

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE 08 MAI 1945 GUELMA



DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE
GESTION DE RISQUE ET VULNERABILITE DES OUVRAGES
OPTION : SOL- STRUCTURE ET HYDRAULIQUE

MEMOIRE POUR L'OBTENTION D'UN DIPLOME DE MAGISTER
THEME :

ETAT DE L'ART DE LA
REGLEMENTATION PARASISMIQUE

FAIT PAR : SOUS LA DIRECTION :

CHERAIRIA ABDELKADER MC/A CHERAIT YACINE

MC/ A BENMARCE AZIZ

UNIVERSTE 8 MAI 1945

PRESIDENT

PR NOUAOURIA MOHAMED SALEH.

UNIVESITE 8 MAI 1945

EXAMINATEUR

PR. BENOUIS A-HALIM

UNIVESITE 8 MAI 1945

EXAMINATEUR

2012/2013

REMERCIEMENT

Je tiens tout d'abord à remercier mon encadreur, M.CHERIAT Yacine, pour m'avoir fait confiance malgré les connaissances plutôt légères que j'avais, puis pour m'avoir guidé, encouragé, conseillé.

Je remercie tous ceux sans qui cette thèse ne serait pas ce qu'elle est: aussi bien par les discussions que j'ai eu la chance d'avoir avec eux, leurs suggestions ou contributions.

Les Profs. Mr. BENOUIS et Mr. NOUAOURIA et Mr. BEN MARCE qui ont accepté d'être les rapporteurs de cette thèse, et je les en remercie, de même que pour leur participation au Jury.

Ils ont également contribué par leurs nombreuses remarques et suggestions à améliorer la qualité de ce mémoire, et je leur en suis très reconnaissant.

Sans oublier le chef département Mr. KHEROUF- M qui m'a aidé beaucoup et tout le staff administrateur qui travail avec lui.

Je tiens aussi à mentionner le plaisir que j'ai eu à étudier au sein de l'université de 08 Mai 1945, département d'hydraulique et de génie civil.

DEDICACE

A la mémoire de mes grands-parents. A mes très chers parents « SMAIL et B- LATRA » qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour. A mes chers frères et sœurs : MERYEM, AMNA, ZIN EDDINE et AMIRA. A ma grande mère ZAKIA et Aux mes grands parents que j'ai tant aimé qu'ils assistent à ma soutenance. A mes tantes et à mes oncles. A chaque cousins et cousines

SOMMAIRE

PRÉAMBULE	6
Résumé	7
INTRODUCTION	8
PREMIER CHAPITRE	10
NOTIONS GENERALES DE SISMOLOGIE	10
1. INTRODUCTION	10
1. LA STRUCTURE INTERNE DE LA TERRE.....	10
2. MECANISMES SISMIQUES ET PROPAGATIONS DES ONDES	13
1) Ondes Sismiques	13
Les ondes de volumes	14
Les Ondes De Surfaces	15
Méthodes de localisation de l'épicentre	16
DEUXIEME CHAPITRE	
L'algérie et le selsme	
une histoire douloureuse	22
1. INTRODUCTION	22
1. QUELQUES SEISMES QUI ONT TOUCHES L'ALGERIE	23
1) séisme d'el asnem	23
EFFETS SUR LES RESEAUX VITAUX ET OUVRAGES D'ARTS	24
EFFETS DE TERRAIN	24
2) séisme de boumerdes	25
☒ expertises du séisme de 21-05-2003	26
PR CHELGHOUM.....	26
VICTOR davidovoci	27
L'AGENCE DE GENIE PARASISMIQUE (C.G.S) ET L'AGENCE FRANÇAISE de	
PARASISMIQUE (A.F.P.S)	30
Quelques Images Démontrant Les Impacts Du Séisme	31
1. <i>cadre législatif (algérie)</i>	33
troisieme CHAPITRE	35
EVALUATION DE L'ACTION SISMIQUE	35
SELON LES CODES RPA99/03 ; RPS2000 Et PS92/97	35
1) HISTORIQUE DE LA SISMOLOGIE AU MAROC.....	35
(i) carte des intensités max ressenties (1901-2006)	35
(ii) sismicité	36
2) HISTORIQUE DE LA SISMOLOGIE EN FRANCE.....	38
3) HISTORIQUE DEVELOPPEMENT DES REGLES PARASISMIQUES	39
(i) France	39
(ii) maroc.....	40
- Norme d'Agadir 1960	40
- Règles parasismiques 1982 (semblable aux ps69) annexée une carte des	
zones de sismicités	40
(iii) algérie	40
4) REGLES PARASISMQUES	41
(i) CALCUL SISMIQUE	41

(ii)	MODELISATIONS.....	43
(iii)	évaluation de l'action sismique.....	44
	LA METHODE STATIQUE EQUIVALENTE	44
	☒ règle parasismique algérien 99-03.....	45
(i)	classiifcation des ouvrages.....	45
(ii)	zonage sismique	45
(iii)	effort sismique	46
	☒ regles parasismique MAROCAINES (r.p.s 2000).....	46
(i)	coefficient d'acceleration de zone (a).....	46
(ii)	evaluation de la charge sismique.....	47
	☒ règles p.s 92 / version 1997	47
	1. forces statiques équivalentes ⁰	47
(iii)	coefficient de majoration (ρ_0)	48
	☒ Zone De Sismicité.....	48
2.	<i>applications</i>	48
	exemple 01	48
	Exemple 02	51
	exemple 03	52
	exemple 04	53
5)	ANALYSE COMPARTIVE	55
	☒ Zones sismiques	55
	☒ classification selon la hauteur.....	56
	☒ règles de calcul (Article 4-2).....	56
	☒ Combinaison d'action (Article: 5-2)	57
	☒ Largeur des joints sismiques (<i>Article: 5-8</i>)	57
	☒ implantation site ⁰	59
	☒ les effets induits par le séisme.....	60
6)	ROLE DU SERVICE TECHNIQUE	62
	CONCLUSIONS GENERALES	63
	CARTE DU ZONAGE SISMIQUE DE L'ALGERIE	64
	<i>TABLEAU: ZONAGE SISMIQUE DE L'ALGERIE.</i>	64
	ANNEXE II	66
	PROGRAMMATION DU RPA2003.....	66
	<i>LISTE DES figurES</i>	77
	<i>LISTE DES TABLEAUX</i>	77
	<i>LISTE DES CARTES</i>	78
	<i>LISTE DES Organigrammes</i>	78
	<i>Bibliographie</i>	79

PRÉAMBULE

«Il devient de plus en plus manifeste que les catastrophes naturelles ne sont pas aussi naturelles que cela. Nous devons passer de la réaction à la prévention. Il faut élaborer des stratégies visant à atténuer les effets des catastrophes, mais il faut surtout s'employer à rendre les populations moins vulnérables».

Cette déclaration de monsieur **KOFFI ANNAN**, ex secrétaire générale de l'Organisation des Nations Unies à la clôture en 1999 de la décennie internationale sur la prévention des catastrophes naturelles, (1999-2000), résume de manière claire et lucide, la nature, l'ampleur et la gravité des enjeux auxquels est confrontée l'espèce humaine en ce début de millénaire. Il est ainsi impératif d'établir en urgence une stratégie globale destinée à garantir notre sécurité face aux périls annoncés, plus particulièrement ceux induits par le séisme, qui reste l'un des phénomènes naturels les plus meurtriers.

RESUME

Le séisme constitue le risque naturel le plus meurtrier. En effet son nom est souvent associé à des pertes humaines et matérielles considérables. Afin de limiter ces effets destructeurs sur les ouvrages d'arts et les bâtiments; plusieurs règlements ont été élaborés de par le monde, et mis entre les mains des ingénieurs et architectes pour la conception d'ouvrages parasismiques. Le travail proposé se veut une analyse comparative de trois codes parasismiques actuellement en vigueur en Algérie (RPA99/2003) ; au Royaume du Maroc (RPS2000) et en France (PS 92/1997).

MOTS CLES : Séisme – Réglementation – RPA2003 – RPS2000 – PS97.

في الحقيقة اسمه كثيرا ما يرتبط الخسائر والممتلكات المخاطر الطبيعية الزلزال هو الأكثر دموية هذه الأعمال الفنية والمباني ، ومعدة أنظمة لرصد الزلازل وضعت في جميع التخفيف من تأثير مدمر على العمل المقترح هو إجراء تحليل ، ووضعها في أيدي المهندسين والمهندسين المعماريين أنحاء العالم مقارنة للقوانين الزلزالية السارية حاليا في الجزائر المملكة المغربية وفرنسا

مواهل الزلزال-RPA99/03-RPS2000-PS97-الزلازل:الكلمات الرئيسية

The earthquake is the deadliest natural; in fact his name is often associated with losses and property humanizes. To mitigate this destructive effects on the works of art and buildings ; several seismic regulations have been developed around the world and put in the hands of engineers and architects proposed

work is a comparative analysis of seismic codes currently in force in Algeria (RPA99/2003) Kingdom of Morocco (RPS2000) and France (PS 92/1997).

KEYWORDS: earthquake-RPA99/03-RPS2000-PS97.

DISCIPLINE : RISQUES NATURELS ET VULNÉRABILITÉS DES OUVRAGES

LABORATOIRE D'ACCUEIL :

LABORATOIRE DE GÉNIE CIVIL ET D'HYDRAULIQUE, UNIVERSITÉ 08 MAI 45, GUELMA.

INTRODUCTION

Le séisme, phénomène naturel courant, constitue l'une des causes les plus dangereuses dans la destruction des ouvrages. Régulièrement l'actualité montre que les tremblements de terre entraînent des pertes en vie humaines, la destruction du patrimoine immobilier et des moyens de production. En Algérie des séismes majeurs (El-Asnam en 1980, et plus récemment Boumerdes en 2003) ont provoqués la mort de milliers de personnes, la destruction de plusieurs dizaines de milliers d'habitations. Le coût des dommages provoqués par ces séismes dépasse largement les 5 milliards de dollars américains, provoquant ainsi un effort financier considérable pour le trésor public. Pour faire face aux aléas et risques naturels auxquels il est fortement exposé, notre pays a décidé de se doter des moyens qui lui permette à terme d'amortir, et d'atténuer leurs effets dévastateurs. Parmi les moyens élaborés, citons la mise à la disposition des ingénieurs et architectes, un code de calcul parasismique spécifique, innovant et très rigoureux ; à savoir le règlement parasismique Algérien (ou RPA). D'autres pays méditerranéens, ont développés leurs propres codes à l'instar du royaume du Maroc (règles RPS 2000) et de la France (PS99).

Le travail proposé, dans le cadre de notre mémoire de magister, option «**risques naturels et vulnérabilités des ouvrages**» se veut une analyse comparative des règlements parasismiques en cours de validité en Algérie, au Maroc et en France.

Le travail est scindé en quatre chapitres, et clos par une conclusion générale.

Le chapitre I, intitulé «*Notions générales de sismologie*» présente des notions générales sur les séismes, notamment la théorie de la tectonique des plaques qui explique l'origine des séismes, les ondes sismiques ainsi que leur vitesse de propagation, les différentes échelles de mesures des séismes, les méthodes de localisation des foyers ainsi que les méthodes existantes sur la prévision, sismique.

Le chapitre II, intitulé «*L'Algérie et le séisme : une histoire douloureuse*» s'intéresse à la présentation de l'activité sismique du territoire national, ainsi que les résultats d'expertises sur des séismes majeurs qui ont frappés notre pays (plus particulièrement celui du 21 Mai 2003) les organismes qui interviennent dans le domaine ainsi que l'organisation des secours.

Le chapitre III, intitulé «*Evaluation de l'action sismique selon les codes Algérien, Marocain et Français*» présente les méthodes d'évaluation de l'action sismique sur les bâtiments, selon le RPA2003, le RPS2000 et le PS97, accompagnées d'une étude comparative et quelques exemples numériques. Des programmes informatiques développés sous MATLAB7, des trois codes étudiés sont également présentés.

PREMIER CHAPITRE

NOTIONS GENERALES DE SISMOLOGIE

1. INTRODUCTION

1. LA STRUCTURE INTERNE DE LA TERRE

La structure interne de notre planète est constituée de plusieurs couches superposées dont notamment: Structure interne de la terre. A partir du centre, on distingue le noyau interne, le noyau externe et le manteau que l'on subdivise en manteau supérieur et manteau inférieur, ou en lithosphère, asthénosphère, et mésosphère (figure 1.1).

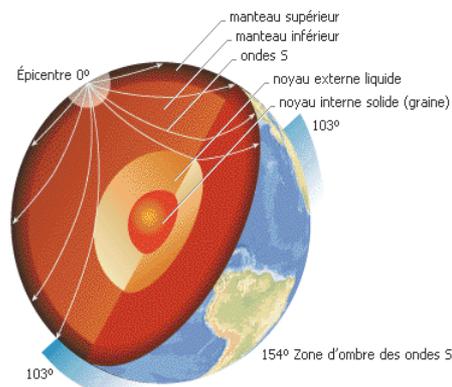


FIG.1.1 Structure interne de la terre.

Les sismologues pensent que les séismes sont dus aux fracturations des roches en profondeur. Ces fracturations sont dues à une grande accumulation d'énergie qui se libère, en créant des failles, au moment où le seuil de rupture mécanique des roches est atteint. Le séisme est un phénomène lié à l'existence de mouvements tectoniques continuellement en action qui soulèvent des chaînes de montagnes et creusent des tranchées océaniques à la surface de la terre. Ces mouvements affectent une quinzaine de plaques et engendrent des contraintes sur les lignes de contact des plaques. Lorsque ces contraintes deviennent trop élevées et supérieures à la résistance au frottement, une rupture brutale se produit : c'est un tremblement de terre, à la suite duquel un nouvel état provisoire de stabilité est réalisé.

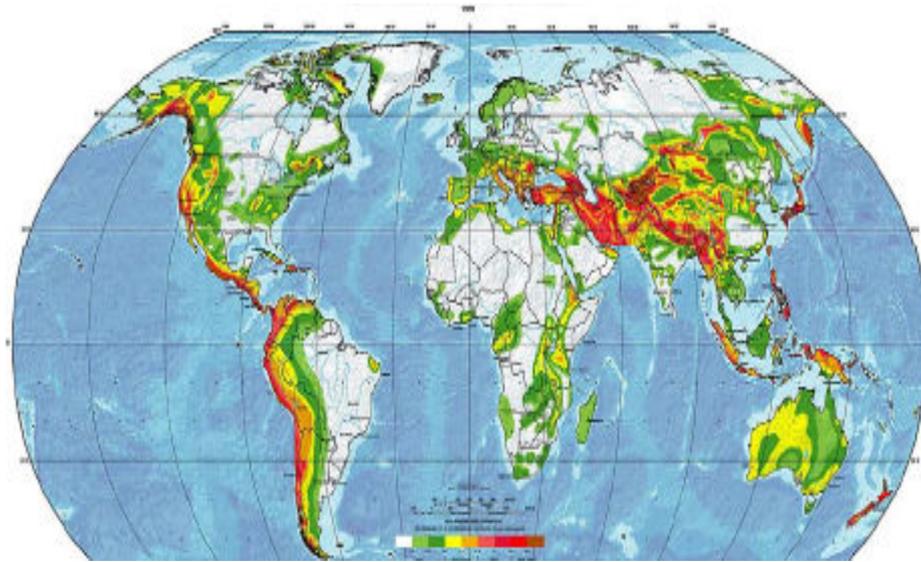


FIG 1.2 Localisation des épicentres des séismes.

Les zones sujettes aux tremblements de terre sont :

- ✓ Le cercle circumpacifique appelé également ceinture de feu, il comptabilise à lui seul 80% de l'énergie sismique mondiale ;
- ✓ Les rifts des océans Atlantique, Pacifique indien ;
- ✓ La chaîne trans-asiatique, elle englobe l'Espagne, en passant par le [Maghreb](#) et l'Asie centrale.

Le séisme se traduit, en surface, par des vibrations plus ou moins importantes du sol. En surface, les mouvements brusques du sol peuvent présenter des amplitudes de plusieurs centimètres, de fortes accélérations et des durées variant de quelques secondes à quelques minutes. On peut distinguer 3 sortes de phénomènes communément appelés tremblements de terre ou séismes :

- 1) Le tremblement d'origine tectonique : C'est celui qui occasionne le plus de dégâts à la surface de la terre et déforme les fonds marins générant parfois des raz de marée (ou tsunamis) ;
- 2) Le tremblement d'origine volcanique : Il est dû aux mouvements des magmas dans les chambres magmatiques des volcans ;
- 3) Le tremblement de terre artificiel : Il résulte des explosions souterraines (tires de carrières et de mines ; essais nucléaires).

A côté de ces trois catégories on pourra également citer le cas des tremblements de terre dits induits qui sont souvent associés à un apport massif d'eau dans les terrains (mise en eau d'un grand barrage ou injection à grande échelle dans le sol).

Les séismes ou tremblements des terres (en terme scientifique le mot tremblement de terre porte le nom de «*secousses telluriques*») constituent sans doute les risques naturels les plus meurtriers dans le monde. Ils sont en effet souvent associés à des dégâts matériels et humains considérables. Le dernier séisme qui a touché la côte indonésienne a coûté la vie à plus de 240000 personnes. Celui qui a ébranlé le 21 Mai 2003, la Wilaya de BOUMERDES et ses environs, a provoqué plus de 2200 morts et des dégâts matériels considérables, estimés à plus de 170 Milliards de dinars. Le tableau suivant présente quelques exemples de tremblements de terres importants.

TABLEAU I.1 Exemples de séismes majeurs (1980 à 2006).

DATE	LIEU	DEGATS
1980	El Asnam (Algérie)	2633 (+348 disparus)
2002	Indonésie	200000
24 février 2003	M 6,8 sur l'échelle de Richter dans les districts de Jiashi et de Bachu –Chine	268 morts
21 mai 2003	M 6,2 a secoué le nord de l'Algérie	2.300 personnes et en blessant plus de 10. 000 autres
26 décembre 2003	M 6,8 dans la ville de Bam de la province iranienne de Kerman (sud-est).	26.000 personnes
24 février 2004	M 6,5 à Al Hoceima, dans le nord du Maroc	628 personnes tuées et 926 autres blessées
26 décembre 2004	M 7,9 qui a frappé Sumatra, en Indonésie	Au moins 200.000 personnes tuées ou portées disparues et des centaines de milliers d'autres sans- abri
22 février 2005	M 6,4 à Zarand de la province de Kerman, dans le sud-est de l'Iran.	600 morts et environ un millier de blessés
28 mars 2005	séisme de magnitude de 8,5 à Sumatra, en Indonésie.	Plus de 900 morts
8 octobre 2005	Un séisme de 7,6 dans le Cachemire.	a fait au moins 73.000 morts et des millions de sans-abri
27 mai 2006	après un séisme de magnitude 5,9 dans les provinces de Yogyakarta et de Java central, en Indonésie.	Au moins 6.000 morts, 20.000 blessés et 200.000 sans-abri
17 juillet 2006	entraîné par un séisme de magnitude 7,3 au large de l'île indonésienne de Java.	Au moins 654 morts, 978 blessés, 329 disparus et 100.000 sans-abri

Contrairement à l'idée reçue, le séisme est loin d'être un phénomène naturel rare, en effet les statistiques à l'échelle mondiale donnent les chiffres suivants :

- ✓ il se produit en moyenne 300000 tremblements de terre par an.
- ✓ Seulement 1000 à 2000 sont perçus par l'homme et sur ceux-ci 200 sont assez forts pour produire des dégâts matériels.
- ✓ 20 séismes peuvent être considérés comme des séismes majeurs.

2. MECANISMES SISMIQUES ET PROPAGATIONS DES ONDES

Un séisme peut être ressenti à des distances relativement importantes de l'épicentre, comme le montre bien le tableau suivant :

TABLEAU 1.2

Lieu et année	Magnitude	Ressenti jusqu'à (km)
Chili 1960	8,5 à 8,6	900
Alaska 1964	8,4	700
San Francisco 1906	8,2	400
El Centro 1940	7,1	100
Basse Californie 1956	6,8	50

On parle souvent de l'épicentre qui résulte être le point situé à la surface de la Terre, à la verticale du foyer.

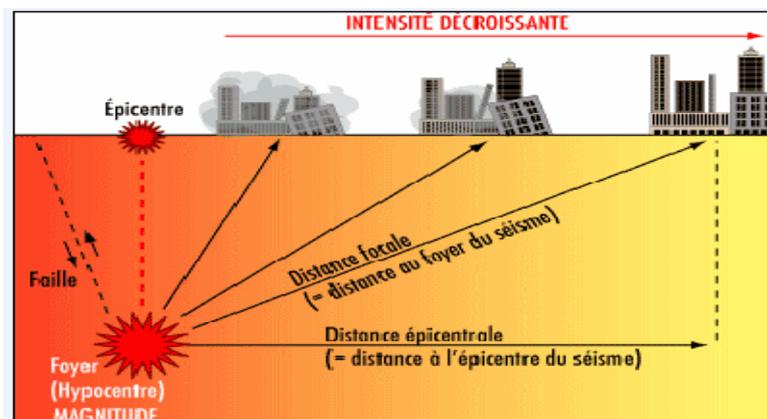


FIG 1.3 Localisation des épicentres des séismes.

1) ONDES SISMIQUES

Les vibrations, engendrées dans le foyer sont propagées dans toutes les directions sous forme "d'ondes sismiques"; qui compte tenu de l'hétérogénéité du sol, engendrent en surface des mouvements complexes et difficilement prédictible. Ces ondes vont se propager à partir du point d'impulsion. Les ondes enregistrées par les stations lors du séisme qui a frappé les côtes indonésiennes en date du 26.12.2004 sont représentées dans la figure I.4.

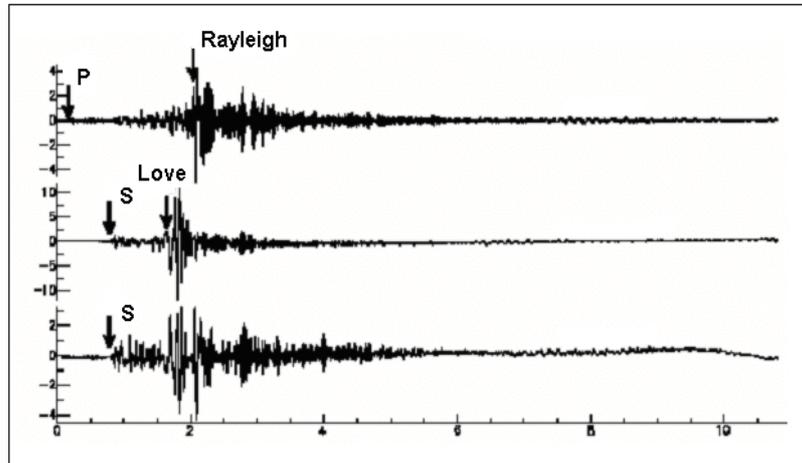


FIG I.4. Ondes enregistrées lors du séisme de Sumatra (Indonésie 26/12/2004).

Les stations enregistrent, lors d'une secousse sismique, plusieurs types d'ondes dont notamment :

LES ONDES DE VOLUMES

Elles prennent naissance dans le foyer et se propagent à l'intérieur de la terre sous forme :

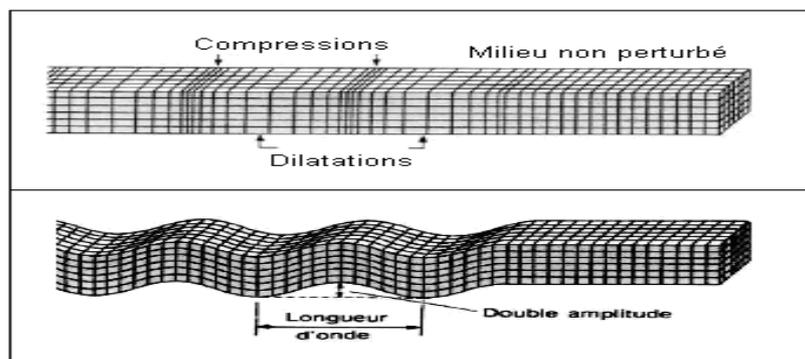


FIG I.5. Ondes de compression P, et de cisaillement S.

- D'ondes primaires (ou ondes P) qui arrivent les premières. Elles se transmettent longitudinalement dans le sens de leur mouvement avec une vitesse assez élevée (de l'ordre de 5,5 à 13 Km/s) et s'accompagnent d'un changement de volume du sol (le sol subit un cycle alterné de compression et de dilatation) ;
- D'ondes secondaires (ou ondes S) de vitesse moins grande (de l'ordre de 3,2 à 7 Km/s). Elles se transmettent transversalement par distorsion et cisaillement sans changement de volume.

LES ONDES DE SURFACES

Les ondes de volumes qui arrivent à la surface de la terre produisent des ondes de surface. On distingue principalement :

- Les ondes "R" ou ondes de Rayleigh : ce sont des ondes pour les quelles les points décrivent des ellipses dans le plan vertical de propagation ;
- Les ondes «Q» ou ondes Loves : ce sont des ondes pour lesquelles les points du sol se déplacent dans un plan tangent à la direction de propagation. Les quatre schémas suivants illustrent les différents types d'ondes observées lors d'un séisme.

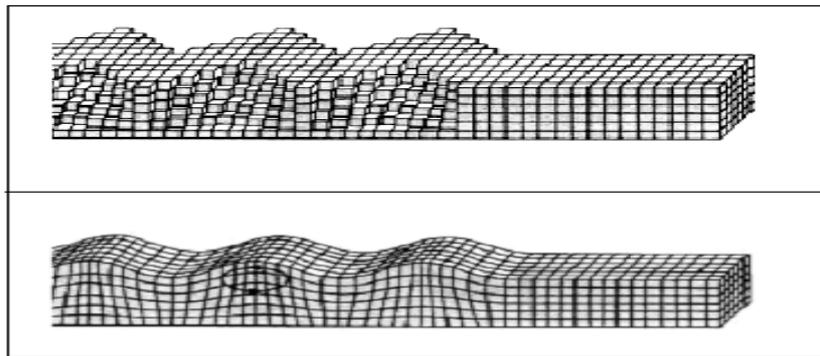


FIG 1.6. Ondes Loves, et de Rayleigh .

Pour l'identification des différentes phases d'ondes (ondes P et S) on utilise des **sismogrammes** qu'on place à différents endroits. Un même séisme est enregistré par un grand nombre de stations sismiques. En connaissant la distance entre l'épicentre et la station et en tenant compte de l'heure d'arrivée des ondes, on peut calculer leur célérité. Les célérités diffèrent suivant les types d'ondes. On peut tracer des courbes représentant les temps d'arrivée des différentes ondes à la station en fonction de la distance épicentrale.

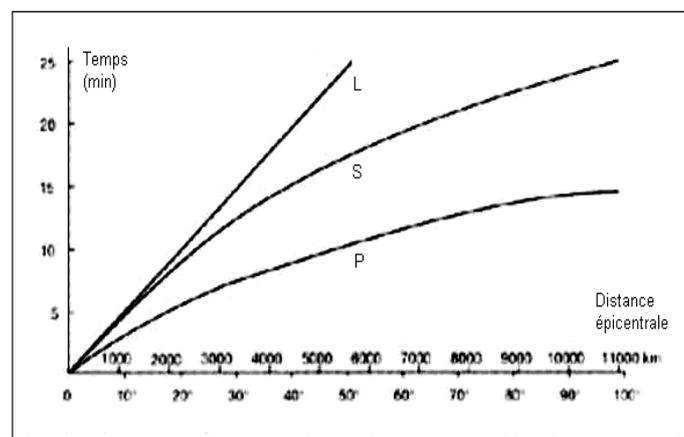


FIG 1.7. Temps d'arrivée des ondes sismiques en fonction de la distance épicentrale.

METHODES DE LOCALISATION DE L'EPICENTRE

De nos jours, il est possible de localiser l'hypocentre et l'épicentre d'un séisme grâce aux stations de surveillances disposées dans le monde. Sur ce point nous présenterons au deuxième chapitre l'emplacement des stations sur notre territoire. Il existe plusieurs méthodes utilisées, parmi lesquelles on pourra citer la méthode des cercles et la méthode des hyperboles ⁽¹⁾;

○ SISMOGRAMMES :

C'est FELIPPO Cecchi qui a construit le premier sismomètre capable d'enregistrer les mouvements du sol en fonction du temps. Par la suite ROBERT Mallet étudia (entre 1830 et 1850) la propagation d'ondes issues d'explosions artificielles. Il inventa le terme séismologie, traduit en français par les termes sismologie ou séismologie. Le sismomètre est un pendule à forte inertie relié à un bâti ou support solide du sol et de ses mouvements. Le pendule est relié au support avec un seul degré de liberté (axe de rotation) qui, suivant son orientation, permet d'enregistrer soit les mouvements horizontaux, soit les mouvements verticaux du sol. Lorsqu'un train d'ondes se propage, le support se déplace avec le sol, tandis que le pendule tend à rester immobile à cause de son inertie. Le mouvement relatif entre pendule et support est amplifié puis enregistré de façon graphique ou numérique. L'appareil comporte un système d'amortissement et un dispositif enregistrant simultanément le temps. De nos jours, on utilise des sismographes électromagnétiques qui mesurent la vitesse de mouvement du sol.

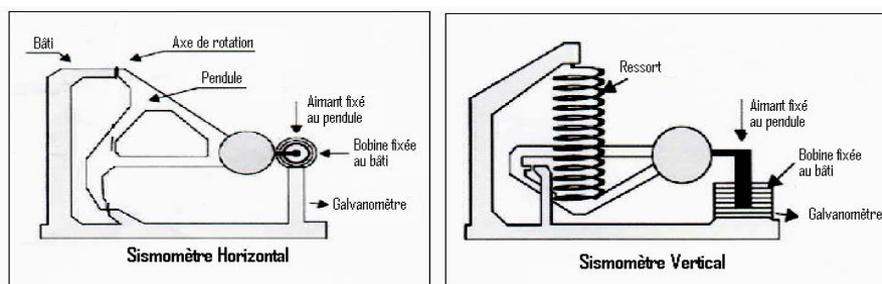


FIG 1. 8. Schémas des sismomètres horizontaux et verticaux.

Le temps qui sépare l'arrivée des ondes P et des ondes S permet de déterminer l'emplacement d'un épicentre inconnu. Pour chaque station, l'épicentre se situe sur un cercle de rayon égal à la distance épicentrale. Le point de rencontre de trois cercles (de trois stations) permet la détermination de l'épicentre.

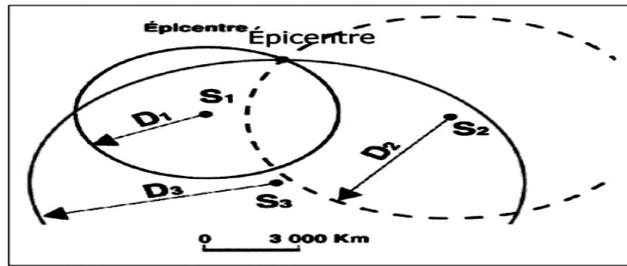


FIG I.9. Détermination de la position de l'épicentre.

✧ Méthode Des Cercles

Pour cette méthode il faut utiliser au moins trois stations d'enregistrement situées en des lieux différents et qui enregistrent la composante verticale des ondes P et S.

✧ Hypothèses

- L'onde emprunte le trajet le plus court.
- Ce trajet est une ligne droite. (cela reste une simple approximation).

Pour une seule station ;

Temps d'arrivée de l'onde «P» :

$$t_p = t_0 + \left(\frac{d}{V_p} \right) \quad (I.1)$$

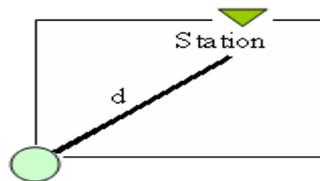
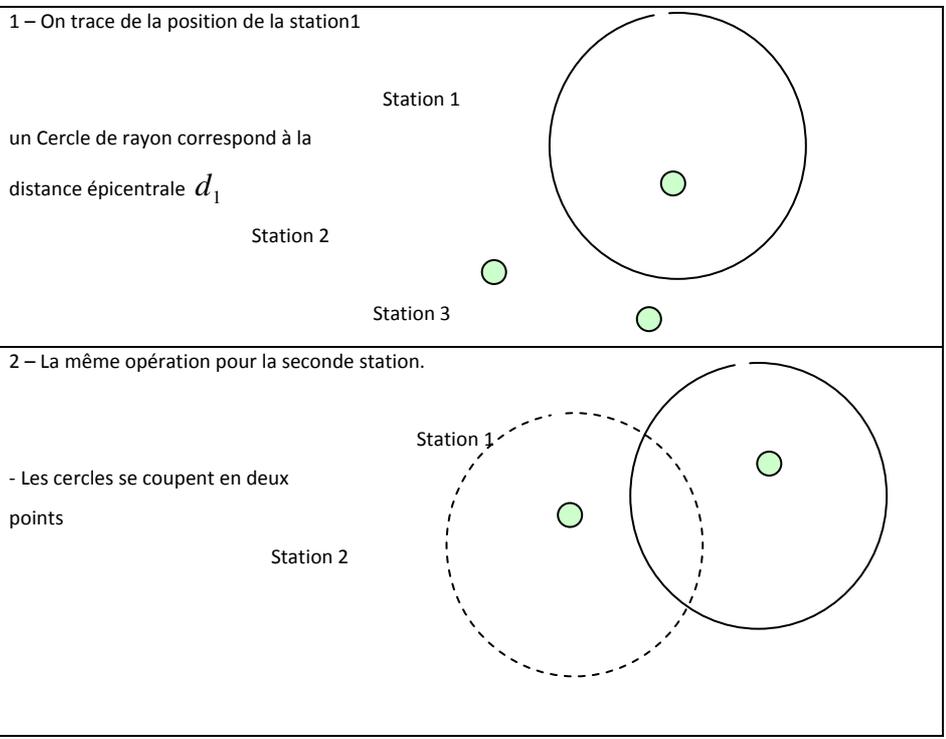


FIG I.10. Station d'enregistrement et épicentre d'un séisme.

Temps d'arrivée de l'onde «S» :

$$t_s = t_0 + \left(\frac{d}{V_s} \right) \quad (I.2)$$

Dans la pratique, la profondeur est généralement négligée. Les étapes pour la détermination du foyer d'un séisme sont illustrées dans la représentation graphique suivante ;



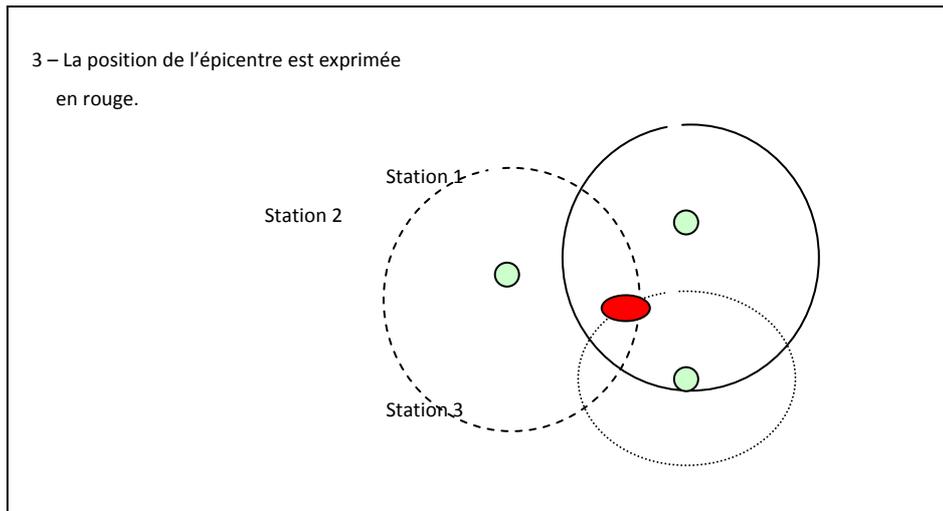


FIG 1.11. Etapes à faire dans la méthode des cercles.

✧ **La Méthode des hyperboles**

Elle nécessite également l'utilisation de trois stations au moins. Les ondes sismiques qui sont utilisées dans cette méthode, sont celles de «P».

On a :

$$t_1 = t_0 + \left(\frac{d_1}{V_P}\right) \quad (1.3)$$

$$t_2 = t_0 + \left(\frac{d_2}{V_P}\right) \quad (1.4)$$

Soit ;

$$t_1 - t_2 = (d_1 - d_2) / V_P \quad (1.5)$$

Et donc :

$$d_2 - d_1 = V_P * (t_2 - t_1) \quad (1.6)$$

La vitesse des ondes «P» est connue, et la différence des temps permet de connaître la différence entre les distances.

-- L'ensemble des points de distance, nous définit une figure géométrique, que l'on appelle hyperbole, construit entre deux stations.

Même chose pour cette méthode, on va faire comme la méthode précédente.

- **Vitesses de propagation des ondes sismiques**

Si on assimile le sol à un milieu élastique et homogène caractérisé par :

La vitesse v_p des ondes P est donnée par l'expression suivante :

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\nu}{\rho}} \quad (1.7)$$

La vitesse v_s des ondes S par :

$$v_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (1.8)$$

Avec :

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1-2\nu)(1+\nu)} \quad (1.9)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (1.10)$$

(λ , G) : représentent les constantes de Lamé.

Le rapport des vitesses de propagation des ondes P et S peut se mettre sous la forme :

$$\frac{v_p}{v_s} = \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{(1-2\nu)}} \quad (1.11)$$

Il apparaît selon l'expression que le rapport des vitesses des ondes primaires et secondaires ne dépend que du seul coefficient de poisson du sol, ainsi :

Pour : $\nu = 0$; $\frac{v_p}{v_s} = 1,41$ Pour : $\nu = 0,20$; $\frac{v_p}{v_s} = 1,63$

Pour : $\nu = 0,15$; $\frac{v_p}{v_s} = 1,56$ Pour : $\nu = 0,25$; $\frac{v_p}{v_s} = 1,73$

Ainsi donc, les ondes longitudinales P se propagent, en moyenne, à environ une fois et demie plus vite que les ondes transversales S, et ce dans l'hypothèse d'un sol homogène et élastique. En réalité la vitesse de propagation des ondes sismiques dépend de plusieurs facteurs dont notamment la composition minéralogique et texture du sol. BIRCH (1942), CLARK (1966) et SERRA (1970) ⁽ⁱⁱⁱ⁾ ont établis une synthèse de différents travaux sur les vitesses de propagation sismiques en fonction de la nature des sols. Les résultats de leurs travaux de recherches sont reportés dans le tableau suivant :

TABEAU I.3 Ordre de grandeur des vitesses de propagation des ondes P et S.

Matériaux	Vitesse v_p (Km/s)	Matériaux	Vitesse v_p (Km/s)	Vitesse v_s (Km/s)
Alluvions	0,5 – 2,0	Gneiss	3,1 – 5,4	//
Marnes	1,8 – 3,8	Basalte	3,0 – 6,4	//
Sables	0,2 – 2	Granite	4,0 – 5,7	2,1 – 3,3
Calcaire	1,7 à 6,4			
Grés	1,4 – 6			

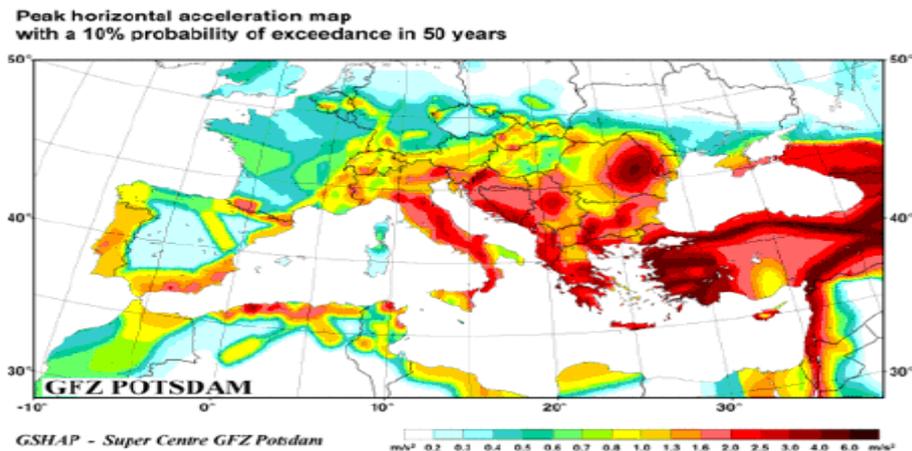
La construction en zone sismique nécessite dans un premier temps l'identification de ces zones (on parle de micro zonage sismique) et dans une seconde phase quantifié le séisme par des grandeurs pouvant être directement utilisé par les ingénieurs et les architectes.

DEUXIEME CHAPITRE

L'ALGERIE ET LE SEISME : UNE HISTOIRE DOULOUREUSE

1. INTRODUCTION

Le risque sismique reconnaît une grande progression dans le monde, dans la méditerranée où on trouve trois continents, la figure qui est au dessous nous montre que l'activité sismique autour de méditerranée est grand sur tout dans les pays de Türkiye, Sud d' Italie les pays de Baltiques. Une grande partie de l'Algérie notamment le nord est touché par le séisme notamment les régions de centre (ALGER, BOUMERDES). Les Algériens se rappellent du terrible séisme qui à touché Al Asnam le 10/10/1980 (Magnitude = 7,3). Plus récemment, et plus exactement le mercredi 21 mai 2003, un séisme de magnitude 6,8 sur l'échelle Richter a touché la Wilaya de BOUMERDES. Par contre en Maroc il ya une activité sismique mais pas comme l'Algérie. En France les régions les plus touchées se trouvent l'Ouest et le Sud Ouest. L'activité sismique en Algérie du Nord s'explique par la théorie de la tectonique des plaques. L'affrontement d'environ 1cm/an des deux plaques tectoniques Afrique Eurasie qui entraîne la déformation des parties méridionales de l'Europe et septentrionale de l'Afrique et donne lieu aux séismes qui secouent notre pays. Ces séismes sont générés par des failles tectoniques dont ils donnent la naissance de la chaîne de montagne Atlasique au Maghreb. En Algérie: le CRAAG dispose de la liste complète des séismes en Algérie et ce depuis l'année 1716.



Carte II.1 Zonage sismique dans le méditerranée (iiiiv)

L'activité sismique du Nord Algérien s'explique bien par la théorie de la tectonique des plaques. C'est l'affrontement (d'environ 1 cm/an) des deux plaques tectoniques Afrique – Eurasie qui engendre les séismes qui secouent notre pays.

1. QUELQUES SEISMES QUI ONT TOUCHES L'ALGERIE

1) SEISME D'EL ASNEM

Le séisme du 9.09.1954, de magnitude 6,7 a énormément enrichi les connaissances sur la tectonique de la région d'El CHLEF. Ainsi bien avant le terrible séisme du 10.10.1980, la marge nord Africaine était déjà considérée comme une structure géologique active. Le dix Octobre 1980, à 12h et 25mn, un séisme de magnitude 7,3 touches la ville d'El Asnam, suivi de deux répliques importantes (M=6 et 6,1) à quelques heures d'intervalles générant une faille de nature inverse de près de 40km de long. Cette catastrophe, la plus grande pour l'Algérie indépendante, a provoquée de nombreuses pertes en vies humaines, des destructions d'habitations en grand nombre, des dommages importants à des infrastructures de liaisons et a des équipements publics. Selon un bilan de la Protection civile le séisme du 10/10/1980 a provoqué les pertes suivantes :

- Pertes humaines et nombre des sinistrés
 - 2633 morts.
 - 8369 blessés.

- 348 disparus.
- 478948 sinistrés.
- Pertes matérielles
- 212 édifices publics détruits.
- 785 édifices endommagés.
- 29747 logements détruits.
- 24609 logements endommagés.
- 307 locaux commerciaux endommagés.

Les dégâts matériels sur l'ensemble des structures été évalués à plus de 2 Milliards de DOLLARS, ce qui représentait à l'époque environ 20 % des rentrées en devises.

EFFETS SUR LES RESEAUX VITAUX ET OUVRAGES D'ARTS

- Ouvrages d'arts (barrages et ponts) : les barrages de la région n'ont subi aucun dommage sérieux. Seuls trois ponts ont été gravement endommagés
- Réseaux routiers : l'ensemble du réseau routier dans la zone épiscopale a été sévèrement endommagé. Les routes ont été coupées en plusieurs endroits par des crevasses de 2 mètres de large.
- Voie ferrée : la voie ferrée a été endommagée sur plus de 30km, avec des distorsions des rails à la suite des déformations de sol.
- Réseaux de télécommunications : le réseau téléphonique a subi des dommages sur plus de 100km.
- Réseau électriques et gaziers : d'une manière générale ces deux réseaux n'ont pas subi de dommages notables.

EFFETS DE TERRAIN

- Faïlle : Une faille de 40 km avec une largeur de 500 m est apparue. Un rejet vertical de 1 à 1,6m et un rejet horizontal de 0,5 à 1,5 ont été observés
- Rupture du sol : Des ruptures de sol spectaculaires par glissements de talus naturels et par liquéfaction de sables saturés suivie de tassements à grande échelle ont été observées ;

Des liquéfactions de sol sont apparues sur les berges de l'Oued CHLEF.

- Réseau d'adduction d'eau potable : L'aqueduc qui traverse la ville de CHLEF s'est effondré en plusieurs endroits.



FIG II.2 Effets de sol

2) SEISME DE BOUMERDES

Le 21 Mai 2003 un tremblement de terre violent a secoué la Wilaya de Boumerdes. La magnitude était de 6,8 sur l'échelle de Richter et la profondeur de l'épicentre était d'à peine de 10Km (il s'agit donc d'un séisme superficiel), ce qui peut expliquer, toute au moins en partie, les dégâts considérables observés. Le choc principal s'est produit à 19h 44 mn et a été suivi immédiatement par de très nombreuses répliques, de plus faibles intensités. La figure suivante illustre les signaux enregistrés.

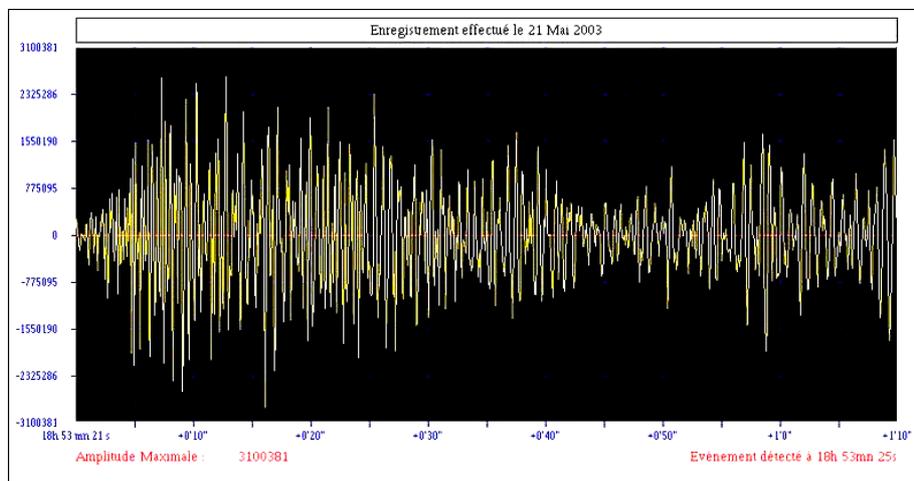


FIG II.3 Signaux enregistrés le 21 Mai 2003

L'épicentre de ce séisme a été localisé en mer très proche du littoral, à 60 km au Nord - Est de la Capitale Alger, et plus précisément à quatre kilomètres de la côte, entre Zemmouri et BOUMERDES (Long. 3.53E - Lat. 36.81N). La faille générée correspondrait à une faille inverse qui a atteint environ entre 20 et 30 kilomètres de longueur.

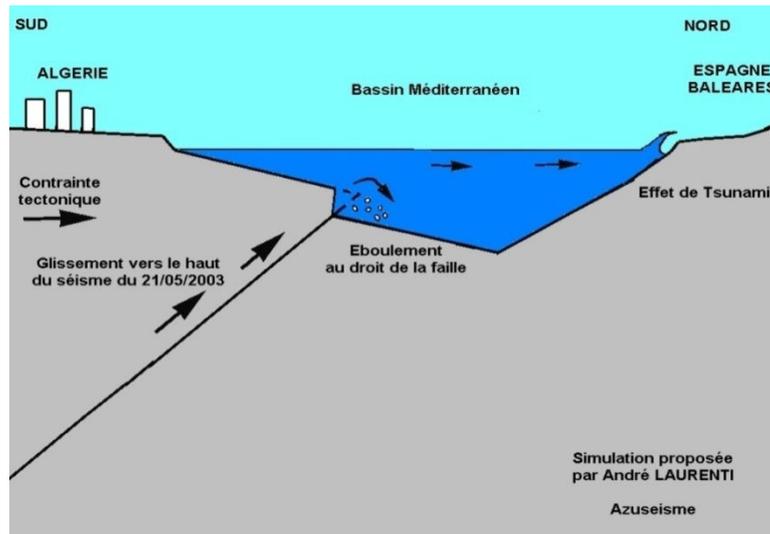


FIG II.4 Simulation du séisme du 21.05.2003 proposée par André Laurenti

Selon un bilan officiel, les pertes générées par le séisme du 21.05.2003 s'élèvent comme suit :

- 1382 morts et 3442 blessés pour la seule Wilaya de BOUMERDES
- 883 morts et 6787 blessés pour la Wilaya d'Alger
- 7 morts et 261 blessés pour la Wilaya de TIZI OUZOU

Le séisme du 21 Mai 2003 a laissé une grande trace dans nos mémoires autant qu'Algériens, il a causé la mort de plus de 2000 victimes, plus de 20000 sinistrés, des dégâts estimés à cinq milliards de dollars Américain (05Milliards \$). Plusieurs experts et agences, ont donné leurs avis sur les causes véritables (DAVIDOVICI, Agence Française de Parasismique etc.).

EXPERTISES DU SEISME DE 21-05-2003

PR CHELGHOU

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE DE HOUARI BOUMADIENE ALGER

D'après son avis; Les pertes humaines et matérielles du séisme de BOUMERDES, étaient vraiment considérables, mais il à montrer les défaillances, dans tous le domaine de la construction : dans le côté réglementation et son application. L'expertise a été menée sur les sites ; BOUMERDES, ZEMMOURI, Corso, Figuier, Si Mustapha, BAB EZZOUAR, DERGANA, Bordj El KIFFAN, Bordj El BAHRI et AIN TAYA.

❖ Comportement des bâtiments

D'après les divers constatations établies sur ses sites, les causes les plus probables des ruines, peuvent être cités comme suit ;

- ◇ Non respect des normes de conception parasismique.
- ◇ Sous dimensionnements des structures (absence de calculs de structures par des ingénieurs en dynamique de structures).
- ◇ Non respect des règles élémentaires de bonne construction.
- ◇ Non respect des dispositions constructives en zone sismiques.
- ◇ Utilisation de matériaux non conformes.
- ◇ Très faible résistance mécanique du béton (béton non vibré, présence de nombreuses ségrégations, friable de toucher...).
- ◇ Constructions sur des sites fortement instables (absence d'études de stabilité).
- ◇ Présence de niveaux transparents « soft story ».
- ◇ Distribution dissymétrique des murs en maçonnerie.

Il existe des immeubles qui sont construits dans la période coloniale et après l'indépendance, il est fort à craindre que la grande majorité et sismiquement vulnérable, il est évident de :

- ◇ Elaborer une stratégie d confortement de ce type de structures.
- ◇ Faire une étude globale de vulnérabilité du parc immobilière en fonction des cartes de micros zonages et les matériaux de constructions.
- ◇ Faire une analyse numérique (élément finis).

❖ Comportement du sol

Le choix du terrain ne doit pas être pris à la légère, il faut que des bureaux spécialisés prennent leurs véritables rôles.

- ◇ Faire une cartographie des sites.
- ◇ Les implantations doivent être localisées sur des sites délicatement sélectionnés en tenant compte des dispositions qui permettent d'augmenter la portance ainsi que le bon comportement du sol d'assise.
- ◇ Prendre des dispositions pour l'implantation des constructions dans les zones dont le sol est considéré comme sol meuble, éviter l'implantation approximation des vallées.
- ◇ Certaines expertises, ont signalé la présence du phénomène d'amplification, liées à la localisation des constructions sur des terrains inappropriés (instables, liquéfiables,...).

VICTOR DAVIDOVOCI

INGENIEUR DES PONTS ET CHAUSSEES, EXPERT EN GENIE PARASISMIQUE

FRANCE

❖ Comportement des bâtiments

Les structures qui sont contreventées par des voiles se comportent très bien à celles contreventées par poteaux, poutres, en raison de leurs ;

- Présences limitent les déformations latérales.
- Rigidité qui permet de protéger les limites non structurales et quelques poteaux existants.
- Affranchir le problème posé par la réalisation des nœuds des portiques.
- Elles permettent de ne pas être pénalisé dans le choix du coefficient de comportement en cas des panneaux de remplissage.

Il existe des bâtiments qui sont restés debout à cause de la présence des voiles en béton armé, cela nous révèle que ce type de contreventement à une très bonne résistance sismique envers l'action sismique.

Dispositions constructives conformes aux règles PS92 ;

- Armatures transversales dans les zones critiques d'extrémités des panneaux et des poutres, environ tous les 5cm.
- Armatures transversales dans les nœuds au croisement poteau, poutre.
- Seulement deux surfaces de reprise de bétonnage en pied et en tête du poteau.
- Mise en œuvre très difficile ; exige des plans avec les détails des nœuds à l'échelle 1 :1 et des ferrailleurs hautement spécialisés.

Dispositions constructives non conformes aux règles PS92 ;

- Absence des armatures transversales dans les zones critiques d'extrémités des poteaux et des poutres.
- Absence des armatures transversales dans les nœuds au croisement poteau, poutre.
- Mise en place d'une talonnette en pied de poteau d'environ 5 à 10 cm en mortier de mauvaise qualité.
- Quatre surfaces de reprise de bétonnage en pied et en tête du poteau à cause de la présence de deux talonnettes.
- Structure sans résistance à l'action sismique.



FIG II.5 Endommagement A Cause D'absence Des Armatures Transversales

Confortement des immeubles et équipements affectés par le séisme ;

La plus parts de nos constructions sont constitués des bâtiments avec portiques en béton armé, le Pr. DAVIDOVICI a proposé une série d'étapes de renforcement, tel que ;

- Structures qui n'ont pas eu / eu des déplacements importants :
 - a. Obtenir les plans d'exécution (architecte, coffrage et ferrailage).
 - b. Obtenir les notes de calculs correspondantes.
 - c. Obtenir l'étude géotechnique.
 - d. Etat des dégâts, identifiés par le bureau de contrôle, accompagné des photos en nombre suffisants et du diagnostic.
 - e. Réparation des poteaux et des poutres endommagés, pour assurer le transfert des charges verticales.
 - f. Etablir la note d'hypothèses de base en accord avec toutes les parties concernées.
 - g. Définir le niveau d'accélération de calcul 2.0 à 3.5 m/s^2 .
 - h. Introduire à l'intérieur du bâtiment des voiles en béton armé, dont il faudra définir ;
 - ▲ L'épaisseur : généralement de 15 à 20 cm .
 - ▲ Le nombre : plus le nombre est important, plus l'effort à transmettre est réduit et les dispositions constructives moins contraignantes.
 - ▲ La disposition en plan pour éviter ou limiter les torsions d'axe vertical.
 - ▲ La capacité du plancher à transmettre les efforts vers les voiles.
 - ▲ Les liaisons avec la structure existante.
 - i. Utilisé un calcul simplifié pour déterminer les efforts vers les voiles.
 - j. Réaliser des fondations spécifiques pour les voiles en bétons reliées avec les semelles isolées des poteaux.

Le travail d'une équipe peut faciliter l'application de cette solution, cette première doit être composée de ;

- *Maître d'ouvrage.*
- *Maître d'œuvre.*
- *Bureau d'étude.*
- *Bureau de contrôle.*

L'AGENCE DE GENIE PARASISMIQUE (C.G.S) ET L'AGENCE FRANÇAISE de
PARASISMIQUE (A.F.P.S)

Les expertises ont touchées divers types de bâtiments, comme:

- ◇ Bâtiments d'habitations et de commerces.
- ◇ Viaducs et ponts.
- ◇ Silos.
- ◇ Bâtiments industriels et équipements.

Comportement des bâtiments et des ouvrages :

Les locales expertisés se trouvent à : BOUMERDES, CORSO, ZEMMOURI, SIDI DAOUD et DELLYS.

Ils se décomposent en trois catégories :

- a. Constructions anciennes en maçonnerie et construction en pierre non chaînées.
- b. Constructions en voiles.
- c. Constructions poteaux, poutres.

Pour les structures de types (b) ;

- Apparition des fissures de la maçonnerie.
- Décollement des panneaux préfabriqués de façades.

Pour les structures de types (c) ;

Il est à remarquer que la majorité les bâtiments inférieurs à RDC+4, se sont effondrer ?

D'après AFPS et CGS, les causes de ruines ;

❖ Comportement structural

La présence des panneaux en maçonnerie relativement rigides. La structure dans sa phase élastique encaisse des charges sismiques élevées. Cependant sa résistance limitée ne lui permet de tenir. Seule sa capacité de dissiper l'énergie par la ductilité, peut éviter son effondrement. Cette capacité peut être assuré ;

- ◇ Dispositions constructives anti- sismique.

- ◇ Matériaux adéquats.
- ◇ Réalisation fidèle à la conception et à l'étude de l'ingénieur.

Remarque

La plupart des structures qui se sont effondrées, se sont produits en tête et/ ou a la base des poteaux du RDC et/ ou premier niveau ; a cause de l'insuffisance ou du manque de la ductilité.

❖ Qualité des matériaux

Sur plusieurs constatations, la qualité des matériaux est à discuter ; surtout la qualité du béton coulé sur place, il présente plusieurs défauts :

- ◇ Agrégats non adéquats ou sales.
- ◇ Béton de sable (agrégats très fins).
- ◇ Béton sous dosé en ciment.
- ◇ Rapport eau/ciment élevé.

❖ Dispositions constructives

Le manque de la ductilité cité précédemment, qui à l'origine des endommagements enregistrés sur les différentes structures, le manque de:

- ◇ Manque de cadres aux nœuds (béton de nœuds non confirmé).
- ◇ Faible ancrage des barres de poutres dans les poteaux.
- ◇ Reprise de bétonnage et zones de recouvrement.

Quelques Images Démontrant Les Impacts Du Séisme

- Rez De Chaussées Flexibles





FIGII.6 Impactes des Rez De Chaussées Flexibles

- Les Etages Flexibles



FIG II.7 Impactes Des Etages Flexibles

- Les Contreventements Dissymétriques:
- Si le centre de masse "M" et centre de torsion ne coïncide pas avec le centre, qu'il est décentré, le bâtiment subit une torsion autour du centre de rigidité lorsque survient un séisme. Cette torsion génère notamment d'importants déplacements relatifs entre le pied et à la tête des colonnes les plus éloignées du centre de rigidité, qui cèdent rapidement dans la plupart des cas.

Il est impératif que le centre de résistance se confonde avec le centre de masse, ou du moins lui soit proche et que la résistance à la torsion soit suffisamment élevée.



FIG II.8 Dissymétrie de contreventement

Remarques

Selon les expertises DAVIDOVICI ; d'AFPS et CGS qui se sont intéressées à l'étude et à la disposition des armatures qui a considéré qu'ils sont insuffisant. DAVIDOVICI a proposé l'utilisation de voiles pour les constructions car ce type de contreventement se comporte bien vis-à-vis au séisme.

- La pluparts de constructions construites par poteaux - poutres se sont effondrées à cause de la mauvaise étude sismique, le choix des poutres fortes et poteaux faibles.
- Le mauvais choix des matériaux des constructions.
- L'absence totale de l'ingénieur de génie civil (étude et suivi).
- L'absence de l'analyse de sol.

Pour cela les autorités ont disposé des éléments qui leurs permettent de connaître et d'estimer les pertes à l'avance avec une marge d'erreur acceptable; de telle sorte que;

- Avant l'évènement : Elaborer des plans de secours pertinents et généralisation des actions de préventions.
- Durant l'évènement : Entreprendre les secours et les interventions d'urgence avec l'efficacité requise.
- Après : Reconstruction et aménagement dans les conditions plus difficile.

1. CADRE LEGISLATIF (ALGERIE) ^(v)

Les lois éditées ont pour but de :

- ◇ Prévenir et gérer les risques naturels.
- ◇ Protéger et désengorger la frange littorale de notre territoire.
- ◇ Réglementer la construction.

- ◇ Impliquer la population dans la protection de l'environnement et la gestion des risques majeurs.
- ☒ Loi N° 01-20, du 12 Décembre 2001; relative à l'aménagement et au développement durable du territoire.
- ☒ Loi N° 02-02, du 05 Février 2002 ; relative à la protection et à la valorisation du littorale.
- ☒ Loi N° 90-29, du 01 Décembre 1990; relative à l'aménagement et à l'urbanisme.
- ☒ Décret N°91-75, du 28 Mai 1991, définissant les règles générales d'urbanismes et de construction.
- ✓ Article 3: lorsque la construction ou l'aménagement est protégé sur un terrain exposé à un risque naturel (Inondation, Séisme, Eboulement...) le permis de construction peut être refusé ou admet qu'à des conditions spéciales requises par les lois en vigueur.
- ✓ Article 8 et le décret exécutif cité (article : 3, 5, 17 et 18) ; fixent des descriptions spécifiques aux terrains et constructions à usage professionnel ou individuel.
- ☒ Loi N° 02-08, du 08 Mai 2002; relative aux conditions de créations des villes nouvelles et de leur aménagement.

Les autorités ont créés d'autres dispositifs par la création des services compétents qui ont pour but de règlementer et de surveiller constructions; comme :

- La commission Technique Permanente **C.T.P** ^(vi).
- Groupe de Travail Spécialiste **G.T.S**.
- Centre National de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique **CRAAG**.
- Centre de Génie Sismique **C.G.S** ^(vii).
- Direction de l'urbanisme et de la construction **D.U.C**.
- Service de la direction de logement et des équipements Publics **D.L.E.P**.
- Office de Promotion Et De Gestion Immobilière Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment **C-N-E-R-I-B** ^(viii).

TROISIEME CHAPITRE

EVALUATION DE L'ACTION SISMIQUE SELON LES CODES RPA99/03 ; RPS2000 ET PS92/97

1) HISTORIQUE DE LA SISMOLOGIE AU MAROC

Le Maroc a subi par le passé plusieurs tremblements de terre destructeurs. Quelques villes ont même été partiellement ou en grande partie détruites: AGADIR (1731, 1761), FES (1522, 1624, 1755), MARRAKECH (1719, 1755), MEKNES (1624, 1755), MELILLIA (1821, 1848), RABAT-SALE (1755), TANGER (1755, 1773). Ce n'est qu'au début du vingtième siècle que l'on a commencé à avoir des renseignements scientifiques sur les séismes au Maroc ; où en 1904, les premières études scientifiques avaient signalé que le Maroc, comme les autres pays de l'Afrique du Nord et l'Espagne, était exposé aux séismes. A partir de 1932, des enquêtes macrosismiques pour tout le Maroc ont été organisées par l'Institut Scientifique Chérifien (devenu Institut Scientifique) grâce au réseau d'observateurs météorologiques et aux enquêtes par questionnaires.

En 1934, une première liste des séismes ressentis au Maroc avant 1932 a été établie. Ce n'est qu'en 1937 que la première station sismologique fut installée au Maroc à l'observatoire Ibn Rochd (Averroès) de l'Institut Scientifique (Université Mohammed V-Agdal, Rabat); la deuxième station n'a vu le jour qu'en 1964 à l'observatoire d'Ifrane après le tremblement de terre d'Agadir (1960). Le développement assez important du réseau sismologique national à partir de 1979 a permis d'améliorer sensiblement la localisation instrumentale des épicentres.

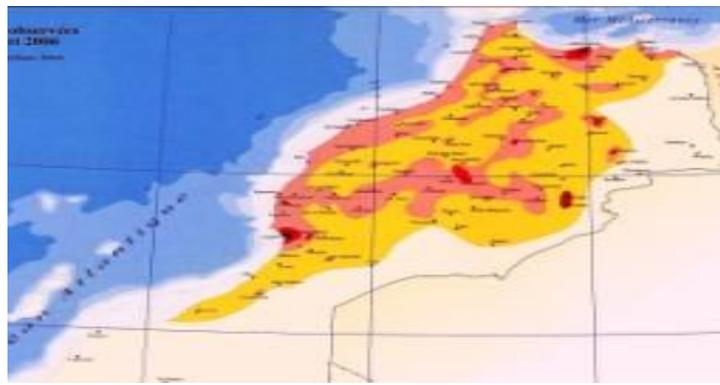
(I) CARTE DES INTENSITES MAX RESENTIES (1901-2006)

Pour mesurer et classer les séismes, deux échelles sont utilisées. L'une, ***la magnitude***, exprime la puissance des séismes, elle est calculée, généralement, à partir de l'amplitude maximale du signal enregistrée par le sismographe.

L'autre, ***l'intensité***, est représentée par une échelle qui caractérise les effets ressentis et / ou observés par l'homme (dégâts aux constructions, brèches dans le sol, glissements de terrain...).

Cette carte des intensités maximales observées a été établie à partir d'environ 1600 valeurs d'intensité observées dans 660 localités marocaines entre 1901 et 2006.

- **Les intensités destructrices (X et IX)**, sont observées à Agadir et sa région, et sont dues au séisme destructeur du 29 Février 1960. L'intensité IX a été observée également dans la province d'Al Hoceima lors du séisme du 24 février 2004 (voir article sur ce séisme).
- **Les intensités fortes (VIII et VII)**, localisées à différents endroits du Maroc, elles sont dues essentiellement à la sismicité locale.
- **L'intensité moyenne à forte (VI)**, est due à la sismicité locale pour les régions situées à l'intérieur du pays et à la sismicité de l'océan Atlantique pour les régions côtières de Tanger jusqu'au nord d'Agadir.
- **L'intensité moyenne (V)**, prédomine dans le reste du Maroc, sauf à l'Est et au Sud où la sismicité paraît faible à négligeable.



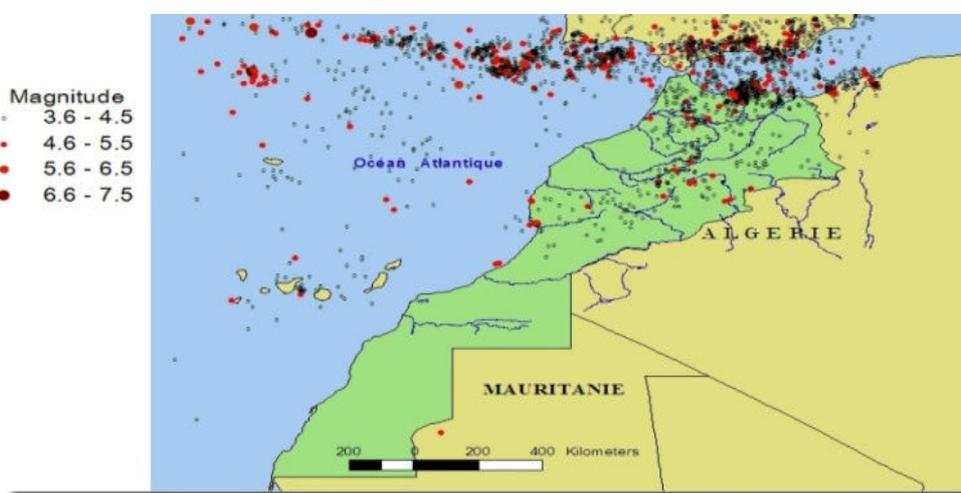
Carte III.1 : Carte des intensités maximales ressenties (1901-2006).

(II) SISMICITE

Le Maroc est situé à l'extrémité nord-occidentale de l'Afrique, là où la plaque africaine rentre en collision avec la plaque européenne dont le taux de rapprochement est d'environ 0.5cm/an au niveau du détroit de Gibraltar. Cette position particulière du Maroc se traduit actuellement par une sismicité relativement importante qui reflète la poursuite de la convergence entre ces deux plaques lithosphériques. La limite entre celles-ci est soulignée par l'alignement des épicentres entre les Açores et le détroit de Gibraltar.

La sismicité observée au Maroc depuis le début du vingtième siècle, a été relativement modérée, il n'y a eu que deux séismes de magnitude supérieure ou égale à 6: Agadir en 1960 (12.000 morts) et Al Hoceima en 2004 (629 morts); cependant, d'autres séismes de magnitudes inférieures ont provoqué la mort de nombreuses personnes et ont causé des dégâts importants (Atlantique, 1969; Rissani, 1992; Al Hoceima, 1994).

- La carte de sismicité du Maroc et des régions limitrophes pour la période 1901 – 2004 montre que les épacentres sont répartis dans trois domaines:



Carte III. 2 Sismicité du Maroc.

- Domaine atlasique : où l'activité sismique est principalement localisée dans le Moyen Atlas et le Haut Atlas central. Cette sismicité est due en grande partie à la présence d'un réseau complexe de failles tectoniquement actives; dans le Haut Atlas, l'accident sud atlasique, qui part d'Agadir et passe à proximité de Figuig, est jalonné par des épacentres qui peuvent être violents comme celui d'Agadir.
- Domaine bético-rifain : c'est toute la région comprise entre le sud-est de l'Espagne au Nord et la chaîne rifaine au Sud. Il est le siège d'une activité sismique intense qui témoigne du rapprochement et de la collision des deux plaques Afrique – Eurasie.
- Domaine atlantique : où on distingue clairement la limite entre les deux plaques, représentée par la ligne sismique Açores – Gibraltar – Sicile. Celle-ci est jalonnée par des séismes de magnitude pouvant atteindre ou dépasser le degré 7. Par ailleurs, ces

séismes océaniques peuvent affecter le Maroc et la péninsule Ibérique comme se fut le cas lors des tremblements de terre de 1755 et 1969.

A partir de l'historique des séismes produits au Maroc, les règles RPS 2000 ont établis un zonage territorial (révisables en fonction de faits nouveaux tant expérimentaux que théoriques). Ainsi le Maroc est à l'heure actuelle partagé en trois zones, représentée par le coefficient (A), dit coefficient d'accélération, qui représente le rapport entre l'accélération maximale A_{\max} du sol et l'accélération de la gravité g .

$$A = \left(\frac{A_{\max}}{g} \right) \quad \text{(III.1)}$$

2) HISTORIQUE DE LA SISMOLOGIE EN FRANCE

Quelques séismes qui ont frappés la France.

Dans les Alpes

- Dans l'arrière pays niçois en 1494, 1564, 1618, 1644
- Dans le Piémont et le Briançonnais en 1808
- En Bugey-Chautagne en 1822
- En Ligurie occidentale en 1887
- Dans la vallée de Chamonix, le 29 avril 1905
- En basse Provence, le 11 juin 1909 (46 morts, région de Lambesc)
- En haute Provence, en 1509, 1708, 1812, 1913 (région de Manosque)
- Dans le Queyras (Guillestre), le 19 mars 1935
- Dans la vallée de l'Ubaye (St-Paul d'Ubaye en amont de Barcelonnette), le 5 avril 1959
- Dans le Vercors (Corrençon), le 25 avril 1962
- En Haute-Savoie (Le Grand-Bornand), le 14 décembre 1994
- En Haute-Savoie (Annecy), le 15 juillet 1996

❖ Dans les Pyrénées

- En Cerdagne en 1428 (plusieurs dizaines de morts)
- En Bigorre (Bagnères) en 1660 (12 morts), 1750, 1854

- Dans le Val d'Aran en 1923
- En Béarn (Arette), le 13 août 1967 (1 mort)
- En Béarn (Arudy), le 29 février 1980
- En Cerdagne (St-Paul de Fenouillet), le 18 février 1996

Ailleurs la sismicité est plus sporadique. Les grandes failles du massif armoricain sont responsables de la sismicité de la

Bretagne, de la Vendée, du Poitou, de l'Anjou et des Charentes.

- En Poitou, 1711 et 1772
- En Vendée, en 1799
- En Morbihan, le 9 janvier 1930
- En Finistère, le 2 janvier 1959
- A Oléron, le 7 septembre 1972

Les failles qui bordent les fossés d'Alsace, du Rhône et du Massif Central engendrent une sismicité non négligeable :

- 1356 à Bâle et dans le Sundgau alsacien (300 morts)
- 1477 et 1490 en Limagne
- 1773 et 1873 dans le Tricastin

❖ D'autres régions ont connu de forts séismes

- Les Vosges (1682)
- Le détroit de Calais (1382, 1580)
- Le Bordelais (1759)

Le Bassin Parisien et le Bassin Aquitain sont les deux régions de France où la sismicité est la plus faible.

3) HISTORIQUE DEVELOPPEMENT DES REGLES PARASISMIQUES

(I) FRANCE

Dates d'application	Ouvrages	Textes réglementaires	Textes techniques
Avant le 1 ^{er} juillet 1993	<ul style="list-style-type: none"> • IGH • Marchés de l'État • ERP 1^{re}, 2^e et 3^e catégories • Habitations collectives en zones II et III, maisons individuelles (max R+1) en zone III • ERP 4^e catégorie • IGH • Marchés de l'État • ERP du 1^{er} groupe 	Arrêtés (1967,1977) Décret (1977) Arrêté (1977) Arrêté (1981) Arrêté (1982) Arrêté (1982) Décret (1983) Décret (1986), arrêté (1986)	Règles PS 69 (règles de construction parasismique) puis Règles PS 69/82
À partir du 1 ^{er} juillet 1993	Bâtiments autres que maisons individuelles	Décret n°91-461 du 14 mai 1991 modifié par décret 2000-892 du 13 septembre 2000 Arrêté du 16 juillet 1992	Règles PS 69/82
1 ^{er} juillet 1994	Maisons individuelles et bâtiments assimilés	Arrêté du 16 juillet 1992	Règles PS 69/82 Règles PS-MI (maison individuelle) 89/92
1 ^{er} août 1994	Installations classées	Arrêté du 10 mai 1993	Circulaire DPPR/SEI du 27 mai 1994
1 ^{er} avril 1996	Ponts	Décret n°91-461 du 14 mai 1991 et modification du 13 sept. 2000 Arrêté du 15 septembre 1995	Guide AFPS de construction parasismique des ponts
1 ^{er} janvier 1998	Bâtiments nouveaux et bâtiments existants		
1 ^{er} juillet 1998	Bâtiments d'habitation de moins de 28 m de hauteur	Arrêté du 29 mai 1997	Règles PS 92

(II) MAROC

- Norme d'Agadir 1960
- Règles parasismiques 1982 (semblable aux ps69) annexée une carte des zones de sismicités
- Avril 2000 présentation du nouveau règlement sismique marocain du bâtiment « RPS 2000 ».

(III) ALGERIE

Le premier règlement parasismique, intitulé «Recommandations AS 55», a été élaboré par les autorités d'occupation, et cela suite d'un séisme de magnitude 6,7, qui a frappé la région de CHLEF (Orléans à l'époque) le 9 septembre 1954. Quoique assez sommaire ce règlement a néanmoins été utilisé pour la reconstruction de la ville. En 1969, les règles parasismiques françaises PS 69 ont vu le jour et ont été appliquées uniquement en Algérie sur demande express du maître de l'ouvrage. L'application de ces règles n'est devenue obligatoire qu'à partir de 1979. Des règles strictement Algériennes ont commencées à être élaborées conjointement par l'Organisme National de Contrôle Technique de la Construction (CTC) et l'Université Américaine STANFORD de Californie, représenté par le professeur H.SHAH, qui est un éminent sismologue. La publication des résultats des travaux de cette commission a été accélérée suite au terrible séisme qui a frappé la région d'El Asnam au mois d'octobre en 1980, et qui fut la plus grande tragédie de l'Algérie indépendante. Ces règles connues sous l'appellation de règles parasismiques Algériennes (ou RPA) ont été approuvées officiellement en 1983. Depuis, ces règles ont subi plusieurs actualisations, et ce pour tenir compte des nouvelles connaissances sur la sismicité du pays et autres leçons tirés des séismes les plus récents (CHENOUA en 1988, BOUMERDES en 2003).

4) REGLES PARASISMQUES

Les normes de construction parasismique (Les normes de construction parasismique sont un ensemble de règles de construction à appliquer aux bâtiments pour qu'ils résistent le mieux possible à un séisme.) sont un ensemble (En théorie des ensembles, un ensemble, désigne intuitivement une collection d'objets (que l'on appelle éléments de l'ensemble), « une...») de règles de construction à appliquer aux bâtiments pour qu'ils résistent le mieux possible à un séisme, a pour principal objectif de: Prévenir l'effondrement des bâtiments, notamment en y intégrant un ou des dispositifs destinés à limiter la réponse du bâtiment à l'oscillation du sol (appuis antisismiques).

- La protection des infrastructures peut aussi faire appel à leur renforcement.
- La réduction de l'effet des mouvements du sol sur le bâtiment peut être obtenue de plusieurs manières :
 - Rendre le bâtiment assez « souple » pour que l'énergie des mouvements du sol ne le brise pas sous sa propre inertie ;
 - Monter le bâtiment sur des amortisseurs qui vont absorber une partie de l'énergie du mouvement du sol.
 - Une troisième technique est aussi employée depuis peu : il s'agit de mettre en place un contrepoids au sommet du bâtiment, qui va se déplacer en réponse aux mouvements du sol de sorte que le centre d'inertie du couple (bâtiment, contrepoids) ne bouge pas lorsque le sol tremble.

(1) CALCUL SISMIQUE

D'une manière générale, le calcul de la force sismique sur une construction suit le processus général suivant :

- Détermination de l'accélération en fonction de la zone d'implantation et de l'importance de l'ouvrage ;
- Détermination des caractéristiques dynamiques de la structure (périodes, amortissements, etc..) ;
- Evaluation de l'action sismique suivant le code de calcul en vigueur (à l'instar des règles RPA en Algérie par exemple) ;
- Répartition de la charge sismique de calcul entre les différents éléments de contreventement de la structure, en recourant aux méthodes habituelles de la résistance des matériaux ;
- Vérification de la résistance et de la stabilité des éléments constitutifs.

Pour les bâtiments, les forces d'origine sismique seront toujours appliquées au niveau *des planchers des ouvrages*, et le calcul se fera simultanément dans le sens longitudinal et dans le sens transversal. Enfin pour les bâtiments à forme complexe.

Pour l'évaluation des forces sismiques sur les ouvrages, nous disposons à l'heure actuelle de trois approches :

➤ **La Méthode Statique Equivalente** :

Le principe consiste à remplacer l'action dynamique sismique par une charge statique équivalente, censée provoquer les mêmes effets.

Pour les bâtiments réguliers et moyennement réguliers, on peut simplifier les calculs en ne considérant que le premier mode de la structure (mode fondamental)

Cette méthode a pour but de se substituer au calcul dynamique plus compliqué en ne s'intéressant qu'à produire des effets identiques.

➤ **La Méthode Temporelle**:

Elle se base sur les accélérogrammes et les réponses de la structure sont données par l'intégrale de DUHAMEL.

Elle est précise car elle permet d'analyser le maximum de la somme des déformations engendrées par des séismes orthogonaux dans le temps mais elle est difficile à mettre en œuvre car elle demande des calculs lourds et poussés.

➤ **La méthode d'analyse nodale spectrale** :

Utiliser directement les spectres de dimensionnement puisque ce sont surtout les maxima des réponses qui intéressent le concepteur et non la variation temporelle.

Elle permet de simplifier les calculs.

La structure et l'étude comporte cinq phases :

1. Détermination du spectre de réponse ;
2. Détermination des caractéristiques dynamiques de la structure ;
3. Détermination des forces statiques équivalentes au moyen du spectre de réponse pour différentes périodes (fondamentale et d'ordres supérieurs) ;
4. Détermination des efforts dans les éléments ;
5. Analyse nodale.

(II) MODELISATIONS

Le but du concepteur est de bien calculer la réponse de l'ouvrage dans sa globalité mais le plus intéressant c'est de ne perdre de vue la nécessité d'une bonne modélisation de la structure.

Les interactions entre la structure, les éléments non structuraux ou avec le sol ne paraissent pas prépondérantes elles peuvent influencer la réponse de la structure à l'action sismique.

Le but de la modélisation est de restituer une bonne répartition des masses et des raideurs de la structure. Quelques problèmes se posent dans la répartition des raideurs:

La fissuration du béton armé.

- Propriétés du sol.
- Pour les constructions métalliques le jeu c'est dans le boulonnage.

❖ Modélisation Des Masses

La modélisation classique constitue en une console verticale où l'on attache des masses concentrées correspondant à chaque niveau de l'ouvrage. Dont leur nombre et leur position doit être en accord avec la répartition réelle des masses aussi bien en plan que sur la hauteur.

❖ Modélisation Des Eléments Non Structuraux

Ce sont les éléments qui n'influencent pas la résistance de l'ouvrage. D'une manière générale, ils augmentent la raideur et on ajoute alors des nœuds secondaires pour tenir compte de la rigidité de ces éléments.

❖ Modélisation De L'interaction Sol-Structure

La réponse de la structure reste soumise aux propriétés du sol. Dans le cas des ouvrages courants et des méthodes simplifiées, on élimine l'interaction sol structure en considérant l'ouvrage parfaitement encastré dans le sol. De manière générale, on peut la négliger pour des bâtiments rigides construits sur sols durs.

Pour les sols mous, on peut intervenir de façon:

- Augmentation de l'amortissement.
- Allongement de la période de vibration qui est souvent un point positif.

Pour la modéliser, on considère que le sol est homogène comme à un bloc et que les ondes qui parviennent sur la structure sont des ondes de volume se propageant verticalement.

Pour cela on utilise:

- Modélisation du sol par des éléments finis.
- Modélisation du sol par des ressorts.

(III) EVALUATION DE L'ACTION SISMIQUE

LA METHODE STATIQUE EQUIVALENTE

Le début de l'élaboration théorique du génie sismique se situe entre la fin du XIXe et le début du XXe siècle. Les observations et l'analyse des conséquences du tremblement de terre de 1891 qui a touché la région de MINO-OVARI au Japon, ont permis d'obtenir pour la première fois certaines valeurs quantitatives des accélérations maximales du sol. C'est aussi pour la première fois qu'a été posé par T.OMORI, le problème fondamental du génie sismique: l'évaluation des forces d'origines sismiques qui agissent sur les constructions pendant un tremblement de terre. T.OMORI considère la structure comme infiniment rigide. Dans cette hypothèse, il néglige la déformabilité propre de la structure, et détermine la force sismique pour une structure plus ou moins fictive qui aurait le même mouvement que le sol. En ce cas, les valeurs maximales des forces sismiques peuvent être représentées par une fraction du poids de la construction, selon l'expression générale suivante :

$$S = m \gamma_0 = Q \left(\frac{\gamma_0}{g} \right) \quad (III.2)$$

Avec :

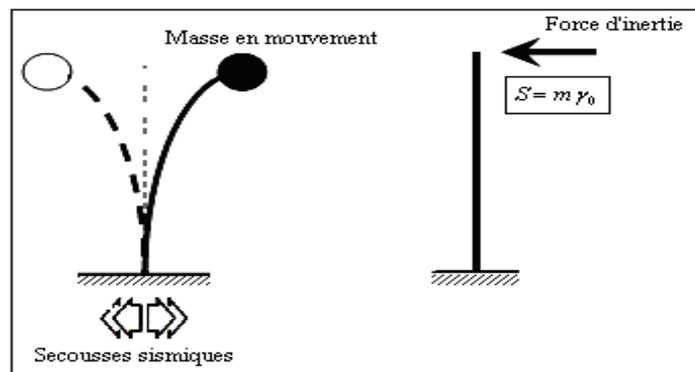


FIG III.1 Simulation statique de l'action sismique sur une construction.

Le champ uniforme de la force donnée par l'équation (III.2) lui donne un caractère statique. C'est pourquoi la méthode de T.OMORI est appelée théorie statique du génie sismique. L'hypothèse de la structure infiniment rigide (on néglige ainsi son comportement

dynamique), peut être justifiée pour un nombre limité de constructions, dont les déformations sont négligeables par rapport aux déplacements de la base. Cependant et malgré ses défauts évidents, cette méthode a représentée en son temps un progrès essentiel dans la recherche d'une base scientifique pour les calculs antisismiques. Le principe fondamental de la méthode statique a été repris par de nombreux codes de calculs parasismiques, notamment le code Algérien (RPA 2003), et Marocain (RPS 2000).

La force statique résultante équivalente est donnée par une expression forfaitaire qui relie, d'une façon quantitative, les paramètres de mouvement du sol, les propriétés physiques et dynamiques du bâtiment et son usage principal. Elle agit à la base du bâtiment et elle est supposée répartie sur la hauteur depuis sa base où est elle nulle jusqu'au sommet.

La structure étant soumise à ces forces équivalentes, on est alors ramené à un calcul de contreventement qui se résout par les méthodes usuelles de calcul des structures, le dimensionnement des éléments structuraux est ensuite effectué en utilisant les règlements de béton armé ou de construction métallique en vigueur (CBA93, CMA).

Dans les paragraphes suivants nous allons présenter les codes de calcul parasismiques en vigueur respectivement en Algérie, au Maroc et en France accompagnées de quelques exemples numériques.

Dans la partie qui se suit nous allons savoir comment calculer la charge sismique dans chaque règlement, on ne va pas entrer dans les définitions des paramètres mais on va utiliser une autre méthode; on va programmer les paramètres en utilisant un logiciel mathématique " MATLAB7 ".

☒ REGLE PARASISMIQUE ALGERIEN 99-03

(I) CLASSIFICATION DES OUVRAGES

Groupe 1A : Ouvrages d'importance vitale

Groupe 1B : Ouvrages de grande importance

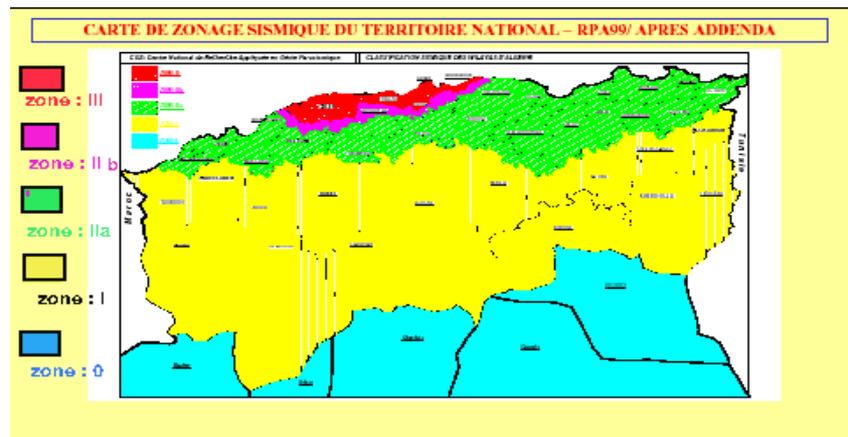
Groupe 2 : Ouvrages courants ou d'importance moyenne

Groupe 3 : Ouvrages de faible importance

(II) ZONAGE SISMIQUE

Le territoire Algérien est divisé en cinq (05) zones sismiques, le zonage corrigé après le

Séisme du 21 Mai 2003.



Carte III.3 Zonage sismique du territoire Algérien ^(ix)

TABLEAU III.1 Zonage sismique selon RPA99/03

Zone 0	Sismicité négligeable.
Zone I	Sismicité faible.
Zone IIa	Sismicité moyenne.
Zone IIb	Sismicité moyenne.
Zone III	Sismicité forte.

(III) EFFORT SISMIQUE

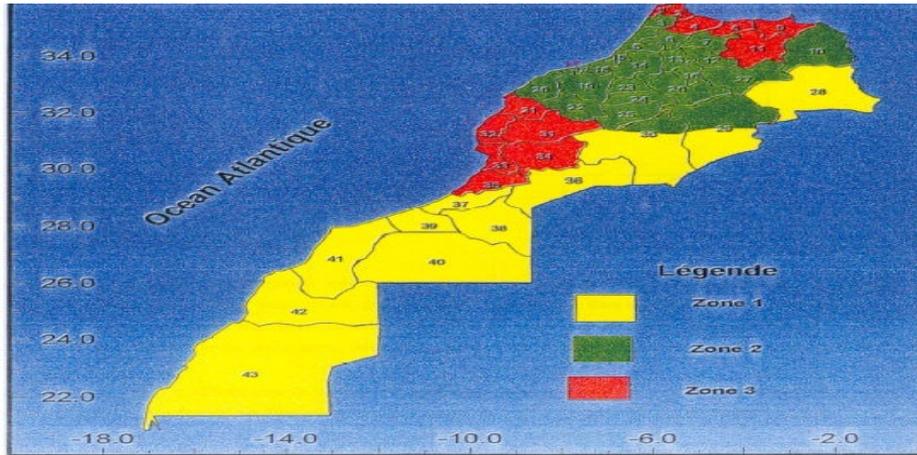
Conformément à l'article 4.2.3 des règles RPA2003, les forces sismiques de calcul dans les deux directions seront déterminées d'après la formule :

$$V = \left(\frac{A \cdot D \cdot Q}{R} \right) W \quad \text{(III.3)}$$

REGLES PARASISMIQUE MAROCAINES (R.P.S 2000)

(I) COEFFICIENT D'ACCELERATION DE ZONE (A)

Le royaume du Maroc, se divise en trois (03) zones, en fonction de l'accélération horizontale maximale du sol, pour une probabilité d'apparition de 10% en 50 ans.



Carte III. 4

Zone sismique du Maroc

TABLEAU III.2 : Coefficient d'accélération (probabilité 10% en 50ans)

Zones	$A = \frac{A_{\max}}{g}$
Zone 1	0.01
Zone 2	0.08
Zone 3	0.16

(II) EVALUATION DE LA CHARGE SISMIQUE

Les règles RPS2000 propose, pour le calcul de la force sismique latérale, la formule suivante :

$$V = \left(\frac{ASDI}{k} \right) W \quad (III.5)$$

☒ REGLES P.S 92 / VERSION 1997

1. FORCES STATIQUES EQUIVALENTES ^(x)

Le calcul de la force statique équivalente se calcul en fonction de type de bâtiments :

❖ Bâtiments réguliers.

❖

$$f_r = \rho_0 * m_r * z_r^\alpha * \frac{\sum_i m_i z_i^\alpha}{\sum_i m_i z_i^{2\alpha}} * \frac{R(T)}{q} \quad (III.6)$$

❖ Bâtiments moyennement réguliers

$$f_r = \rho_0 * u_r * \Delta * \frac{R(T)}{q} \quad (III.7)$$

❖ Bâtiments de faibles hauteurs



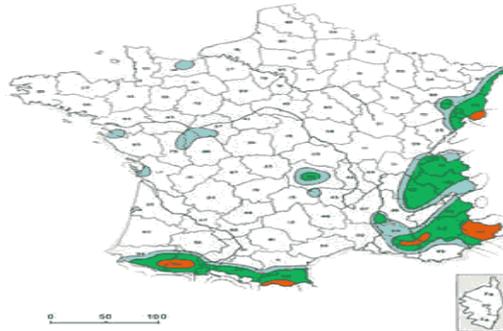
$$f_r = \frac{m_r \cdot Z_r}{\sum_i m_i z_i} * M * \frac{R(T)}{q} \quad (III.8)$$

(III) COEFFICIENT DE MAJORATION (ρ_0)

Il est en fonction, selon le type de contreventement, période fondamentale de la structure et la période T_C , qui sont exprimés en secondes.

☒ ZONE DE SISMICITE

L'hexagone se divise en quatre (04) zones sismiques, comme le montre le schéma suivant ;



CARTE III.5 Zonage sismique en France

TABLEAU III.3 Zones sismiques

Zone 0	Sismicité négligeable mais non nulle
Zone Ia	Sismicité très faible mais non négligeable
Zone Ib	Sismicité faible
Zone II	Sismicité moyenne
zone III	Sismicité forte

2. APPLICATIONS

EXEMPLE 01

Il s'agit de calculer l'action sismique globale agissant sur un bâtiment à usage d'habitation constitué de 04 niveaux identiques, selon le RPA 2003 et le RPS 2000.

Données :

- Hauteur de l'immeuble = 12,5 m.
- Type de sol = très ferme (Site 1)
- Charge permanente de l'ouvrage = 8000 KN
- Valeur de la surcharge d'exploitation = 2480 KN

On fera le calcul pour une implantation dans les 3 zones, et pour deux types de contreventement (portiques auto stables et voiles).

Action sismique globale selon le RPA :

Coefficient d'accélération de zone

$$A = 0,25 \text{ (ouvrage de groupe 2B, implanté en zone III)}$$

Coefficient d'amplification dynamique

La valeur de la période fondamentale (T) de la structure peut être estimée par la formule suivante:

$$T = C_T \cdot h_n^{3/4}$$

$$C_T = 0,05 \text{ (portiques auto stables en béton armé avec remplissage en maçonnerie)}$$

$$h_n = 12,5 \text{ m}$$

$$T = 0,05 \cdot 12,5^{3/4} = 0,332 \text{ s}$$

Valeur de $T_2 = 0,30$ secondes (Site S1)

$$T_2 = 0,3 \text{ s} < T = 0,332 \text{ s} < 3 \text{ s}$$

$$\Rightarrow D = 2,5 \eta \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3}$$

$$\text{avec : } \eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \xi}} \geq 0,7$$

$$\xi (\%) = 6 \text{ (portiques en béton armé avec un remplissage léger)}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + 6}} = 0,935 > 0,7$$

$$\text{d'où : } D = 2,5 \cdot 0,935 \cdot \left(\frac{0,3}{0,332} \right)^{2/3} = 2,18$$

Coefficient de comportement

R = 5 (ouvrage en béton armé réalisé en portiques auto stables sans remplissages en maçonnerie rigide).

Poids W de la structure à considérer :

$$W = G + \psi Q$$

$$G (\text{charge permanente}) = 8000 \text{ KN}$$

$$Q (\text{surcharge totale}) = 2480 \text{ KN}$$

$$\psi = 0,20, \text{ pour un bâtiment à usage d'habitation}$$

Poids à considérer:

$$W = 8000 + 0,2(2480) = 8496 \text{ KN}$$

Soit une force sismique de:

$$V = \frac{A \cdot D \cdot Q}{R} W = \frac{0,25 \cdot 2,18 \cdot 1,05}{5} 8496 = 972,36 \text{ KN}$$

Ainsi la force sismique est estimée à 11,44 % du poids de la structure pour une implantation en zone III. Pour les deux autres zones, on aboutit aux résultats suivants :

TABLEAU III.4 : Valeurs de l'effort sismique en fonction de la zone.

	A	V (KN)	% W
Zone I	0,25	972,3	11,44
Zone II	0,15	583,42	6,87

Zone III	0,08	311,15	3,66
----------	------	--------	------

Ainsi l'effort sismique varie de 3,66 % à 11,44 % du poids de la structure, selon la zone d'implantation du bâtiment.

Action sismique globale selon le RPS 2000

Facteur de priorité $I=1$ (bâtiment courant de classe II)

Coefficient de site : $S=1$ (Site de construction très ferme type S1)

Accélération du sol $A=0,16$ (ouvrage implanté en zone III)

Coefficient de ductilité

$k=2$ (bâtiment de classe II)

Facteur d'amplification : $D=2,5$

$$T \text{ (periode)} = \frac{0,09H}{L^{0,5}}$$

Poids W de la structure à considérer :

$$W = G + \psi Q$$

$$G \text{ (charge permanente)} = 8000 \text{ KN}$$

$$Q \text{ (surcharge totale)} = 2480 \text{ KN}$$

$$\Psi = 0,20, \text{ pour un bâtiment à usage d'habitation}$$

$$W = 8000 + 0,2(2480) = 8496 \text{ KN}$$

Soit une force sismique de:

$$V = \frac{A \cdot S \cdot D \cdot I}{K} W = \frac{0,16 \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot 1}{2} \cdot 8496 = 1699,2 \text{ KN}$$

Soit une force sismique estimée à 20% du poids de la structure (pour la zone III).

En zone II $A = 0,08$ d'où $V = 849,6 \text{ KN}$ (soit 10 % de W)

En zone I $A = 0,01$ d'où $V = 106,2 \text{ KN}$ (soit 1,25 % de W).

Les tableaux 3 et 4 illustrent des exemples de calcul de la force sismique dans le cas d'un bâtiment à usage d'habitation construit en voiles et dans le cas d'un ouvrage d'importance (caserne sapeurs pompiers, hôpital) construit lui aussi en voiles.

TABLEAU III.5: Bâtiment à usage d'habitation construit en voiles (R + 10).

	Zone I	Zone II	Zone III
RPA	8,63 %	5,18 %	2,76 %
RPS	17,1 %	12,8 %	1,6 %

TABLEAU III.6: Ouvrage d'importance vital construit en voiles (R + 10).

	Zone I	Zone II	Zone III
RPA	12,08 %	8,63 %	4,14 %
RPS	22,3 %	16,7 %	2,09 %

ANALYSE DES RESULTATS

Pour le cas traité, les calculs laissent apparaître un effort sismique représentant 11,44 % du poids de la structure pour les règles RPA 2003 et de 20 % du poids de la structure pour les règles RPS 2000. Ainsi l'évaluation marocaine est de 75 % supérieure à celle du RPA, ce qui est considérable, pour des pays voisins et de sismicité assez similaire.

En zone II la différence reste importante, puisque d'un effort de 849,6 KN , on passe à un effort sismique de 583,42 KN (soit une différence de 45,56 %). En zone I (zone de faible sismicité) les règles Algériennes prévoit une action sismique supérieure (on passe de 311,14 KN à 106,2 KN). Bien qu'il soit difficile d'extrapoler à travers une seule application les résultats, cependant pour un même ouvrage situé des les zones les plus sismiques de L'Algérie et du Maroc, les différences restent considérables et laissent une porte ouverte quant à la validité de l'une ou des deux évaluations.

EXEMPLE 02

Bâtiment à 3 niveaux contreventé par voile .La hauteur d'étage de 4.00m et de masse telle que :

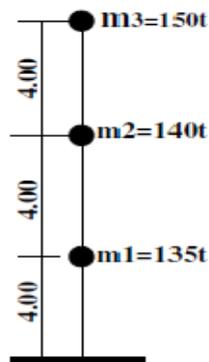


FIG III.7

Par la méthode de Rayleigh les périodes des 3 premiers modes sont :

$$T1 = 0.313 \text{ s}$$

$$T2 = 0.0465 \text{ s}$$

$$T3 = 0.0171 \text{ s}$$

4-1) Effort sismique suivant: RSMB2000

Facteur de priorité : $I = 1.00$

Facteur de comportement : $k = 3$ (Niveau 2)

Zone de sismicité 3 : $A = 0.16$

Site S2 : $S = 1.20$

$$T = 0.313 \text{ s} < 0.40 \text{ s} \Rightarrow D = 2.50$$

$$W = 150 + 140 + 135 = 425 \text{ t} = 4250 \text{ KN}$$

$$V = \frac{0.16 * 1.20 * 2.50 * 1.00 * 4250}{3}$$

Effort tranchant à la base : **VRSMB2000 = 680 KN**

4-2) Effort sismique suivant RPA 88

Groupe d'usage : 2

Sol ferme : ($T=0.313\text{ s} > 0.30\text{ s}$) $D = \frac{0.896}{\sqrt[3]{T^2}}$

$D = 1.944$

$A = 0.25$

$B = 1/4$ (facteur de comportement, fonction du type de structure)

$Q = 1.05$

$$V = 0.25 * 1.944 * \frac{1}{4} * 1.05 * 4250$$

4.3-Effort sismique suivant RPA 99(version 2003)

Facteur de qualité $Q = 1.00$

Facteur d'accélération de zone $A = 0.25$

Facteur de comportement (portique contreventé par voile) $R = 4$

Facteur d'amplification dynamique $D = 2.5$

$V = (0.25 * 2.5 * 1 * 4250) / 4 = 664.0\text{KN}$

Effort tranchant à la base selon :

RPA88 est **VRPA = 542.0 KN**

PS92 est **VPS92 = 680.0 KN**

PS69 est **VPS69 = 491.5 KN**

RPA 99 est **VRPA 99 =664.0 KN**

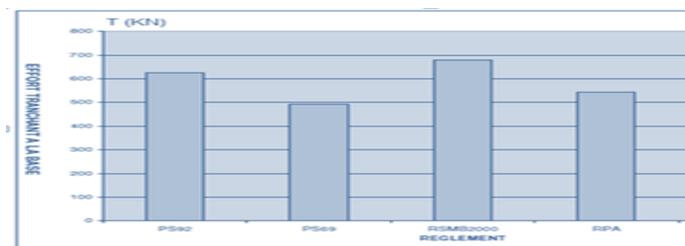


FIG III.8 Effort tranchant à la base

EXEMPLE 03

Soit un immeuble en BA placé en zone forte, composé de 07 étages dont l'hauteur d'étage 3.50m.

- Longueur 30m.
- L'ouvrage est classé dans la catégorie "C".
- Type de sol: sol cohérent et d'épaisseur 60m.
- Masse de chaque étage est égal à 300tonnes.

Accélération minimale $a_n=4$.

Coefficient d'amplification dynamique $\tau=1.0$ (considérant que la bâtisse est construite sur le même niveau).

Pourcentage d'amortissement est égal à $\xi=3.0\%$.

Le coefficient d'amortissement est égale à $\rho=3.082$.

Spectre de dimensionnement $R_D(T)= 2.25$.

Calcul de la force statique équivalente:

$$f_r = \rho_0 * m_r * z_r^\alpha * \frac{\sum_i m_i z_i^\alpha}{\sum_i m_i z_i^{2\alpha}} * \frac{R(T)}{q}$$

TABLEAU III.7 Récapitulatif de la charge sismique

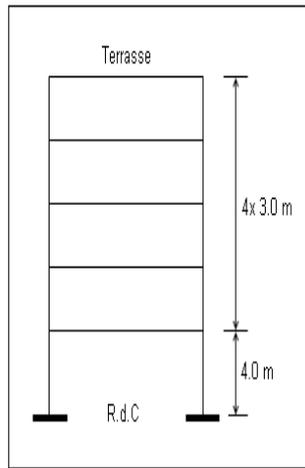
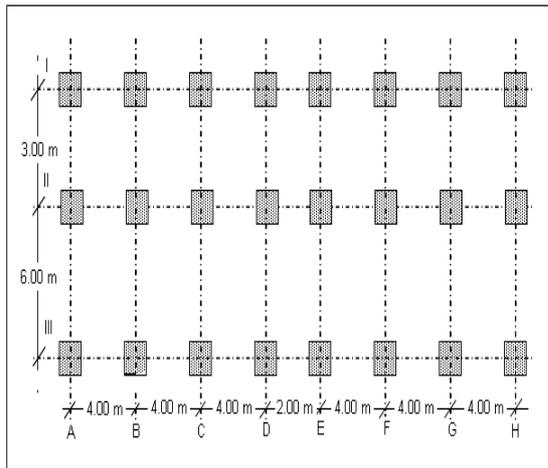
Niveaux (m)	3.5	7.0	10.5	14.0	17.5	21	24.5
Force (KN)	129	263.5	401.4	518.2	674.5	835.5	1035

EXEMPLE 04

Un bâtiment à usage d'habitation répondant à la description ci-après :

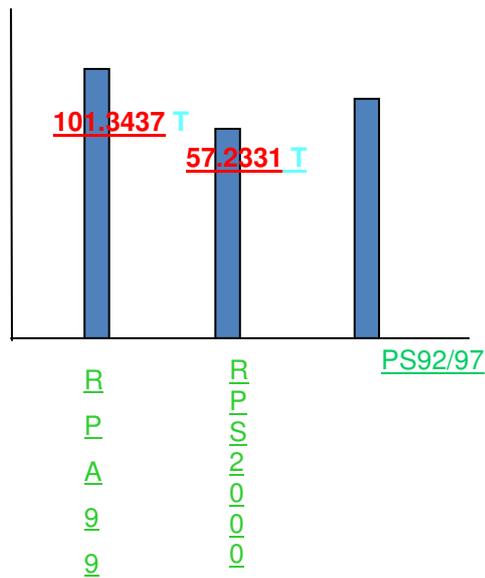
- ✓ Situation : zone de moyenne sismicité
- ✓ Fondation sur sol rocheux (site I selon la classification normalisée)
- ✓ Ossature auto stable avec remplissage en maçonnerie traditionnelle

On admettra que le contrôle se fera uniquement au niveau de la qualité d'exécution et que le béton utilisé présente une résistance caractéristique en compression de 25 MPa.



Niveau	Charge perm G (t)
Terrasse	160
Niveaux 1 à 4	200

- RPA99/03 L'effort sismique est égale 9.92% du poids de la structure
- RPS2000 Le rapport est égal à 5.60%
- PS92/97 Le rapport est égal à 8.001%



NB: Bien qu'il soit difficile d'extrapoler à travers une seule application les résultats, cependant pour un même ouvrage situé des zones les plus sismiques de L'Algérie et du Maroc, les différences restent considérables et laissent une porte ouverte quant à la validité de l'une ou des deux évaluations.

- Remarque

La comparaison de l'effort tranchant à la base, suivant les différents codes, n'est pas à faire seulement sur les valeurs, qui, forcément seront différentes suivant les coefficients propres à chaque règlement, mais surtout à la formulation de la définition de l'effort sismique.

5) ANALYSE COMPARTIVE

ZONES SISMiques (Article 3-1) :

Notre territoire est divisé en quatre (04) zones de sismicité croissante, tel que ; 0, I, IIa, IIb, III. La zone II est partagée en deux IIa, IIb. Cette modification est parvenue suite au séisme du 21 Mai 2003 à Boumerdes.

TABLEAU III-8 Quelques Modifications Parvenue Suite Au Séisme Du 21-05-2003

	RPA 99	RPA 99/03
Alger	I	III
Tipaza	II	III
Boumerdes	II	IIa
Guelma	II	IIa

RPS2000

Article 5-2-2 : le royaume est divisé en trois (03) zones de sismicité croissante.

Tout ce qui écrit avant c'est bon, chaque pays a divisé son territoire en zone;

Mais cette division est elle appuyée sur des critères scientifiques?

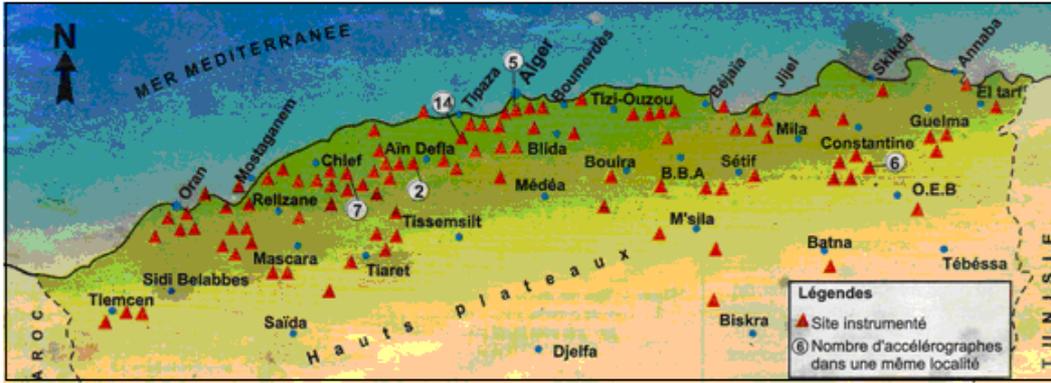
Ce qu'on sait est pour la France les gens qui travaillent dans ce domaine ont fait beaucoup de progression, ils travaillent sans cesse ils font des analyses et installent des instruments pour pouvoir connaître les zones qui ont une sismicité forte que l'autre, et ils ont réussi à faire une carte nationale de micro zonage (la carte de chaque ville du département)

Revenant au Maroc et l'Algérie on se base toujours sur l'historique, on revient un peu en arrière le séisme de Boumerdes du 21-05-2003 et el Hoceima du 21-02-2004. Pour l'Algérie les experts ont couru vers la reclassification des zones comme il est apparent dans le tableau qui est au dessus. Pour le Maroc le règlement est resté le même.

Revenant un peu en arrière c'est à partir de 1976, que la décision d'équiper le territoire national d'un réseau de sismogrammes a été prise.

PS92/97

Article 3-1 : L'hexagone est divisé en quatre (04) zones.



Carte III.6 Emplacement des sismomètres sur le territoire national

La figure précédente présente la disposition de l'emplacement des sismomètres sur le territoire national, en remarquant que c'est principalement le Nord du pays qui en est doté. Assez récemment un article parut dans un quotidien national, parle de la décision précise par le GRAAG d'installer une centaine de sismogrammes de dernière génération, ce qui va sans doute permettre aux services spécialisés un suivi plus fin de l'activité sismique du territoire national.

☒ CLASSIFICATION SELON LA HAUTEUR

Cette classification est faite en tenant compte de leur fiabilité et de leur capacité de dissipation de l'énergie vis-à-vis à l'action sismique.

RPA99/03

Limite le nombre des étages dans chaque zone sismique.

Pour les constructions en voile, il noté qu'ils doivent prendre 20% de la charge verticale.

RPS2000

Cette notion n'est pas mentionnée dans le RPS/2000.

PS92/97

On trouve la présence dans le calcul de la charge équivalente (page:44).

☒ REGLES DE CALCUL (ARTICLE 4-2)

La formule de la force sismique : $V = \frac{A.D.Q}{R} W$

RPS2000

Article 6-2.1.3/6-2.1.4 :

$$V = \frac{A.S.D.I}{k} W$$

PS92/97

Elle est fonction du type de la régularité des bâtiments.

Article 6-6.1.2 : Bâtiment réguliers

Les forces statiques équivalentes :

$$f_r = \rho_0 \cdot m_r \cdot z_i^\alpha \cdot \frac{\sum m_i z_i^\alpha R(T)}{\sum m_i z_i^{2\alpha} q}$$

Les autres voir (page:44).

D'après les exemples précédents on remarque qu'il y a des différences entre les résultats obtenus, à cause de la différence des coefficients qui entrent dans le calcul de la charge équivalent.

N.B:

COMBINAISON D'ACTION (Article: 5-2)

$$G + Q + E$$

$$0.8G \pm E$$

$$Q + G + 1.2E$$

G: charge permanente

Q: charge d'exploitation

E: charge sismique

RPS2000: Article: 7-1

$$S_c = G + E + 0.3N + \psi Q$$

N: action de la neige

Ψ : facteur d'accompagnement

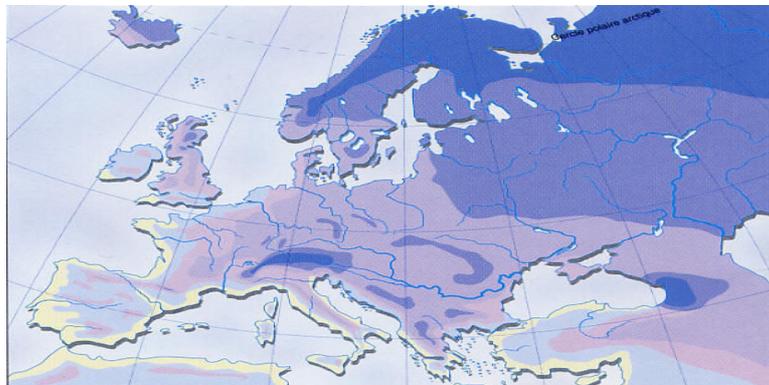
PS92/ 97: Article: 8-1

$$G + 0.8Q + E + 0.1N$$

$$G + E + 0.3N$$

$$G + N + 0.2N + 0.4Q$$

On analysant ses formules, l'on constate que l'action de la **neige** est prise en compte dans le RPS/2000 malgré que le Royaume du Maroc a le même climat de l'Algérie. Pour rappel, La neige se concentre dans les montagnes de l'Atlas.



Carte III.7 Nombre de jours de neige par an

Légende du nombre de jours de neige par an de la carte:

Nombre de jours

Plus de 200

40 à 100

1 à 10

100 à 200

10 à 40

Moins de 1

LARGEUR DES JOINTS SISMIQUES (Article: 5-8)

L'entrechoquement et le martèlement de bâtiment contigus sont susceptibles de provoquer d'importants dégâts, si ce n'est leur effondrement. Il est impératif de prévoir des joints conformes aux règles aux règles de l'art.

C'est-à-dire que;

- Avoir une ouverture minimale.
- Etre vide (ne présenter aucun point de contact).

Deux blocs voisins doivent être séparés par des joints sismiques dont la largeur minimale d_{\min} satisfait la condition suivante :

$$d_{\min} = 15 \text{ mm} + (\delta_1 + \delta_2) \text{ mm} \geq 40 \text{ mm}$$

δ_1 et δ_2 : déplacements maximaux des deux blocs, calculés calculé selon 4.43 au niveau du sommet du bloc le moins élevé incluant les composantes dues à la torsion et éventuellement celles dues à la rotation des fondations

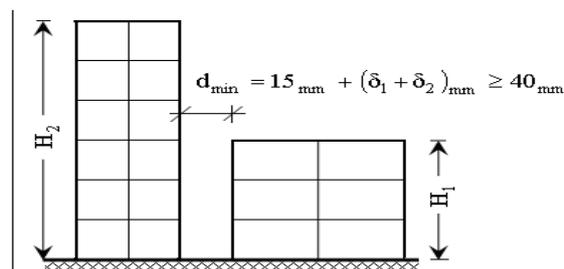


FIG III.9 Largeur minimum du joint sismique



FIGIII.10 BOUMERDES 21-05-2003

RPS2000: Article : 4-4

- La largeur du joint ne doit pas être inférieure à la somme de leurs déformations latérales respectives incluant les déformations de torsion.

PS92/ 97: Article : 8-3.2

Les bâtiments voisins doivent être séparé par des joints dont la largeur ne doit pas être inférieure à :

Zone Ia et Ib	04 cm
---------------	-------

- dans le cas où on a deux blocs de différentes hauteurs :

H_2 : la petite hauteur d'une des bâtiments.

-- structure en béton : $0.003 H_2$

-- structure en acier : $0.005 H_2$

Zone II et III	06 cm
----------------	-------

Ce qui remarquable c'est la différence où normalement il doit avoir une ressemblance.

RPA99/03

Le joint de séparation doit dépasser les 04 cm.

PS92/97

ll est considéré par zone il est entre 4cm et 6 cm.

RPS2000

On considère qu'on une $h_2 = 30.00m$.

- Structure en Béton: $0.09m = 9 \text{ cm}$.
- Structure en Acier: $0.15m = 15 \text{ cm}$.

TABLEAU III.9

Etude comparative des trois règlements, Algérien, Marocain et Française

	RPA 2003	RPS 2000	PS97
Les fondations Les ouvrages de soutènement Construction en acier Construction en maçonnerie	Calculé	/	Calculé
Béton précontraint Structure mixte Construction en bois Éléments préfabriqués Effort sismique vertical	/	/	Calculé
Joints entre blocs	$15 + (\delta_1 + \delta_2) \geq 40_{\text{mm}}$	$0.003H_2$ pour les structures en béton armé $0.005H_2$ pour les structures en aciers. Dimension minimale = 50 mm	$\geq 40_{\text{mm}}$ (zone Ia, Ib) $\geq 60_{\text{mm}}$ (zone II, III)
Zonage	4	3	5
Sites	4	3	4
Coefficient de topographie	/	/	Calculé
Coefficient de comportement	Fonction du système de contreventement	Fonction du système de contreventement	Fonction de la nature des matériaux, du type de construction et de la capacité de déformation des éléments
Régularité combinaisons	Pas d'élargissement $G + Q \pm E$ $0,8G \pm E$ $G + Q \pm 1.2E$	Élargissement autorisé $G \pm E + 0,3N + \psi Q$	Élargissement autorisé $G + 0,8Q \pm E + 0,1N$ $G \pm E + 0,3N$ $G \pm E + 0,2N + 0,4Q$
Formule de calcul	$V = \frac{A \cdot D \cdot Q}{R} W$	$V = \frac{ASDIW}{k}$	$f_T = \rho_0 m_r z_r^\alpha \frac{\sum m_i z_i^\alpha}{\sum m_i z_i^{2\alpha}} \frac{R(T)}{q}$
diamètre minimum des barres	12 mm	10 mm	
Ferraillage minimal des poteaux	0.7% en Zone I 0.8% en Zone II 0.9% en Zone III		
Longueur de recouvrement	$l_s = 40 \phi$ pour les aciers Fe E 400 ; $l_s = 50 \phi$ pour les aciers Fe E 500		

☒ IMPLANTATION SITE ^(xi)

L'observation montre que l'intensité avec laquelle un séisme est ressenti en un lieu donné dépend dans une large mesure de la nature des terrains traversés par les ondes sismiques et des conditions locales. Les Règles Parasismiques Algériennes doivent mettre en évidence la modification de l'action sismique par la nature du site dans la gamme des hautes fréquences, comme c'est le cas dans d'autres règles parasismiques (japonaises, françaises, par exemple).

☒ LES EFFETS INDUITS PAR LE SEISME

a- Tassements

Des sables secs soumis à vibration peuvent subir des tassements importants, qui peuvent être estimés par des mesures des vides du sable. Ces tassements peuvent atteindre quelques dizaines de cm. différentiels ou non, ils peuvent être suffisants pour rendre une construction inutilisable.

b- Les effets de sol (phénomène de liquéfaction)

C'est un phénomène très répandu dans les sables fins saturés en eau peuvent être le siège d'un phénomène encore plus spécifique au contexte sismique.



FIG III. 11 Tassement d'une construction

FIG III.12 Phénomène de la liquéfaction

c- Glissement de terrain

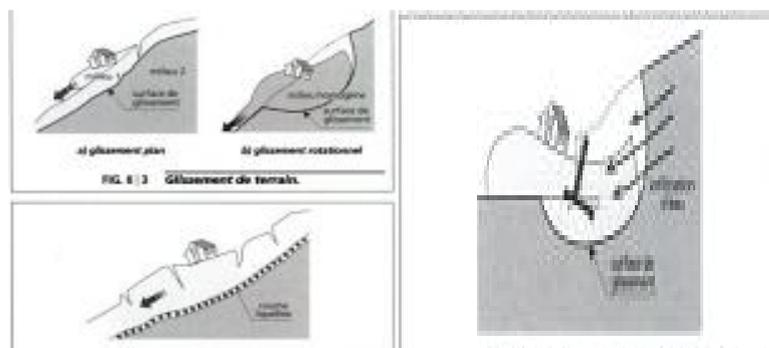


FIG III. 13 Différents types de glissements

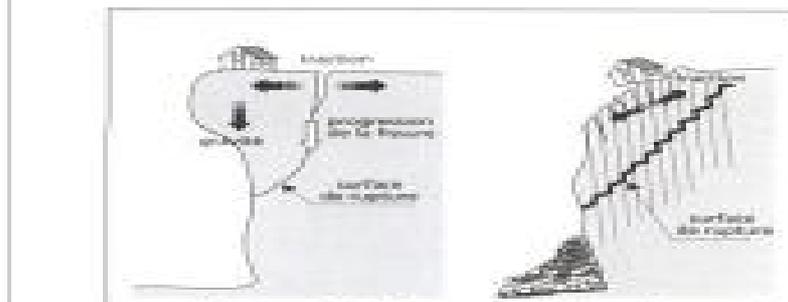


FIG III. 14 Risque de rupture

Le seul règlement qui a pris la topographie en considération c'est le règlement Français PS92/97, les deux autres on prit seulement des recommandations.

d- Les tsunamis

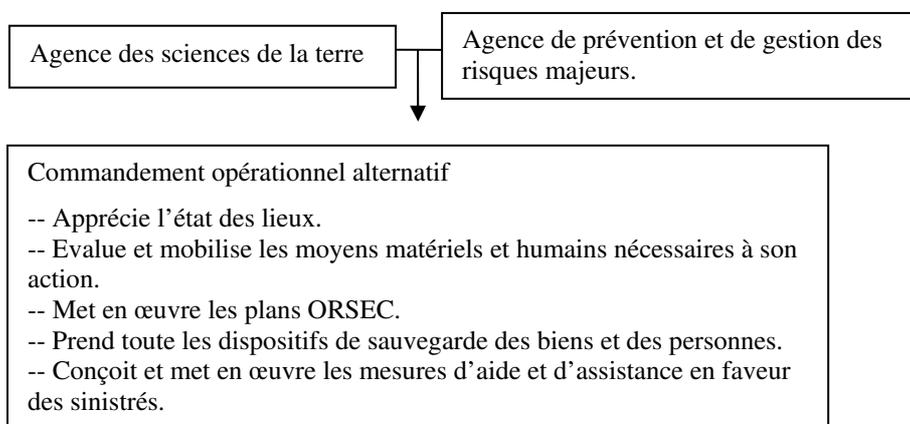
Ce phénomène n'était pas connu jusqu'à 2004 le grand tsunami qui a frappé l'Indonésie. Lors du séisme du 21-05-2003 BOUMERDES (Algérie) des vagues ont frappé les Sud - Est de l'Espagne et le Sud Ouest de la France.

6) ROLE DU SERVICE TECHNIQUE

Toutes les notions présentées précédemment correspondent des phénomènes naturels, ou des formules mathématiques qu'on doit appliquées. En pratique, pour un bon comportement des ouvrages à l'action sismique, il faut :

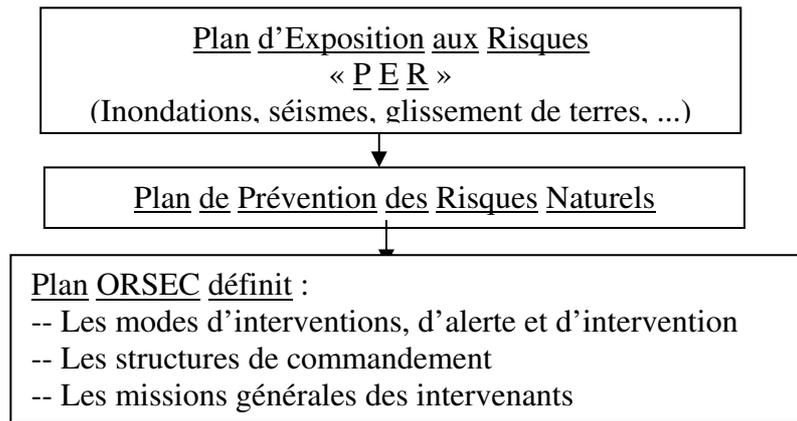
- ❖ Un bon choix du site d'implantation (étude géotechnique indispensable).
- ❖ Conception architecturale (bonne collaboration entre l'architecte et l'ingénieur).
- ❖ Bonne analyse du comportement du bâtiment (hypothèses, notes, calculs et plan d'exécution).
- ❖ Vérification et approbation par le bureau de contrôle avant l'exécution.
- ❖ Examen de la possibilité de la mise en œuvre du ferrailage.
- ❖ Approbation par le bureau de contrôle de la bonne disposition de ferrailage et d'avoir un béton armé de meilleur qualité.
- ❖ Mise en place d'une cellule permanente de coordination et d'intervention chargée de diriger toutes les opérations de secours et d'alerte.
- ❖ Mise en place d'une procédure d'alerte et d'intervention.
- ❖ Mise en place d'un organigramme fonctionnel et opérationnel à tous les niveaux d'intervention.
- ❖ Identification des responsabilités à chaque stade de la procédure
 - Etat.
 - Wilaya.
 - Commune.

Voici des organigrammes qui démontre la nouvelle organisation de prévention et de gestion des risques ; organisation des secours risques naturelles.



Organigramme III.2

La nouvelle organisation de prévention et de gestion des risques



Organigramme II.3 Organisation de secours risques naturels

CONCLUSIONS GENERALES

Ce travail, basé essentiellement sur la bibliographie, nous a permis de dégager les points essentiels suivants :

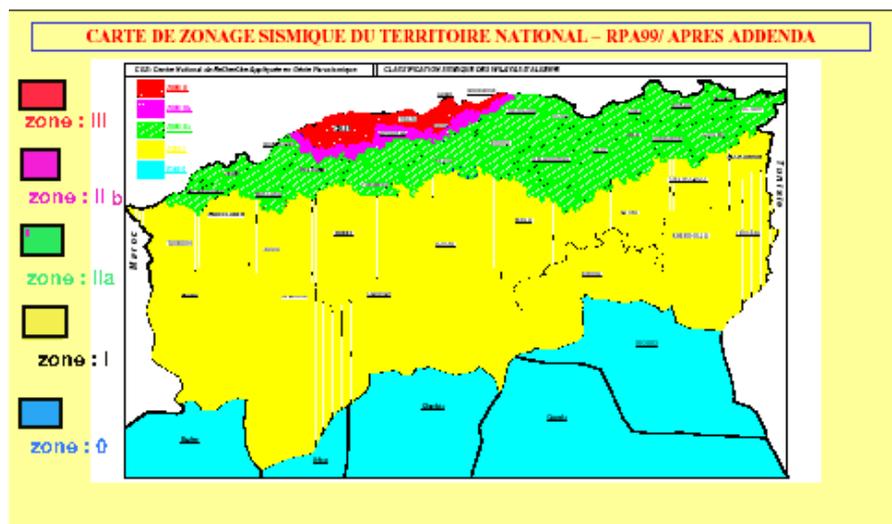
Le séisme est loin d'être un phénomène rare, la terre bouge à longueur d'années et est l'objet d'une forte activité sismique. Heureusement que les ondes générées par cette activité ne sont destructeurs qu'une dizaine de fois par année environ

- ❖ *Les ondes sismiques, leurs vitesses, l'énergie libérée, et autre foyers, sont actuellement parfaitement maîtrisées et le suivi de certaines failles actives est très rigoureux,*
- ❖ *Pour le cas de l'Algérie, notre histoire avec le séisme est très douloureuse et traumatisante. En effet, depuis notre indépendance, les séismes d'El Asnam et celui de BOUMERDES, ont été les phénomènes naturels les plus meurtriers et les plus destructeurs d'édifices et autres ouvrages d'arts. Pour faire face à ce déficit immense, notre pays s'est doté de centres de recherches et de suivi de haut niveau qui lui permettent, d'une part un suivi de l'activité sismique du territoire (à travers un réseau d'accélérogrammes performant et judicieusement placé), et d'autres part, d'élaborer une réglementation spécifique innovante et actualisée à chaque fois. Par ailleurs les services d'intervention plus particulièrement les sapeurs pompiers ont acquis un savoir faire certain, et ce sont dotés du matériel nécessaire pour l'assistance des sinistrés, etc.*
- ❖ *En termes de réglementation, le séisme est considéré comme « action accidentelle » au sens de la méthode aux états limites. Pour son évaluation, les trois codes étudiés à savoir le RPA2003, le RPS2000 et le PS97 présentent des expressions différentes avec des paramètres différents et des résultats finaux différents. Des différences de l'ordre de 25 à 30 pourcent ont été observés à travers les exemples traités. en terme de facteur*

considérer dans l'évaluation de la force sismique, nous constatons des différences la aussi. A titre d'exemple, le facteur de pénalité présent dans les règles RPA est complètement ignoré dans les deux autres codes parasismiques, de même le facteur topographique présent dans les règles PS97 est absent dans le RPA et le RPS. Ces différences sont également retrouvées aux niveaux d'autres facteurs tels le dimensionnement des joints sismiques, des ferraillements minimales et maximales et autres dispositions constructives.

- ❖ Pour la conception et le ferrailage des éléments porteurs en zone sismique notamment les poteaux et les poutres, l'étude présentée montre clairement certains points qui peuvent prêter à confusion entre le code de calcul de béton armé (CBA 93) et le code parasismique, notamment au niveau des longueurs de scellement à considérer, le taux minimal d'armatures à incorporer, et de ce fait une meilleure coordination entre les deux codes serait vivement souhaitable.

Carte du zonage sismique de l'Algérie



Zone 0	Sismicité négligeable
Zone I	Sismicité faible
Zone IIa	Sismicité moyenne
Zone IIb	Sismicité moyenne
Zone III	Sismicité forte

Tableau: Zonage sismique de l'Algérie.

Annexe II

Programmation du RPA2003

Le programme suivant [26] présente une modélisation des règles RPA2003 développée sous MATLAB7.

```
disp('Règlement Parasismique Algérien
99, version 2003');
disp('*****
*****');
disp('Donner la valeur de la hauteur de
la super structure');
disp('-----
-----');
H=input('Hauteur de la Structure, Unité
(m); H=');
disp
('_____');
);
disp('Donner la valeur de la hauteur
totale de la structure');
disp('-----
-----');
h0=input('Hauteur de l''Etage RDC,Unité
(m); h0=');
disp
('_____');
);
disp('Donner la valeur de la hauteur
totale de la structure');
disp('-----
-----');
h=input('Hauteur de l''Etage, Unité (m);
h=');
disp
('_____');
disp ('Facteur d''Amplification Dynamique
Moyen : (D)');
disp ('-----
-----');
% ***** Calcul
de D *****
% D : facteur d'amplification dynamique
moyen.
%  $\mu$  : facteur de correction
d'amortissement.
% T : période fondamentale de la
structure.
% T2: période caractéristique.
% ksi: pourcentage d'amortissement
critique.
type=menu('Type de Construction','Béton
Armé','Acier','Voile')
Remp=menu('Type de
```

```

Remplissage','Leger','Dense')
if type==1;
    if Remp==1;
        ksi=0.06
    end
    if Remp==2;
        ksi=0.07
    end
end
if type==2;
    if Remp==1;
        ksi=0.04
    end
    if Remp==2;
        ksi=0.05
    end
end
if type==3;
    if Remp==1;
        ksi=0.1
    end
    if Remp==2;
        ksi=0.1
    end
end
n=sqrt(7/(2+ksi))
if n<0.7
    exit
    pas de solution
end
disp('////////////////////////////////////
////////////////////////////////////');
disp('Définition de la Période, Unité
(seconde); (T2)');
disp('-----
-----');
site=menu('Type de Sol','S1 :
Rocheux','S2 : Ferme','S3 : Meuble','S4 :
Trés meuble')
if site==1;
    T2=0.3
end
if site==2;
    T2=0.4
end
if site==3;
    T2=0.5
end
if site==4;
    T2=0.7
end
disp('////////////////////////////////////
////////////////////////////////////');
disp('Calcul de la Période Fondamentale,
Unité (seconde); (T)');
disp('-----

```

```

-----');
% Hn:hauteur (m)à partir de la base de la
structure jusqu'au dernier niveau
% Cas1:portique autostable en BA sans
remplissage en maçonnerie.
% Cas2:portique autostable en acier sans
remplissage en maçonnerie.
% Cas3:portique autostable en BA ou en
acier avec remplissage en maçonnerie
% Cas4:contreventement assuré
partiellement ou totalement par des
voiles en
% BA,des palées triangulées et des murs
en maçonnerie.
disp ('Coefficient, fonction du système
de contreventement et du type de
remplissage : (Ct)');
disp ('-----
---');
syms Ct real
cas= menu('Cas de Contreventement et le
Type de Remplissage','Portique autostable
en BA sans remplissage en
maçonnerie','Portique autostable en Acier
sans remplissage en maçonnerie','Portique
autostable en BA ou avec remplissage en
maçonnerie','CV assuré partiellement ou
totalement par des voiles en BA, palées
ou murs');
if cas==1
    Ct=0.075
end
if cas==2
    Ct=0.085
end
if cas==3
    Ct=0.050
end
if cas==4
    Ct=0.050
end
T=Ct*H^(3/4)
%***** ' ' D ' '
disp('Facteur d'amplifacation dynamique,
(D)');
disp('_____
_____');
if T2>=T>=0;
    D=2.5*n
end
if 0.3>=T>=T2;
    D=(2.5*n)*(T2/T)^(2/3)
end
if T>=3.0;

D=(2.5*n)*((T2/3.0)^(2/3))*((3.0/T)^(5/3))

```

```

)
end
disp
('////////////////////////////////////
////////');
disp ('Facteur de Qualité : (Q)');
disp ('-----');
syms Q real
%%%%%%%%%%Facteur de qualité
'Q'%%%%%%%%%
% Pq: valeur de pénalités
% Q : facteur de qualité
% Q=1-som(Pq);
%%%%%%%%%%VALEURS DE Pq
%%%%%%%%%
syms non obs real
disp('Maître : obs , dans le cas où la
surveillance est faite');
disp('Maître : non , dans le cas où la
surveillance n''est pas faite');
disp('+++++
+++++
+');
disp('Condition minimales sur les files
de CV , obs ou non ');
disp('_____
_____');
q1 = input ('q1 = ');
if q1==obs;
    P1=0;
end
if q1==non;
    P1=0.05;
end
disp('_____');
disp('Redondance en plan, obs ou non');
disp('_____');
q2 = input ('q2 = ');
if q2==obs;
    P2=0;
end
if q2==non;
    P2=0.05;
end
disp('_____');
disp('Régularité en plan , obs ou non
');
disp('_____
');
q3 = input ('q3 = ');
if q3==obs;
    P3=0;
end
if q3==non;
    P3=0.05;
end
end

```

```

disp('_____');
disp ('Régularité en élévation, obs ou
non');
disp
('_____');
q4 = input ('q4 = ');
if q4==obs;
    P4=0;
end
if q4==non;
    P4=0.05;
end
disp('_____');
disp ('Controle de la qualité des
magtériaux, obse ou non ');
disp
('_____');
q5 = input ('q5 = ');
if q5==obs;
    P5=0;
end
if q5==non;
    P5=0.05;
end
disp('_____');
disp ('Controle de la qualité de
l''exécution, obs ou non');
disp
('_____');
q6 = input ('q6 = ');
if q6==obs;
    P6=0;
end
if q6==non;
    P6=0.05;
end
disp('_____');
Pq=P1+P2+P3+P4+P5+P6
Q0=1-Pq
disp('////////////////////////////////////
////////////////////////////////////');
disp('poids total de la structure :
(W)');
disp('-----');
');
% W : poids total de la structure
% Wgi: poids dû aux charges permanentes
et à celles des équipements fixes
éventuels, solidaires de la structure
% Wqi: charges d'exploitatioins
% bita: coef de pondération
bi=menu('Type d''ouvrage', 'Bâtiment
d''habitation, bureaux ou
assimilés', 'Salles

```

```

d' 'exposition, Sport, Lieux de
cultes, Salles de réunion avec place
debout', 'Salles de
classes, Restaurants, Dortoirs, Salles de
réunions avec places
assises', 'Entrepôts, Hangars', 'Archives, Bi
bliothèques, Réservoirs et ouvrages
assimilés', 'Autres locaux non visés ci
dessus') ;
if bi==1;
    bita=0.2
end
if bi==2;
    bita=0.3
end
if bi==3;
    bita=0.4
end
if bi==4;
    bita=0.5
end
if bi==5;
    bita=1
end
if bi==6;
    bita=0.6
end
disp('_____');
Niv=h0:h:H;
n=length(Niv);
syms G Q Niveau real
Wet=0;
HWet=0;
for i=n:-1:1;
    Niveau=Niv(i)
    disp('Charge permanente : (G)');
    G=input(' G = ');
    disp('_____');
    disp('Charge d'exploitation : (Q)');
    Q=input('Q = ');
    disp('_____');
    Wg=G;% charge permanente
    Wq=Q;% surcharge
    disp('Poids dans chaque étage de la
structure : (wetage)');
    wetage=Wg+(bita*Wq)% poids dans
chaque étage
    disp('_____');
    Wet=Wet+wetage% poids totale
    hwetage=wetage*Niveau;% poids de
chaque niveau*la hauteur de chaque niveau
    HWet=HWet+hwetage; % poids*hauteur
totale
end
disp('Le poids totale de la structure :
(W) ');

```

```

disp('_____
____');
W = Wet

disp('////////////////////////////////////
////////');
disp ('Coefficient de Comportement
Globale de la Structure R');
disp ('-----
-----');
%***** Calcul de R
*****
% R : coefficient de comportement globale
de la structure.
cas=menu('Différents cas de
contreventements','Béton
armé','Acier','Maçonnerie et Autres
contreventements');
if cas==1;
description=menu ('Béton armé','portique
autostable sans remplissage en maçonnerie
rigide',
'port autostable avec remplissage en
maçonnerie rigide', 'voile
porteurs','noyau','mixte portique',
'portique contreventé par des
voiles','console verticale à masse
réparties','pendule inverse');
if description==1
R=5
end
if description==2;
R=3.5
end
if description==3;
R=3.5
end
if description==4;
R=3.5
end
if description==5;
R=5.0
end
if description==6;
R=4.0
end
if description==7;
R=2.0
end
if description==8;
R=2.0
end
end
if cas==2;
description=menu ('Acier','portique
autostable ductile','portique autostable

```

```

ordinaire',
  'ossature contrventée par palées
triangulées en X','ossature contrventée
par palées triangulées en V',
  'mixte portique/palées triangulées en
X','mixte portique/plées triaangulées en
V','portique en console verticale');
  if description==1
    R=6
  end
if description==2;
  R=4
end
if description==3;
  R=4
end
if description==4;
  R=3
end
if description==5;
  R=5.0
end
if description==6;
  R=4.0
end
if description==7;
  R=2.0
end
end
end
if cas==3;

description=menu('Maçonnerie','maçonnerie
chainée','ossature métallique
contreventée par diaphragme',
  'ossature métallique contreventée par
noyau en BA','ossature métallique
contreventée par voiles en BA',
  'ossature métal avec CV mixte noyau BA
et palées ou portique métal en
façade','système comportant des
transparences');
  if description==1;
    R=2.5
  end
  if description==2;
    R=2
  end
  if description==3;
    R=3
  end
  if description==4;
    R=3.5
  end
  if description==5;
    R=4
  end
end

```

```

if description==6;
    R=2
end
end
end
%%%%%%%%%%
%%%
Gr=menu('le groupe d''usage
d''habitation','Groupe d''usage
1a','Groupe d''usage 1b',
'Groupe d''usage 2','Groupe d''usage 3');
Zn=menu('la zone d''implantation','Zone
I','Zone IIa','Zone IIb','Zone III');
if Zn==1;
    if Gr==1;
        A=0.15
    end
    if Gr==2;
        A=0.12
    end
    if Gr==3;
        A=0.1
    end
    if Gr==4;
        A=0.07
    end
end
if Zn==2;
    if Gr==1;
        A=0.25
    end
    if Gr==2;
        A=0.20
    end
    if Gr==3;
        A=0.15
    end
    if Gr==4;
        A=0.10
    end
end
if Zn==3;
    if Gr==1;
        A=0.30
    end
    if Gr==2;
        A=0.25
    end
    if Gr==3;
        A=0.20
    end
    if Gr==4;
        A=0.14
    end
end
if Zn==4;
    if Gr==1;

```

```

        A=0.40
    end
    if Gr==2;
        A=0.30
    end
        if Gr==3;
            A=0.25
        end
            if Gr==4;
                A=0.18
            end
        end
    end
disp('Effort tranchant v');
disp('-----');
V=A*D*Q0*W/R
disp('_____');
disp('*****');
disp('*****');
disp('*****');
disp('Calcul de l''Effort Tranchant à la
Base Ft');
disp('-----
-----');
syms Ft Fn real
% Calcul de l'effort tranchant à la base
Ft
if T<=0.7;
    Ft=0
end
if T>0.7;
Ft=7*T*V/100
end
disp('////////////////////////////////////
////////');
disp('Distribution dans Chaque Niveaux
Fn');
disp('-----
');
for i=n;
    Pglobale=Wet;% Poids globale de la
structure
    HPglobale=HWet;% Hauteur*Poids
globale de la structure
end
disp('////////////////////////////////////
////////');
disp('Poids Totale de la Structure * la
Hauteur de la Structure, H*W=');
disp('-----
-----');
HW=HPglobale
disp('////////////////////////////////////
////////');
disp('Disribution de la Résultante des
Forces Sismiques, F');

```

```

disp('-----
-----');
for i=n:-1:1;
    Niveau=Niv(i)
    Wg=G;
    Wq=Q;
    wetage=Wg+(bita*Wq);
    hwetage=wetage*Niveau;
    F=(V-Ft)*hwetage/HW
end
disp('////////////////////////////////////
////////////////////////////////////');
disp('Distribution de l''Effort Tranchant
au Niveau de Chaque Etages, f');
disp('-----
-----');
v=F;
f=0;
for i=n:-1:1;
    Niveau=Niv(i)
    Wg=G;
    Wq=Q;
    wetage=Wg+(bita*Wq);
    hwetage=wetage*Niveau;
    F=(V-Ft)*hwetage/HW;
    f=f+F
end
%plot(F,Niv,'red',f,Niv,'b'),grid

```

LISTE DES FIGURES

N°	Titre
I.1	Structure interne de la terre
I.2	Localisation des épicentres des séismes
I.3	Localisation du séisme
I.4	Origine de du séisme
I.5	Ondes enregistrées lors du séisme de Sumatra (Indonésie 26/12/2004)
I.6	Ondes de compression P, et de cisaillement S
I.7	Ondes Loves, et de Rayleigh
I.8	Temps d'arrivée des ondes sismiques en fonction de la distance épicentrale
I.9	Schémas des sismomètres horizontaux et verticaux
I.10	Détermination de la position de l'épicentre
I.11	Station d'enregistrement et épicentre d'un séisme
I.12	Etapes à faire dans la méthode des cercles
II.1	Zonage sismique dans le méditerranée
II.2	Effets de sol
II.3	Signaux enregistrés le 21 Mai 2003
II.4	Simulation du séisme du 21.05.2003 proposée par André Laurenti
II.5	Endommagement A Cause D'absence Des Armatures Transversales
II.6	Impactes Les Rez De Chaussées Flexibles
II.7	Impactes Les Rez Des Etages Flexibles
II.8	Dissymétrie de contreventement
III.1	Simulation statique de l'action sismique sur une construction
III.2	
III.3	Distribution de l'effort tranchant au niveau des étages
III.4	Facteur d'amplification dynamique
III.5	Répartition verticale des forces sismiques
III.6	Forme forfaitaire du mode fondamental selon (a et b)
III.7	
III.8	Effort tranchant à la base
III.9	Largeur minimum du joint sismique
III.10	BOUMERDES 21-05-2003
III.11	Tassement D'une Construction
III.12	Phénomène De Liquéfaction
III.13	Différents Types De Glissements
III.14	Risque De Rupture

LISTE DES TABLEAUX

N°	Titre
I.1	Exemples de séismes majeurs (1980 à 2006).
I.2	
I.3	Ordre de grandeur des vitesses de propagation des ondes P et S
II.1	Exemples de séismes ayant frappés l'Algérie
III.1	Zonage sismique selon RPA99/03
III.2	Coefficient d'accélération (probabilité 10% en 50ans)

III.3	Zones sismiques
III.4	Valeurs de l'effort sismique en fonction de la zone
III.5	Bâtiment à usage d'habitation construit en voiles (R + 10).
III.6	Ouvrage d'importance vital construit en voiles (R + 10).
III.7	Récapitulatif de la charge sismique
III.8	Quelques Modifications Parvenue Suite Au Séisme Du 21-05-2003
III.9	

LISTE DES CARTES

N°	Titre
III.1	Carte des intensités maximales ressenties (1901-2006)
III.2	Sismicité du Maroc
III.3	Zonage sismique du territoire Algérien
III.4	Zone sismique du Maroc
III.5	Zonage sismique en France
III.6	Emplacement des sismomètres sur le territoire national
III.7	Nombre de jours de neige par an

LISTE DES ORGANIGRAMMES

N°	Titre
III.1	Evolution chronologique de la réglementation parasismique Algérienne
III.2	La nouvelle organisation de prévention et de gestion des risques
III.3	Organisation de secours risques naturels

BIBLIOGRAPHIE

-
- ⁱ localiser un tremblement de terre. www.eost.u-strasbg.fr/pedago/fiche1/localise.fr.html
- ⁱⁱ M.LAVERGNE : «*Méthodes Sismiques*». Ecole Nationale supérieure du Pétrole et des Moteurs.
- ⁱⁱⁱ Web site : <http://seismohazard.gfz-potsdam.de/projects/en/>
- ^v Chapitre 1, les dispositions du cadre législatif. Risque sismique et redéploiement des activités et de l'urbanisation. Deuxième partie : Le risque sismique et la prévention des risques. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. Page: 27-32. Volume1; Juillet 2003.
- ^{vi} Ministère de l'habitat et de l'urbanisme.
- ^{vii} Ministère de l'habitat et de l'urbanisme.
- ^{viii} www.cnerib.edu.dz/ --Mise à jour le 19/02/2008.
- ^{ix} RPA 99/ Version 2003. Art: 3-1.
- ^x Règles de construction parasismique. Règles applicables aux bâtiments –PS92. NF P06-013.
Art : 6-6124, page : 79. Edition : Eyrolles.
- ^{xi} Influence de la catégorie de site sur le comportement sismique des structures rigides : Application des règles parasismiques Algériennes 99 (RPA 99). Par: **M. Oudjenea, M. Meghlatb, Y. Bouafiab**