation pour les architectes ;
- 31% jugent uniquement l'intérêt de ce type de formation pour les ingénieurs ;
- 8% jugent uniquement l'intérêt de ce type de formation pour les techniciens ;

- 15% jugent uniquement l'intérêt de ce type de formation pour les architectes et ingénieurs ;
- 15% jugent uniquement l'intérêt de ce type de formation pour les trois catégories de personnel.

4.4.2 Architecture et conception parasismique

Avant de donner à l'ensemble des répondants la possibilité de s'exprimer à travers une question ouverte portant sur les recommandations et les suggestions qui peuvent améliorer la prise en compte du génie parasismique dans leurs activités, une question pertinente a été destinée exclusivement aux architectes leur demandant s'ils estiment qu'ils sont suffisamment formés en conception parasismique des bâtiments. *Le graphique 4.8* suivant présente bien les réponses de notre échantillon:



Ce résultat illustre la situation alarmante qui résulte de la reconnaissance par les architectes concepteurs eux même de leur insuffisance en matière de conception parasismique, si on considère qu'effectivement seulement les 10% d'architectes concepteurs ont réellement ce potentiel.

A ce sujet, il est démontré que la conception architecturale joue un rôle au moins aussi important que l'application des règles parasismiques. Le comportement d'un ouvrage sous séisme est pratiquement déterminé en amont des règles, car c'est au moment de l'esquisse qu'on fixe la géométrie (donc la répartition des masses et des éléments rigides), ainsi que le type de structure et, par-là, son mode de fonctionnement sous charges sismiques. L'architecte doit par conséquent posséder dans le domaine parasismique un bagage de

connaissances solide. Ce bagage doit lui permettre d'opérer, en amont des calculs, des choix qui assureront à la construction projetée des conditions optimales de résistance aux séismes, car il « doit » à son client un travail sur mesure irréprochable.

Par ailleurs, une conception des bâtiments rationnelle permet de maintenir le coût de leur protection sismique à un niveau relativement faible. La protection des ouvrages dont l'architecture n'est pas favorable à la résistance aux séismes fait envoler les coûts.

4.4.3 Suggestions et recommandations des répondants

A la fin de notre enquête, une question ouverte est posée aux différents interrogés pour leur permettre de s'exprimer en donnant des suggestions et de recommandations sur la prise en compte du génie parasismique dans leur activité. La lecture approfondie des réponses nous a permis de résumer par ordre de priorité les recommandations et les suggestions émises par ceux qui ont réellement répondu à cette question qui se totalise à presque 70% de l'effectif de notre échantillon. Ces recommandations peuvent être

Synthétisées comme suit :

- Assurer plus de contrôle sur les chantiers de construction ;
- Exiger plus de qualification aux entreprises de réalisation ;
- Assurer un contrôle qualité sur les matériaux de construction ;
- Associer des experts en parasismique dans le choix des conceptions.

4.5 Etat des lieux sommaire de l'enseignement du parasismique dans le cursus universitaire des architectes et ingénieurs.

Après l'analyse précédente, et pour pouvoir mieux comprendre et par la suite tenter d'expliquer les lacunes décelées par notre enquête, nous avons essayé de voir la part qu'occupe l'enseignement parasismique dans la formation actuelle des architectes et ingénieurs durant leur cursus universitaires

4.5.1 Programme des architectes :

L'examen du contenu des différents modules du programme de l'enseignement de l'architecture selon le *tableau 4.24 ci-après*, durant les cinq années universitaires nous a permis de relever les constats suivants :

- Aucune matière dédiée à l'enseignement parasismique ne figure sur ce programme durant tous le cursus ;
- Si on suppose que les matières du génie civil dispensés aux architectes figurant sur le tableau ci-dessous touchent des aspects parasismiques même de façon marginale, leur volume horaire est infiniment insignifiant par rapport au volume total soit 462 heures sur un total des cours de 5130 heures (environ 10%).

Tableau 4.24 : Matières du génie civil enseignées aux architectes.

Matière du génie civil	Volume horaire annuel	Niveau
Construction 1 et construction 2	84h	1 ^{ère} année
Résistance des matériaux 1	42h	2 ^{ème} année
Structure 1 et construction3	84h	3 ^{ème} année
Résistance des matériaux 2	84h	3 ^{ème} année
Structure 2 et structure 3	84h	4 ^{ème} année
Construction spéciales	42h	5 ^{ème} année
Structures spéciales	42h	5 ^{ème} année
Total	462h	

Ce taux est jugé très insuffisant compte tenu des exigences de la profession d'architecte dans le domaine de la conception de bâtiments et leur structure.

4.5.2 Pour les ingénieurs :

L'examen approfondi du programme actuel d'enseignement du génie civil de l'option dite constructions civile et industrielle du cycle long ingénieur nous a permis de constater que le génie parasismique n'est que très peu abordé puisqu'ils n' existent que trois chapitres (Notions de sismologie, méthodes de calcul sismique et la réglementation parasismique Algérienne) dans le module de la dynamique des structures dispensée en 4^{ème} année uniquement.

En effet malgré la richesse du programme destiné aux ingénieurs en matière de résistance des matériaux, élasticité, structure, béton armé, géologie et mécanique des sols, nous jugeons que ce programme est très insuffisant pour mieux appréhender la complexité du comportement des bâtiments soumis à une sollicitation sismique.

4.5.3 Autres Formations post diplôme.

Les universités algériennes, les écoles d'ingénieurs et d'architecture n'offrent actuellement aucune formation de longue durée post diplôme destinés à une spécialisation ou à un perfectionnement dans le domaine du parasismique au profit des professionnels du bâtiment. Cette situation constitue une lacune dans le processus de la prévention du risque sismique où l'information et la formation dans cette discipline devraient être considérées comme des actions ayant le même niveau de pertinence que les autres actions de prévention tels que la préparation aux secours, les études de zonage et de microzonation sismique etc.

Toutefois, il faut noter que les professionnels interrogés dans le cadre de notre enquête et qui ont bénéficié d'une formation en parasismique sont ceux parmi les architectes et ingénieurs qui ont pu suivre des formations de courte durée initiées principalement par le centre de recherche en génie parasismique (CGS) , l'organisme de contrôle technique des constructions (CTC) dans le cadre des formations internes et distinctivement l'université des sciences et de technologie Houari Boumediene (USTHB) dans le cadre des short courses initiés par le laboratoire LBE du département du génie civil .

Pour ce qui est des colloques, séminaires et les journées d'études sur le parasismique, ils sont organisés de temps à autre principalement par le CGS, le CTC et à un degré moindre par quelques universités.

4.6 Conclusion

Nous avons pu constater à travers cette étude certaines carences, insuffisances et même incohérences dans la culture parasismique des acteurs de la construction concernés directement par la conception des ouvrages en l'occurrence les architectes et les ingénieurs exerçant dans les bureaux d'études à travers le territoire national. Elle a pu mettre en exergue aussi les besoins en formation en parasismique au profit essentiellement de ces professionnels aux fins d'une conception parasismique adéquate des bâtiments et une meilleure application des règles parasismiques algérienne en vigueur. En effet, la formation universitaire actuelle des architectes n'aborde que de façon allusive les règles spécifiques de construction en zone sismique. Les architectes laissent généralement aux ingénieurs le soin de concilier leurs œuvres avec les calculs au moment du dimensionnement ce qui est qualifié en parasismique (chapitres précédents) de mauvaise démarche qui peut avoir de graves conséquences et occasionner des surcoûts importants.

Recommandations

Au terme de cette étude, un certain nombre d'actions peuvent être recommandées qui viennent s'ajouter aux actions actuellement menées par les pouvoirs publics en matière de prévention et qui concourent à renforcer le système de réduction du risque sismique en Algérie.

Ces actions touchent les aspects suivants :

1. Formation ; information et connaissance du risque ;
2. Amélioration de la prise en compte du risque sismique dans la construction ;
3. Concertation, coopération et communication entre les différents acteurs du risque

Les tableaux (5.1), (5.2) et (5.3) synthétisent respectivement ces trois volets d'actions :

Tableau 5.1 : Actions de Formation, information et connaissance du risque

Domaine	Action
Formation	<ul style="list-style-type: none"> - Enquête sur l'état des lieux des formations existantes en génie parasismique (éducation nationale, formation professionnelle ; enseignement supérieur ...) ; - Elaboration de programmes de formation et de recyclage en parasismique destinés à tous les niveaux ; - Renforcement et encouragement des formations existantes ; - Formation spécifique adaptée aux services publics (services de l'Etat, collectivités locales etc.) adaptable selon leur besoin. - Révision des programmes d'enseignement des architectes et ingénieurs en génie civil (prévoir un semestre ou deux durant les deux dernières années du cursus universitaire consacrés exclusivement au génie parasismique).
Information	<ul style="list-style-type: none"> - informer le public et les professionnels des textes législatifs régissant la gestion des risques majeurs en général, le risque sismique en particulier ; - Vulgariser l'application des règles parasismique RPA notamment pour les autoconstructeurs ; - Doter les collectivités locales de documents d'information sur l'aléa sismique (zonage, microzonage et réglementation) ;

Connaissance du risque	Connaissance scientifique locale du risque	<ul style="list-style-type: none"> - micro zonage sismique des villes de forte sismicité ; - Elaborer les éléments de prise en compte du risque sismique dans l'aménagement du territoire et notamment de porter à connaissance dans les documents d'urbanisme ; - Garantir la qualité scientifique des PPR sismiques - Rédiger les cahiers des charges conformes aux PPR et donner les moyens aux techniciens de l'Etat et des collectivités locales leur permettant de suivre et d'évaluer ces études.
	Capitalisation de la connaissance	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en place de la base de données des caractéristiques du bâti, des diagnostics et renforcements s'y rapportant ; - Suivre les évolutions dans le domaine du génie parasismique ; - Permettre un accès facile à la réglementation ; - Mettre en place le suivi local des diagnostics et renforcement du bâti s'y rapportant.
	Compréhension de l'aléa et du risque	<ul style="list-style-type: none"> - cartographie de failles majeures caractérisées en surface ou en profondeur ; - prospection géologique et observation in situ des paramètres physiques ; - Modélisation, interprétation des séismes, prévision des amplitudes et les conséquences ; - Densification du réseau de surveillances

Tableau 5.2 : Actions pour l'amélioration de la prise en compte du risque sismique dans la construction

Domaine	Action
Règlementation parasismique	<ul style="list-style-type: none"> - Améliorer et faciliter l'applicabilité des règles parasismiques ; - Prise en compte des progrès scientifiques et technologiques dans les révisions des règles parasismiques ;
Contrôle	<ul style="list-style-type: none"> - Redéfinition des missions du contrôle technique - Instauration, explication et vulgarisation des procédures d'instruction et de contrôle du permis de construire dans son volet sécurité parasismique
Marchés de maîtrise d'œuvre	<ul style="list-style-type: none"> - Prise en compte des critères parasismiques dans la sélection des offres techniques des soumissions des BET lors de la participation à la commande publique en matière de logement et d'équipements publics (conception et compétence des chargés du suivi)

Diagnostic et renforcement	<ul style="list-style-type: none">- Mise en place progressivement une politique de diagnostic et de renforcement du bâti existant par l'élaboration de programmes locaux de diagnostic et de renforcement des bâtiments ;- Encourager les propriétaires dans leurs démarches de mise en conformité aux règles parasismiques RPA et les renforcements qui peuvent en résulter (incitations fiscales ou financières par exemple) ;- recommandations générales pour les constructions en centres urbain anciens pour éviter l'aggravation du risque sismique ;- prioriser les actions de diagnostic et de renforcement pour les bâtiments scolaires, caserne de pompiers, polyclinique etc. ;- Actions particulières pour les monuments historiques du patrimoine national
-----------------------------------	---

Tableau 5.3 : Actions de Concertation, coopération et communication entre les différents acteurs du risque

Domaine	Action
<p>Concertation, coopérations et communication.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Promouvoir une prise en charge collective de la prévention parasismique -Disposer d'un plan national d'expertise pour décider après un fort séisme de la réoccupation des bâtiments ; - Suivi des différents programmes de la prévention du risque sismique au niveau national ; - capitalisation de l'information sur la performance et les vulnérabilités des systèmes constructifs existant ; - Perpétuer les journées et les rencontres des différents acteurs de la construction sur le sujet du parasismique. - Mettre en place et coordonner la constitution des bases de données (inventaire des caractéristiques par type de bâti, diagnostics, renforcement) - Mettre à disposition les documents de référence en matière d'information, de formation et de réglementation - Conduire les études de connaissance du risque et élaboration des différents plans. - Inciter à élaborer de véritables projets de prévention pour réduire leur vulnérabilité face au risque sismique. - Conduire les campagnes de diagnostics et des programmes de réduction de leur vulnérabilité.

Pour la formation, nous préconisons en urgence un programme de formation en direction de tous les acteurs de la construction qui permettrait :

- De bien montrer quelles sont les déficiences actuelles en matière de qualité des constructions.
- De bien mettre l'accent sur l'importance du travail en commun entre tous les acteurs :
 - Les architectes, pour une meilleure conception d'ensemble, en fonction des souhaits des maîtres d'ouvrages, des possibilités de réalisation par les Ingénieurs et les entrepreneurs et de l'adaptation au terrain.
 - Les ingénieurs, pour une meilleure modélisation des projets envisagés par les architectes et la prise en compte des problèmes liés aux sols.
 - Les entrepreneurs pour le choix des matériaux les plus adaptés pour

résister aux sollicitations sismiques et pour une réalisation optimale des dispositions constructives, en particulier concernant les armatures et les joints.

- Les maîtres d'ouvrages et les contrôleurs, pour un meilleur suivi à tous les stades de la construction.

La sensibilisation des architectes doit être effectuée principalement via des contre-exemples (ce qu'il ne faut pas faire), illustrés par des bâtiments effondrés suite à un séisme. Il semble préférable de proposer des exemples de bâtiments exemplaires, ayant été construits selon des règles parasismiques, ayant résisté à un séisme, sans que cela se soit fait au détriment de l'esthétique du bâtiment ou du projet architectural. Il faut ainsi montrer que l'architecture parasismique peut être créative que les règles de construction ne sont pas uniquement des contraintes, à condition qu'elles soient intégrées le plus en amont possible du projet, dès les esquisses d'architecte. L'exemple de l'architecture californienne, ou asiatique prouve que la prise en compte de la sollicitation sismique peut être aussi une source de créativité.

Il faut mobiliser le réseau habituel d'information et de sensibilisation des architectes (ordre national et local des architectes CNOA et CLOA) sur ce sujet. Par ce réseau, la culture sismique pourra être intégrée pleinement à la culture architecturale. Au-delà de créer parmi la profession des spécialistes de la construction parasismique, il est surtout nécessaire d'intégrer la prise en compte des sollicitations sismiques de façon systématique à tout projet architectural, au même titre qu'il est nécessaire de prendre en compte les effets de la pluie, du vent ou de la neige. Il ne s'agit donc pas de créer un corps d'architectes parasismiques, mais bien de donner une culture parasismique aux architectes. Sans l'imposer, il faudrait favoriser la présence d'un architecte, d'un maître d'œuvre compétents et d'un BET pour les constructions courantes (maison individuelle et petits collectifs) en zone sismique, leurs préconisations techniques devant ainsi être respectées par les entreprises d'exécution.

Conclusion générale

Au terme de ce travail, nous pouvons dire que Le nombre de professionnels de l'aménagement et de la construction qui ont reçu une formation en génie parasismique ou en prévention du risque sismique en Algérie reste très faible, alors que la seule prévention efficace contre le risque sismique est la construction parasismique des bâtiments neufs et le confortement préventif du bâti existant. Le concepteur de projet peut et devrait jouer dans ce domaine un rôle déterminant, il doit posséder dans le domaine parasismique un bagage de connaissance suffisant pour être en mesure d'opérer, en amont des calculs, des choix qui assureront à la construction projetée des conditions optimales de résistance aux séismes, d'autant que la vie de personnes est en jeu.

Le développement de la formation et de la recherche scientifique dans le domaine parasismique représente évidemment l'élément fort, insécable d'une politique cohérente de prévention et de gestion du risque et qui tienne compte des particularités sismiques de l'Algérie. Des moyens financiers importants pourront servir d'encouragement à des recherches pluridisciplinaires régulièrement ouvertes sur l'expérience étrangère.

L'application des règles parasismiques Algériennes doit concerner tous les acteurs des différents domaines de la construction : maîtres d'ouvrage, architectes, ingénieurs de bureaux d'étude et de contrôle, entrepreneurs, assureurs. Tout projet de construction devrait comporter des réunions et actions communes de tous ces acteurs, afin d'aboutir à des solutions efficaces pour une résistance fiable aux séismes.

On peut dire enfin qu'au-delà des règles de construction parasismiques arbitrées pour des niveaux d'exigences dépendant des enjeux, c'est la société entière, au travers de ses acteurs et de ses structures matérielles et immatérielles qui doit être « **parasismique** », c'est à dire « **préparée à l'éventualité du séisme majeur** ». Cette préparation doit être envisagée pour tous les éléments à risque de la société: humains, économiques, patrimoniaux... dans leur contexte territorial, l'interaction néfaste de leurs vulnérabilités propres pouvant peser très lourd sur le bilan final d'une catastrophe d'origine sismique.

BIBLIOGRAPHIE ET RÉFÉRENCES

- [1]. Association Française du Génie Parasismique (2004) - Conception Parasismique de Bâtiments – Guide AFPS, Editions AFPS, Paris, 147 p
- [2]. Association Française du Génie Parasismique AFPS 2003. *Le séisme du 21 Mai, en Algérie. Rapport préliminaire de mission.* Paris, France. 92 pages
- [3]. Bachmann Hugo, Principes de base pour la conception parasismique des bâtiments, ETH- Zurich, 2000.
http://syl20.h.free.fr/BD_gene/fic/principes_construction_parasismique.pdf
- [4]. Bachmann Hugo, Conception parasismique des bâtiments – Principes de base à l'attention des ingénieurs, architectes, maîtres d'ouvrage et autorités, par Hugo Bachmann : Directives de l'OFEG, Berne 2002.
<http://www.bwg.admin.ch/themen/natur/f/pdf/erenho.pdf>
- [5]. BALANDIER Patricia, Urbanisme et aménagement territorial en zone sismique, les grands ateliers de l'Isle d'Abeau, Groupe permanent de réflexion sur l'enseignement, la recherche et la diffusion des connaissances en construction parasismique, (2000)
- [6]. BETBEDER.MATIBET .J Génie parasismique, Prévention parasismique, vol 03, Edition Hermès Science, Paris 2003
- [7]. BETBEDER.MATIBET .J et DOURY Jean-Louis Constructions parasismiques, base documentaire scientifique et technique mai 1997
www.techniquesingenieur.fr/...parasismique.
- [8]. Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique «Règles Parasismiques Algériennes 1999 version 2003,» Document Technique Règlementaire DTR-BC 248- CGS, Alger, 2003, p. 71-72
- [9]. DAVIDOVICI .Victor. *La construction en zone sismique.* Editions Le Moniteur. Paris, 1999, 330p
- [10]. Département du jura, Prévention du risque sismique et évolution de la réglementation
www.franche-comte.developpement-durable.gouv.fr/.../classeur-peda...
- [11]. Lestuzzi .P et Badoux. M, Génie parasismique : conception et dimensionnement des bâtiments, Presse polytechnique et universitaire romande. (2011) 327 p
- [12]. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'environnement. Le risque sismique et le redéploiement des activités et de l'urbanisation Algérie 2020, Ouvrage collectif, Volume 1 juillet 2003

- [13]. NAZÉ. P. Alain, Contribution à la prédiction des dommages des structures en béton armé sous sollicitations sismiques, Thèse de Doctorat soutenu à l'INSA de Lyon le 06 décembre 2004
- [14]. PLUMIER. André. Construction en zones sismique. Faculté des Sciences Appliquées, Département d'Architecture, Géologie, Environnement et Construction ArGENCo. Edition 2007.
- [15]. ZACEK M. Construire parasismique – Éditions, Parenthèses, Marseille, 1996,340 p
- [16]. ZACEK, Milan. 2003, *Conception parasismique*, Les Grands Ateliers de L'Isle-d'Abeau, 89 pages.
- [17]. ZACEK, Milan. 2003, Evaluation de la présomption de vulnérabilité aux séismes des bâtiments existants, Les Grands Ateliers de L'Isle-d'Abeau, 41 pages.
- [18]. Portail français sur les risques (MEDD) : <http://www.prim.net/>

Références non citées :

19. AFPS, rapport de mission post sismique, séisme d'Haïti 12 janvier 2010, Direction générale de la Prévention des risques
20. AFPS, Rapport de la mission post-sismique virtuelle sur le séisme de Tohoku du 11 mars 2011 établi en mai 2012 www.afps-seisme.org
21. AFPS, CSTB Groupe de travail, Diagnostic et renforcement du bâti existant vis-à-vis du séisme Mars 2013
22. COPRNM, La prévention du risque sismique, Direction générale de la Prévention des risques,
23. DAVIDOVICI Victor, Rapport d'expertise des bâtiments mission post sismique, séisme de Port-au Prince Haïti 12 janvier 2010
24. FILIATRAULT André, Éléments de génie parasismique et de calcul dynamique des structures. Éditions de l'École Polytechnique de Montréal, 1996 (483p)
25. FUENTES Albert, Bâtiments en zone sismique, Presses des Ponts et Chaussées, 1995

26. Guide "CP-MI Antilles" (guide de la construction parasismique des maisons individuelles aux Antilles), AFPS, MATE, 2001
27. Guide des dispositions constructives parasismiques des ouvrages en acier, béton, bois et maçonnerie AFPS, Presse des Ponts et Chaussées, 2006
28. LESTUZZI Pierino, Séismes et constructions. Eléments pour non- spécialistes. Presse polytechnique et universitaire romande, 2008 (136p)
29. Ministère de l'Aménagement du Territoire & Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement (2002) – *Plans de prévention des risques naturels (PPR). Risques sismiques. Guide méthodologique* – Editions La Documentation française, Paris, 112 p.
30. Office fédéral de l'environnement OFEV, Confortement parasismique de constructions.2008
31. Site web AFPS. <http://www.afps-seisme.org>

ANNEXES

LISTE DES SIGLES UTILISÉS

ANAT- Agence nationale d'aménagement du territoire

BET - Bureau d'études

CERTU - Centre d'études sur les réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques.

CGS- Centre de recherches en génie parasismique

CLOA - Conseil local de l'ordre des architectes

CSTB- Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

CTC- Contrôle technique de la construction

DTR- Document technique règlementaire

PDAU-Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme

POS- Plan d'occupation du sol

PPR- Plan de prévention des risques

PS – Parasismique

RPA - Règles parasismiques Algériennes

SNAT- Schéma national de l'aménagement du territoire



QUESTIONNAIRE

Ce questionnaire est destiné aux architectes et ingénieurs exerçant au sein de bureaux d'études d'architecture et techniques dans les différentes régions du pays.

Il rentre dans le cadre de la préparation d'un magister en Génie Civil touchant à la gestion des risques majeurs, qui s'intitule : **Contribution à l'amélioration de la protection parasismique des bâtiments.**

Dans ce cadre et pour me permettre une analyse fiable de la résistance parasismique des ouvrages en Algérie, J'ai l'honneur de vous demander de bien vouloir renseigner le questionnaire ci-après et me l'envoyer à mon adresse email ci-dessous.

Comme vous le constaterez, le questionnaire est anonyme et son format a été conçu de façon à ne pas trop perturber vos activités.

Connaissant vos expériences dans le domaine parasismique, je voudrais vous demander de l'enrichir par vos suggestions et vos recommandations.

En vous remerciant pour l'intérêt que vous voudrez bien accorder à la présente étude, je vous prie d'agréer, l'expression de mes salutations distinguées.

Bachir BENFERHAT

P.G Gestion des risques majeurs

Email : bachifid@yahoo.fr

Mob : 0776105865

PARTIE 1 : DONNÉES GÉNÉRALES SUR LE REpondANT ET SUR LE BET**1- Nature du diplôme :**

Architecte	1	
Ingénieur (Précisez la spécialité)	2	
Autres (précisez) :	3	

2-Lieu et année d'obtention du diplôme

Université	Ville ou pays	Année d'obtention du diplôme

3- Nombre total d'années d'expérience :.....**4- Nature du BET**

Privé	1	
Public	2	
Autres (précisez) :	3	

5- Fonction exercée au sein BET

Directeur /Gérant	1	
Employé	2	
Autres (précisez) :	3	

6- Lieu d'exercice

Wilaya	
Commune	

7- L'activité principale du BET (choisir une seule réponse)

Etudes d'architecture	1	
Engineering	2	
Urbanisme	3	
Autres (précisez) :		

8- Le client principal du BET (choisir une seule réponse)

Etat	1	
Collectivités locales	2	
Entreprises	3	
Particuliers	4	

9- Les projets principaux du BET (choisir une seule réponse)

- Bâtiments à usage d'habitation
 Equipements Publics
 Aménagements
 Autres (précisez).....

PARTIE 2 : DONNÉES ET OPINIONS SUR LE GÉNIE PARASISMIQUE

10- Dans l'exercice actuel de votre activité, comment qualifiez-vous la prise en compte du risque sismique?

Forte	1	
Moyenne	2	
Faible	3	
Inexistante	4	

11- Comment qualifiez-vous la prise en compte du génie parasismique dans l'exercice de votre profession (conception des bâtiments) ?

Essentielle	1	
Importante	2	
Banale	3	
Sans intérêt particulier	4	

12- Avez-vous, personnellement, déjà suivi une initiation ou une formation dans le domaine du génie parasismique ?

Oui	1	
Non	2	

13- Si, non, pourquoi ? (choisir une seule réponse)

manque de temps	1	
pas d'intérêt	2	
absence d'opportunités de formation	3	
Autres (précisez) :	4	

14- Si, oui, quelle(s) formation(s) ?

Lieu (par exemple Université, CGS, EPAU, INFORBA, etc.)	
Type (par exemple séminaire, etc.)	
Durée)	

15- Si oui avez-vous été satisfait par l'initiation ou la formation?

Oui	1	
Non	2	

16- Si non, pourquoi ?

.....

17- Dans le tableau suivant, d'après -vous l'objectif des règles parasismiques sont :

(Mettre une croix dans la case choisie)

Objectif	Vrai	Faux
Eviter les désordres graves		
Eviter tout désordre		
Garantir le non-effondrement des ouvrages		
Garantir la sauvegarde de toutes les personnes		

18- Comment qualifiez-vous une construction calculée selon les règles parasismiques et correctement mise en œuvre? **(Mettre une croix dans la case choisie)**

Qualité de la construction	Vrai	Faux
Est censée résister sans s'effondrer à tous les séismes destructeurs pouvant se produire dans la région		
N'est pas censée subir des dommages structuraux.		

19- Est-ce que vous estimez que la réglementation parasismique limite la créativité en matière d'expression architecturale ?

Oui	1	
Non	2	

20- Si oui pourquoi ?.....

21- Est-ce qu'une construction parasismique induit des surcoûts significatifs sur le coût global du projet ?

Oui	1	
Non	2	

22 -Si oui à combien estimez-vous ce surcout ?

Moins de 10 %	1	
De 10 à 20 %	2	
+ de 20 %	3	
Autre évaluation plus précise	4	

23 - D'après vous les dommages sismiques subis par les constructions après un séisme sont généralement les conséquences d'une non-conformité aux règles parasismiques RPA)

Oui	1	
Non	2	

24- Si non quelles peuvent être les autres causes :

.....

25-Jugez-vous que les entreprises de réalisation sont bien encadrées pour l'application rigoureuse des règles RPA ?

Oui	1	
Non	2	

26- Si non, d'après vous qu'est ce qui leur manque ?

.....

VOS SUGGESTIONS ET RECOMMANDATIONS :

.....

PARTIE 3 QUESTIONS ADRESSÉES AUX DIRECTEURS DES BUREAUX SEULEMENT

27 – Parmi vos employés y en a-t-il qui ont reçu une formation en génie parasismique (construire parasismique, etc.) ?

Oui	1	
Non	2	

28 - Si non, est-ce que vous envisagez de mener ce type de formation au bénéfice de votre personnel?

Oui	1	
Non	2	

29 – Si vos employés ont reçu une formation en génie parasismique, pensez-vous poursuivre ce type de formation ?

Oui	1	
Non	2	

30 - Si, non, pourquoi ?.....

.....

31 - Si, oui, pour quelle catégorie de personnel?

Ingénieur	1	
Architecte	2	
Technicien	3	

32- En votre qualité d’architecte concepteur estimez-vous que vous êtes suffisamment formé en conception parasismique des bâtiments ?

Oui	1	
Non	2	

33 – Une dernière question : quelles sont vos suggestions et recommandations pour améliorer la prise en compte du génie parasismique dans votre activité ?

.....

TABLEAUX ET FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1-	Les outils de maîtrise de la vulnérabilité urbaine face aux risques majeurs.....	9
Tableau 2.1-	Eléments de conception architecturale parasismique.....	25
Tableau 2.2-	Dommmages sismiques causés par une mauvaise conception.....	26
Tableau 2.3-	Facteurs de vulnérabilité et dommages sismiques typiques.....	28
Tableau 4.1-	lieu des études.....	63
Tableau 4.2-	Nombre d'années d'expérience.....	65
Tableau 4.3-	Fonction exercée par le concepteur au sein du BET.....	65
Tableau 4.4-	les principaux projets des BET.....	68
Tableau 4.5-	Raisons qui ont fait BET n'ont pas suivi des formations en parasismique.....	72
Tableau 4.6-	Type de formation.....	72
Tableau 4.7-	Niveau de satisfaction de la formation.....	72
Tableau 4.8-	Objectif 1(Eviter les désordres graves).....	73
Tableau 4.9-	Objectif 2 (Eviter tout désordre.....	74
Tableau 4.10-	Objectif 3 (Garantir le non effondrement des ouvrages).....	74
Tableau 4.11-	Objectif4 (Garantir la sauvegarde de toutes les personnes).....	75
Tableau 4.12-	Formation PS et les réponses correctes.....	75
Tableau 4.13-	Effet 1(Résistance sans effondrement à tous les séismes destructeurs).....	76
Tableau 4.14-	Effet 2 (Dommages structuraux).....	76
Tableau 4.15-	Formation PS et les réponses correctes.....	77
Tableau 4.16-	Limitation de la créativité en matière d'expression architecturale.	77
Tableau 4.17-	Surcoûts de la construction parasismique.....	78
Tableau 4.18-	Estimation des surcoûts.....	79
Tableau 4.19-	Les dommages sismiques sont généralement conséquence d'une non-conformité aux RPA.....	80
Tableau 4.20-	Les dommages sismiques sont généralement conséquence d'une non-conformité aux RPA.....	82
Tableau 4.21-	Formation des employés du BET.....	83
Tableau 4.22-	Intention de Formation en PS des employés des BET.....	83
Tableau 4.23-	Intention de poursuite de la formation en PS pour les employés...	84
Tableau 4.24-	Matières du génie civil enseignées aux architectes.....	87
Tableau 5.1-	Actions de Formation, information et connaissance du risque.....	91
Tableau 5.2-	Actions pour l'amélioration de la prise en compte du risque sismique dans la construction.....	94
Tableau 5.3-	Actions de Concertation, coopération et communication entre les différents acteurs du risque.....	94

LISTE DES FIGURES, GRAHIQUES ET ILLUSTRATIONS

Figure 1.1-	Zones sismiques et degré de vulnérabilité des territoires en Algérie.....	4
Figure 1.2-	Situation de l'essentiel du potentiel économique de l'Algérie.....	5
Figure 1.3-	Exemple d'organigramme d'analyse du risque sismique urbain.....	6
Figure 1.4-	Dommmages aux habitations suite au séisme de Zemmouri -Boumerdes 2003.....	6
Figure 1.5-	Composantes de la vulnérabilité	7
Figure 1.6-	les actions de prévention du risque sismique.....	11
Figure 1.7-	Logigramme relatif à la réalisation d'un scénario de risque sismique.....	12
Figure 1.8-	Constructions et conformité aux règles parasismiques	14
Figure 1.9-	Choix d'une stratégie de renforcement.....	14
Figure 2.1-	les trois démarches de la construction parasismique.....	19
Figure 2.2-	L'étendue des problèmes de la construction parasismique.....	22
Figure 2.3-	Dimensionnement en capacité de la structure porteuse.....	24
Figure 2.4-	Mauvaise configuration de la forme en élévation 1.....	36
Figure 2.5-	Mauvaise configuration de la forme en élévation 2.....	36
Figure 2.6-	Effet du coup de fouet	36
Figure 2.7-	Différence de raideur entre les niveaux1	37
Figure 2.8-	Différence de raideur entre les niveaux 2.....	37
Figure 2.9-	Descente de charge interrompue.....	37
Figure 2.10-	Affaiblissement du diaphragme par la présence des baies sur le plancher.....	38
Figure 2.11-	Hétérogénéité structurale (Mur porteur en RDC – Poteaux et poutres en étage).....	38
Figure 2.12-	Mauvaise disposition des voiles (discontinuité).....	38
Figure 2.13-	Non-respect du principe poteau fort- poutre faible.....	39
Figure 2.14-	Présence de poutres-allèges	39
Figure 2.15-	Présence de poteaux courts	39
Figure 2.16-	Mauvaise conception et exécution du joint.....	39
Figure 2.17-	Bonne disposition et bonne	40
Figure 2.18-	Exécution soignée d'un joint parasismique.....	40
Figure 3.1-	L'aléa sismique pour la région d'Alger, Benouar et Naili, 2000.....	45

Figure 3.2-	Effets des séismes sur les constructions conformes aux codes parasismiques.....	47
Figure 3.3-	Effets de site.....	48
Figure 3.4-	Amplification des secousses dans les sols mous, Mexico1985	49
Figure 3.5-	Le pic du spectre correspond à la période de résonance	50
Figure 3.6-	Réduction des charges sismiques par la ductilité	51
Figure 3.7-	Accélérogramme de la composante N-S enregistrée à El Centro (Californie) le 18 mai 1940.....	53
Figure 3.8-	Zonage règlementaire du RPA99 version 2003.....	57
Graphique 4.1-	Répartition des régions d'exercice de la profession	64
Graphique 4.2-	Répartition de l'activité des BET.....	66
Graphique 4.3-	Le principal client des BET	67
Graphique 4.4-	Prise en compte du risque sismique par les professionnels des BET ...	69
Graphique 4.5-	Prise en compte du génie parasismique dans la profession	70
Graphique 4.6-	Formation en génie parasismique	71
Graphique 4.7-	Estimation des surcoûts de la construction parasismique.....	79
Graphique 4.8-	Architectes et formation en conception parasismique.....	85