



# Document d'information sur le risque sismique à destination des médias

Rapport final

**BRGM/RP -55012-FR**  
Décembre 2006



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**



# Document d'information sur le risque sismique à destination des médias

Rapport final

**BRGM/RP -55012-FR**  
Décembre 2006

Étude réalisée dans le cadre des projets  
de Service public du BRGM 2006, n°PSP06ARN057

**M. Terrier**  
Avec la collaboration de  
**G. Bertrand et A. Roullé**

**Vérificateur :**

Nom : J. Lambert

Date :

Signature :

(Ou Original signé par)

**Approbateur :**

Nom : T. Winter

Date :

Signature :

(Ou Original signé par)

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

**Mots clés** : séisme, risque, aléa, vulnérabilité, prévention, information, Pyrénées, Alsace, Rhône – Alpes, Provence – Alpes – Côte d’Azur, Martinique, Guadeloupe, médias

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Terrier M., collab. Bertrand G. et Roullé A. (2006) – Document d’information sur le risque sismique à destination des médias. Rapport BRGM/RP-55012-FR, 219p, 128 fig.



# Synthèse

Ce rapport s'inscrit dans le cadre du Plan Séisme et des actions de service public du BRGM.

Il est structuré en deux parties principales :

Partie 1 : informations générales communes à six dossiers régionaux décrits en seconde partie :

- .Description du phénomène sismique,
- Aléa, vulnérabilité et risque sismique,
- Prévention et réglementation sur le risque sismique,
- Glossaire,
- Choix de références.

Partie 2 : Dossier d'information sur le risque sismique relatif à 6 régions françaises :

- Pyrénées (partie sud des régions Aquitaine, Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon),
- Provence-Alpes-Côte d'Azur,
- Rhône-Alpes,
- Alsace (ou Fossé rhénan),
- Guadeloupe,
- Martinique.

Chaque dossier présente le contexte sismique et tectonique régional et fait état du zonage sismique réglementaire actuel et du zonage probabiliste.

Par ailleurs, ce rapport est accompagné des fichiers numériques qui ont permis d'établir les cartes régionales présentées dans la partie 2, à savoir : failles, séismes historiques et instrumentaux, toponymie, topographie, direction des contraintes, zonages sismiques actuel et probabiliste. Ces données sont compatibles avec l'échelle 1/1 000 000.

En cas d'occurrence d'un séisme, ce rapport établi pour le compte du MEDD devrait permettre de renseigner les médias sur l'origine probable du phénomène et les grandes lignes des actions de prévention actuellement menées par l'Etat français et les collectivités.



## Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>15</b>
1.1. OBJECTIFS ET STRUCTURE DU RAPPORT .....	15
1.2. RAPPEL SUR LES GRANDES CATASTROPHES NATURELLES DU XXEME ET DEBUT XXI EME SIECLE .....	16
<b>2. Partie 1 : Notions sur le phénomène sismique et sur la prévention du risque sismique .....</b>	<b>20</b>
2.1. DESCRIPTION DU PHENOMENE SISMIQUE .....	23
2.1.1. Tectonique des plaques .....	23
2.1.1.1 Structure de la Terre	23
○ Les principales plaques tectoniques	24
2.1.1.2 Les zones de frontières de plaques	24
2.1.1.3 Sismicité interplaque	25
2.1.1.4 Sismicité intraplaque	26
2.1.2. Faille .....	31
2.1.2.1 Qu'est-ce qu'une faille :	31
2.1.2.2 Faille inactive ? Faille lente ? Faille sismogène ?	31
2.1.2.3 Comment les identifie-t-on ?	31
2.1.3. Séisme .....	33
2.1.3.1 Définition	33
2.1.3.2 Autres définitions afférentes au séisme	33
2.1.3.3 Echelle de magnitude	34
2.1.3.4 Echelle d'intensité	34
2.1.3.5 Les ondes sismiques	35
2.1.3.6 Les mécanismes au foyer des séismes	35
2.1.3.7 Les réseaux d'enregistrement	36
2.1.3.8 Catalogue de séismes historiques	37
2.1.4. Le cycle sismique : mouvement de la faille, vibration sismique, période de retour des séismes majeurs .....	46
2.1.4.1 Le cycle sismique	46
2.1.4.2 Durée du cycle sismique ou période de retour des séismes majeurs	46

2.2. ALEA, VULNERABILITE ET RISQUE SISMIQUE .....	49
2.2.1. Aléa sismique .....	49
2.2.1.1 Principe d'évaluation de l'aléa sismique	49
2.2.1.2 Effets directs ou induits par le séisme	50
2.2.2. Vulnérabilité sismique .....	62
2.2.2.1 Définition	62
2.2.2.2 Vulnérabilité sismique des constructions	62
2.2.2.3 Démarche EMS 98 pour l'évaluation de la vulnérabilité des structures aux séismes	63
2.2.3. Risque sismique .....	67
2.2.3.1 Les conséquences des séismes sur les enjeux	67
2.2.3.2 Les séismes historiques les plus destructeurs	67
2.2.4. Les scénarios de risque sismique .....	69
2.3. PREVENTION ET REGLEMENTATION SUR LE RISQUE SISMIQUE.....	70
2.3.1. Information sur le risque sismique, un rôle partagé .....	70
2.3.1.1 Rôle de l'Etat	70
2.3.1.2 Rôle des collectivités locales	71
2.3.1.3 Le citoyen	72
2.3.2. Zonage sismique de la France et classification réglementaire des ouvrages .....	73
2.3.2.1 Les différents types de zonages sismiques nationaux	73
2.3.2.2 Le zonage sismique réglementaire actuel	73
2.3.2.3 Le zonage sismique probabiliste de la France	75
2.3.2.4 La classification réglementaire des ouvrages	76
2.3.3. La construction parasismique .....	83
2.3.3.1 Les normes de construction parasismique	83
2.3.3.2 Règles Eurocode 8 : nouvelles règles de construction parasismique	84
2.3.4. L'organisation des secours .....	87
2.3.4.1 Le Maire	87
2.3.4.2 Le Préfet	87
2.3.4.3 Consignes « avant, pendant et après » l'occurrence d'un séisme	88
2.3.5. L'indemnisation .....	90
2.3.5.1 La garantie « catastrophes naturelles »	90
2.3.5.2 Le fonds de prévention des risques naturels majeurs (Fonds Barnier)	90
2.4. GLOSSAIRE.....	93
2.5. QUELQUES REFERENCES.....	97

<b>3. Partie 2 : Dossiers régionaux .....</b>	<b>101</b>
3.1. CONTEXTE SISMOTECTONIQUE DE LA FRANCE METROPOLITAINE .....	102
3.2. CONTEXTE SISMOTECTONIQUE CARAÏBES .....	106
3.3. DOSSIER D'INFORMATION SUR LES PYRENEES .....	111
3.3.1. Contexte sismotectonique des Pyrénées .....	111
Evolution géologique .....	111
Principales failles .....	112
Tectonique récente .....	113
Sismicité .....	114
Cinématique actuelle .....	115
3.3.2. Zonages sismiques.....	116
Zonage sismique règlementaire (approche empirico-statistique) .....	116
Zonage sismique associé à l'application des EC8 (approche probabiliste).....	116
3.3.3. Quelques références bibliographiques .....	117
3.4. DOSSIER D'INFORMATION SUR LA REGION PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR.....	131
3.4.1. Contexte sismotectonique de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur .....	131
Evolution géologique .....	131
Tectonique récente .....	132
Sismicité .....	133
Cinématique actuelle .....	134
3.4.2. Zonages sismiques de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur.....	135
Zonage sismique règlementaire (approche empirico-statistique) .....	135
Zonage sismique associé à l'application des EC8 (approche probabiliste).....	136
3.4.3. Quelques références bibliographiques .....	137
3.5. DOSSIER D'INFORMATION SUR LA REGION RHONE - ALPES .....	153
3.5.1. Contexte sismotectonique de la région Rhône – Alpes .....	153
Contexte géologique .....	153
Tectonique récente .....	154
Sismicité .....	155
Cinématique actuelle .....	157
3.5.2. Zonages sismiques.....	158
Zonage sismique règlementaire (approche empirico-statistique) .....	158
Zonage sismique associé aux futures EC8 (approche probabiliste) .....	158
3.5.3. Quelques références bibliographiques .....	159

3.6. DOSSIER D'INFORMATION SUR LA REGION ALSACE .....	173
3.6.1. Contexte sismotectonique de la région Alsace .....	173
Evolution Geologique .....	173
Principales failles .....	174
Tectonique récente .....	175
Sismicité .....	175
Cinématique actuelle .....	176
3.6.2. Zonages sismiques .....	176
Zonage sismique réglementaire (approche statistico-historique) .....	176
Zonage sismique associé aux futurs EC8 (approche probabiliste) .....	177
3.6.3. Quelques références bibliographiques.....	178
3.7. DOSSIER D'INFORMATION SUR L'ARCHIPEL GUADELOUPEEN .....	191
3.7.1. Contexte sismotectonique.....	191
Contexte géologique et principales failles .....	191
Tectonique récente .....	193
Sismicité .....	194
Cinématique actuelle .....	194
3.7.2. Zonages sismiques .....	195
Zonage sismique réglementaire (approche statistico-historique) .....	195
Zonage sismique associé aux futurs EC8 (approche probabiliste) .....	195
3.7.3. Quelques références bibliographiques.....	196
3.8. DOSSIER D'INFORMATION SUR LA MARTINIQUE .....	207
3.8.1. Contexte sismotectonique.....	207
Contexte géologique et principales failles .....	207
Tectonique récente .....	208
Sismicité .....	208
Cinématique actuelle .....	208
3.8.2. Zonages sismiques .....	209
Zonage sismique réglementaire (approche statistico-historique) .....	209
Zonage sismique associé aux futurs EC8 (approche probabiliste) .....	209
3.8.3. Quelques références bibliographiques.....	210

## Liste des illustrations

Figure 1 - Les évènements naturels les plus catastrophiques du XX <sup>ème</sup> siècle jusqu'à 2006 .....	16
Figure 2 - Le phénomène sismique .....	21
Figure 3 – Les quatre axes majeurs de la prévention du risque sismique en France .....	22
Figure 4 - Tectonique des plaques : Structure interne de la Terre .....	27
Figure 5 - Tectonique des plaques : Les principales plaques tectoniques .....	28
Figure 6 - Tectonique des plaques : Représentation schématique des trois types principaux de frontières de plaques .....	28
Figure 7 - Tectonique des plaques : Localisation des séismes enregistrés durant la période 1973 – 2004 et de magnitude supérieure à 4.5 (source : UGS-NEIC) .....	29
Figure 8 - Faille : Les 3 principaux types de failles, des schémas et des photos.....	30
Figure 9 - Séisme : Représentation schématique de la rupture sismique d'une faille.....	38
Figure 10 - Séisme : Les équivalences de l'échelle de Richter : magnitude, énergie , durée, rejet, longueur du plan de faille rompu, fréquence mondiale annuelle.....	38
Figure 11 - Séisme : Les plus forts séismes enregistrés depuis 1 siècle dans le monde .....	39
Figure 12 - Séisme : Description de l'échelle d'intensité sismique EMS98 .....	39
Figure 13 - Séisme : Identification des trois types d'onde sismiques sur un sismogramme.....	40
Figure 14 - Séisme : Localisation de l'épicentre en fonction du temps d'arrivée des ondes sismiques .....	40
Figure 15 – Séisme : Représentation schématique des trois types d'ondes générés lors de la rupture sismique.....	41
Figure 16 - Séisme : Représentation schématique du mouvement des particules engendrées par chacune des 4 types d'ondes sismiques .....	42
Figure 17 - Séisme : Représentation schématique du calcul du mécanisme au foyer d'un séisme à partir de l'enregistrement de plusieurs sismomètres .....	43
Figure 18 - Séisme : Représentation des mécanismes au foyer des trois principaux types de failles .....	43
Figure 19 - Séisme : La surveillance sismologique en France.....	44
Figure 20 - Séisme : La base nationale SisFrance pour la métropole française, page d'accueil du site <a href="http://www.sisfrance.net/">http://www.sisfrance.net/</a> .....	45
Figure 21 - Séisme : La base nationale SisFrance pour les Antilles françaises, page d'accueil du site <a href="http://www.sisfrance.net/Antilles/">http://www.sisfrance.net/Antilles/</a> .....	45
Figure 22 - Le cycle sismique : accumulation progressive des contraintes jusqu'à la rupture du plan et l'apparition du séisme .....	47
Figure 23 – Cycle sismique : Propagation de la rupture sismique le long de la faille nord anatolienne (d'après R.S. Stein et al., 1996) .....	48
Figure 24 - Aléa, vulnérabilité, risque : Représentation schématique de l'évaluation du risque sismique .....	52
Figure 25 - Aléa, vulnérabilité, risque : Les trois étapes d'évaluation de l'aléa sismique régional et local .....	53
Figure 26 - Aléa, vulnérabilité, risque : Analyse des conditions géologiques et topographiques locales pour le calcul des effets de site .....	54
Figure 27 - Aléa, vulnérabilité, risque : Représentation en coupe des paramètres retenus pour l'évaluation du mouvement sismique au rocher (aléa régional) ou au niveau du site (aléa local) .....	55
Figure 28 - Aléa, vulnérabilité, risque : Types de configuration des effets de site directs d'un séisme .....	56
Figure 29 - Aléa, vulnérabilité, risque : Exemple des effets de site topographiques lors du séisme de Provence du 11 juin 1909.....	56

Figure 30 - Aléa, vulnérabilité, risque : Effet de site lithologique, Vue d'un immeuble de deux étages totalement détruits à Mexico en 1985 (@Cdt Fabre- Sécurité civile d'Avignon).....	57
Figure 31 - Aléa, vulnérabilité, risque : Exemple du séisme de Mexico, 1985 : amplification de l'accélération au droit de la cuvette sédimentaire sur laquelle est bâtie la ville de Mexico.....	57
Figure 32 - Aléa, vulnérabilité, risque : Représentation schématique du phénomène de liquéfaction des sols .....	58
Figure 33 - Aléa, vulnérabilité, risque : Séisme d'Izmit (Turquie, 1999), Ville d'Apazari : rue recouverte par le sable remonté du sous-sol lors du séisme et bâtiment basculé du fait de la liquéfaction du sol (Photo BRGM, P. Mouroux) .....	58
Figure 34 - Aléa, vulnérabilité, risque : Représentation schématique de mouvements de terrain déclenchés par la vibration sismique .....	59
Figure 35 - Aléa, vulnérabilité, risque : Exemple de mouvements de terrain déclenchés par la vibration ismique : archipel guadeloupéen (Antilles) après le séisme du 21 novembre 2004 (photos S. Bès de Berc, BRGM) .....	59
Figure 36 - Aléa, vulnérabilité, risque : Vue A, Glissement de terrain provoqué par le séisme de Salvador (2001) ; Vue B, Effondrement de talus lors du séisme d'Izmit (Turquie), 1999 (photo BRGM, P. Mouroux).....	59
Figure 37 - Aléa, vulnérabilité, risque : Représentation schématique de la propagation de la vague tsunamigène d'origine sismique (d'après document MEDD-DPPR).....	60
Figure 38 - Aléa, vulnérabilité, risque : Représentation schématique de la propagation de la rupture le long du plan de faille jusqu'à la surface du sol.....	61
Figure 39 - Aléa, vulnérabilité, risque : Séisme d'Izmit (Turquie), 1999 : décalage horizontal (décrochant dextre) avec un rejet de 3,7 m de la canalisation rompue (Photo P. Mouroux, BRGM) .....	61
Figure 40 - Aléa, vulnérabilité, risque : Séisme de Fairview Peak (Etats Unis, Nevada), 1954 : mouvement normal d'une faille (Photo K. Steinbrugge).....	61
Figure 41 - Vulnérabilité : Classification EMS 98 relative à la vulnérabilité des bâtiments en fonction du type de structures et du groupe principal correspondant .....	64
Figure 42 - Vulnérabilité : Echelle EMS 98, degrés de dommages relatifs aux constructions en maçonnerie.....	65
Figure 43 - Vulnérabilité : Echelle EMS 98, degrés de dommages relatifs aux constructions en béton armé .....	66
Figure 44 - Risque : Quelques séismes parmi les plus catastrophiques du dernier millénaire .....	68
Figure 45 - Risque : Principes d'évaluation d'un scénario de risque sismique .....	69
Figure 46 -Prévention Les principaux zonages sismiques français .....	79
Figure 47 - Prévention Le zonage sismique officiel de la France .....	80
Figure 48 - Prévention Le zonage sismique probabiliste de la France .....	81
Figure 49 - Prévention Schéma illustrant la philosophie de la réglementation sismique française actuelle.....	82
Figure 50 - Prévention Valeur de l'accélération nominale aN définie par l'arrêté du 29 mai 1997 pour l'application des Normes PS92. ....	82
Figure 51 - Prévention : Quelques principes de base d'une construction parasismique (source MEDD/DPPR).....	86
Figure 52 - Partie 2 - Schéma sismotectonique de la Méditerranée .....	103
Figure 53 - Partie 2 - Localisation des épicentres de séismes historiques en France métropolitaine .....	104
Figure 54 - Partie 2 - Liste des séismes historiques répertoriés en France métropolitaine et d'intensité épicentrale au moins égale à VII-VIII .....	105
Figure 55 - Partie 2 : Schéma structural de l'arc Caraïbes .....	107



Figure 56 - Partie 2 : Epicentres des séismes historiques.....	108
Figure 57 - Partie 2 : Séismes localisés dans l'arc des Caraïbes et d'intensité épicertrale au moins égale à IX.....	108
Figure 58 - Pyrénées : Carte sismotectonique.....	110
Figure 59 - Pyrénées : Légende Figure 60 à Figure 66.....	119
Figure 60 – Pyrénées : Carte des principales failles potentiellement actives sur fond géologique (fond géologique d'après la carte géologique de la France, Edit. BRGM, 1996) .....	120
Figure 61 - Pyrénées : Carte des principales failles potentiellement actives de la région des Pyrénées et localisation des indices de ruptures quaternaires (étoiles rouges) .....	121
Figure 62 - Pyrénées : Epicentres des séismes historiques (d'après BRGM/EDF/IRSN SisFrance, 2005) de la région des Pyrénées).....	122
Figure 63 - Pyrénées : Epicentres des séismes enregistrés entre 1981 et 2004 dans la région des Pyrénées (données transmises par le BCSF).....	123
Figure 64 - Pyrénées : Liste des séismes dans les Pyrénées ou à proximité ayant atteint ou dépassé l'intensité VII (extrait de SisFrance, BRGM, EDF, IRSN, 2005) .....	124
Figure 65 - Pyrénées : Liste des séismes dans les Pyrénées ou à proximité ayant atteint ou dépassé la magnitude 4,0 (extrait du fichier BCSF, période 1981- 2004) .....	125
Figure 66 – Pyrénées : Localisation des principales failles actives dans les Pyrénées et direction des mouvements de blocs sous l'effet de la contrainte (force) tectonique principale .....	126
Figure 67 – Pyrénées : Zonage sismique règlementaire (approche empirico-statistique) .....	127
Figure 68 - Pyrénées : Zonage sismique règlementaire (approche empirico-statistique, répartition en pourcentage de communes par département.....	127
Figure 69 - Pyrénées : Zonage sismique probabiliste .....	128
Figure 70 - Pyrénées : Zonage sismique probabiliste, répartition en pourcentage de communes par département .....	128
Figure 71 – Région Provence-Alpes- Côte d'Azur : Carte sismotectonique.....	130
Figure 72 - Région PACA : Légende Figure 73 à Figure 79.....	138
Figure 73 - Région PACA : Carte des principales failles potentiellement actives de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur localisées sur le fond géologique (fond d'après la carte géologique de la France, Edit. BRGM, 1996) .....	139
Figure 74 - Région PACA : Carte des principales failles potentiellement actives de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur et localisation des indices de ruptures quaternaires (étoiles rouges) .....	140
Figure 75 - Région PACA : Epicentres des séismes historiques localisés dans ou à proximité de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur(d'après BRGM/EDF/IRSN SisFrance, 2005) .....	141
Figure 76 - Région PACA : Epicentres des séismes enregistrés depuis 1981 dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur ou à proximité (données transmises par le BCSF).....	142
Figure 77 - Région PACA : Liste des Séismes d'intensité épicertrale au moins égale à VII, et dont l'épicertrale se trouve dans la région Provence-Alpes – Côte d'Azur (d'après SisFrance, BRGM, EDF, IRSN, 2005).....	143
Figure 78 - Région PACA Liste des Séismes de magnitude au moins égale à 3,5 et dont l'épicertrale se trouve dans la région Provence-Alpes – Côte d'Azur (d'après le fichier du BCSF, période 1981 à 2004).....	144
Figure 79 - Région PACA : Localisation des principales failles actives de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur et direction de la contrainte tectonique principale .....	145

Figure 80 - Région PACA Bloc 3D représentant la tectonique active et le régime géodynamique actuel de l'arc alpin (d'après Delacou B., 2004, modifié) .....	146
Figure 81 - Région PACA - Rejeu de la faille de la Trévaresse lors du séisme de 1909 : A) localisation, B) Isoséistes du séisme (d'après SisFrance, BRGM, EDF, IRSN, 2005), C) Trace de la rupture en surface de la faille (dessin extrait de Chardon et al., 2005).....	147
Figure 82 - Région PACA : Zonage sismique règlementaire (approche empirico-statistique) .....	148
Figure 83 - Région PACA : Zonage sismique règlementaire (approche empirico-statistique), répartition en pourcentage de communes par département.....	148
Figure 84 - Région PACA : Zonage sismique probabiliste .....	149
Figure 85 - Région PACA : Zonage sismique probabiliste, répartition en pourcentage de communes par département.....	149
Figure 86 - Rhône - Alpes : Carte sismotectonique .....	152
Figure 87 - Région Rhône – Alpes : Légende Figure 88 à Figure 94 .....	160
Figure 88 - Région Rhône – Alpes : Localisation des principales failles sur le fond lithostratigraphique extrait de la carte géologique de la France (fond, Edit. BRGM, 1996).....	161
Figure 89 - Région Rhône – Alpes : Localisation des principales failles et des indices de ruptures quaternaires (étoiles rouges).....	162
Figure 90 – Région Rhône – Alpes : Epicentres des séismes historiques (extrait de SisFrance, BRGM, EDF, IRSN, 2005).....	163
Figure 91 - Région Rhône – Alpes : Epicentres des séismes enregistrés depuis 1981 (données transmises par le BCSF) .....	164
Figure 92 - Région Rhône – Alpes : Epicentres des séismes historiques localisés dans la région Rhône – Alpes et d'intensité égale ou supérieure à VII (extrait de SisFrance, BRGM, EDF, IRSN, 200).....	165
Figure 93 - Rhône - Alpes : Epicentres des séismes localisés dans la région Rhône – Alpes et de magnitude au moins égale à 3,5 (extrait du fichier BCSF, période 1981 à 2004).....	166
Figure 94 - Région Rhône – Alpes : Localisation des principales failles actives et direction de la contrainte tectonique principale .....	167
Figure 95 - Région Rhône – Alpes : Bloc 3D représentant la tectonique active et le régime géodynamique actuel de l'arc alpin (d'après Delacou B., 2004 ; modifié).....	168
Figure 96 - Région Rhône – Alpes : Zonage sismique règlementaire (approche empirico-statistique).....	169
Figure 97 - Région Rhône – Alpes : Zonage sismique règlementaire (approche empirico-statistique), répartition en pourcentage de communes par département.....	169
Figure 98 - Région Rhône – Alpes : Zonage sismique probabiliste .....	170
Figure 99 - Région Rhône – Alpes : Zonage sismique probabiliste, répartition en pourcentage de communes par département .....	170
Figure 100 – Alsace : Carte sismotectonique.....	172
Figure 101 - Alsace : Légende Figure 102 à Figure 108.....	179
Figure 102 - Alsace : Carte des principales failles potentiellement actives de la région Alsace et départements proches localisées sur le fond géologique (fond d'après la carte géologique de la France, Edit. BRGM, 1996).....	180
Figure 103 - Alsace : Carte des principales failles potentiellement actives de la région Alsace et départements proches et localisation des indices de ruptures de terrain quaternaires (étoiles rouges).....	181
Figure 104 - Alsace : Epicentres des séismes historiques (d'après BRGM/EDF/IRSN SisFrance, 2005) de la région Alsace et départements proches .....	182

Figure 105 - Alsace Epicentres des séismes enregistrés depuis 1981 de la région Alsace et départements proches (données transmises par le BCSF).....	183
Figure 106 - Alsace : Liste des séismes localisés dans la région Alsace et départements voisins et ayant atteint ou dépassé l'intensité VI (extrait de SisFrance, BRGM, EDF, IRSN, 2005).....	184
Figure 107 – Alsace : Liste des séismes localisés dans la région Alsace et départements voisins et ayant atteint ou dépassé la magnitude 3,5 (extrait du fichier BCSF, période 1981 à 2004).....	185
Figure 108 - Alsace : Localisation des principales failles actives de la région Alsace et départements proches et direction de la contrainte tectonique principale.....	186
Figure 109 - Alsace : Zonage sismique règlementaire (approche empirico-statistique) .....	187
Figure 110 - Alsace : Zonage sismique règlementaire (approche empirico-statistique), répartition en pourcentage de communes par département.....	187
Figure 111 - Alsace : Zonage sismique règlementaire (approche empirico-statistique) .....	188
Figure 112 - Alsace : Zonage sismique règlementaire (approche empirico-statistique), répartition en pourcentage du nombre de communes par département .....	188
Figure 113 - Guadeloupe : carte sismotectonique.....	190
Figure 114 - Guadeloupe : Localisation des principales failles au nord de l'arc des Petites Antilles (sources Feuillet et al., 2002, modifié) .....	197
Figure 115 - Guadeloupe : Localisation des failles principales de l'archipel guadeloupéen (d'après Terrier et al., 2002, Feuillet et al., 2004).....	198
Figure 116 - Guadeloupe : Localisation en profondeur des séismes (d'après Geo-Ter, 2002, modifié) .....	199
Figure 117 - Guadeloupe : Localisation des épicentres de séismes historiques (d'après SisFrance/Antilles, BRGM, 2005) .....	200
Figure 118 - Guadeloupe : Localisation des épicentres de séismes enregistrées entre janvier 1981 et décembre 1999 (extrait du fichier IPG-P) et du séisme du 21/11/ 2004 .....	201
Figure 119 - Guadeloupe : Liste des séismes historiques localisés dans un rayon de 150 km environ autour de l'archipel guadeloupéen et d'intensité au moins égale à VI (extrait de la base SisFrance/Antilles, BRGM, 2005) .....	202
Figure 120 - Guadeloupe : Liste des séismes enregistrés dans un rayon de 200 km environ autour de l'archipel guadeloupéen et de magnitude au moins égale à 5 (extrait du fichier IPG-P, période janvier 1994 à septembre 2005) .....	203
Figure 121 - Martinique : Carte sismotectonique.....	206
Figure 122 - Martinique : Localisation des principales failles au centre de l'arc des Petites Antilles.....	211
Figure 123 - Martinique : Localisation des principales failles (d'après Terrier et al., 2002) .....	212
Figure 124 - Martinique : Localisation des épicentres des séismes historiques (d'après SisFrance/Antilles, BRGM, 2005) .....	213
Figure 125 - Martinique : Localisation des épicentres de séismes enregistrées entre janvier 1994 et septembre 2005 (extrait du fichier IPG-P).....	214
Figure 126 - Martinique : Localisation en profondeur des séismes (d'après Geo-Ter, 2002, modifié) .....	215
Figure 127 - Martinique : Liste des séismes historiques d'intensité au moins égale à VI et localisés dans un rayon de 200 km autour de l'île (d'après SisFrance/Antilles, BRGM, 2005) .....	216
Figure 128 - Martinique : Liste des séismes enregistrés entre janvier 1994 et septembre 2005 dans un rayon de 200 km autour de la Martinique et de magnitude au moins égale à 4,5 (d'après le fichier IPG-P) .....	217



# 1. Introduction

## 1.1. OBJECTIFS ET STRUCTURE DU RAPPORT

Les départements français de Guadeloupe et de Martinique se trouvent dans l'arc des Petites Antilles caractérisé par une sismicité relativement élevée et fréquente. Pour cette raison ces deux départements sont classés en zone de forte sismicité au niveau du zonage sismique de la France (cf 2.3.2).

Le territoire métropolitain connaît par contre une sismicité moins élevée pour la plus grande partie de son territoire. Certaines régions de la métropole sont néanmoins soumises à une sismicité non négligeable. Il s'agit notamment des Alpes, des Pyrénées, de la Provence, de l'arrière-pays niçois ou de l'Alsace, classées pour partie en zone de sismicité moyenne. Les régions Auvergne, vallée du Rhône, Grand Ouest (Massif Armoricain) et Nord disposant quant-à-elles d'un niveau de sismicité modéré (cf 2.3.2).

Ce rapport s'inscrit dans le cadre des études relatives au Plan Séisme. L'objectif est de disposer, avant l'apparition d'un événement sismique, d'informations générales sur le phénomène sismique d'une part, et des données géologiques et sismiques propres à la région concernée d'autre part.

Il est structuré en deux parties principales :

Partie 1 : explication du phénomène sismique, terminologie usuelle, informations générales communes aux six dossiers régionaux.

L'Etat français et ses collectivités territoriales ont un rôle actif dans la mise en place et le développement d'une politique de prévention du risque sismique. Cette première partie présente les quatre grands axes de la prévention du risque sismique en France : information et formation, aménagement du territoire, constructions parasismiques, organisation des secours.

Partie 2 : Le contexte sismotectonique et le zonage sismique relatif aux six régions ciblées.

Les régions Guadeloupe, Martinique, Pyrénées (partie sud des régions Aquitaine, Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon), Alsace (ou Fossé rhénan), Provence-Alpes-Côte d'Azur et Rhône-Alpes sont caractérisées par une sismicité relativement fréquente. Chacune de ces six régions fait donc l'objet d'un dossier technique spécifique. Ainsi en cas de survenance d'un séisme, le MEDD pourra fournir aux médias des premiers éléments sur le contexte sismotectonique dans lequel se place cette occurrence.

## 1.2. RAPPEL SUR LES GRANDES CATASTROPHES NATURELLES DU XXÈME ET DÉBUT XXIÈME SIÈCLE

Le phénomène sismique n'est malheureusement pas le seul phénomène naturel susceptible de générer une catastrophe (Figure 1). Néanmoins, si l'on se réfère à la liste des événements naturels les plus catastrophiques du siècle passé et de ces 6 dernières années, force est de constater qu'il constitue un des phénomènes les plus meurtriers. Ainsi, en se référant à la dernière décennie, les séismes ont fait plus de 350 000 victimes dans le monde (en comptant le tsunami déclenché par le séisme au large de Sumatra en décembre 2004).

Figure 1 - Les événements naturels les plus catastrophiques du XX<sup>ème</sup> siècle jusqu'à 2006

d'après « Les événements naturels dommageables en France et dans le monde en 2003 – retour d'expérience », Ministère de l'Équipement et du Développement Durable ; tableau complété

8 mai 1902	France: Éruption volcanique. Montagne Pelée, Martinique ; 28 000 morts.
5 avril 1905	Inde: Séisme. Province de Kangra Nord ; 20 000 victimes.
18 avril 1906	États-Unis: Séisme. San Fransisco ; 3 000 victimes.
17 août 1906	Chili: Séisme. Valparaiso ; 20 000 victimes.
21 octobre 1907	Chine: Séisme. Tien Chan ; plus de 10 000 victimes.
28 décembre 1908	Italie, Sicile: Séisme. Messine ; 86 000 morts.
21 octobre 1907	Ouzbékistan: Séisme. Samarcande ; plus de 10 000 victimes.
Juillet-septembre 1911	Chine: Inondations. Yangtsekiang ; 100 000 victimes.
1 août 1912	Chine: Cyclone. Port de Wenzhou ; 50 000 victimes.
13 janvier 1915	Italie: Séisme. Avezano ; 32 000 morts.
21 janvier 1917	Indonésie: Séisme. Bali ; 15 000 victimes.
16 décembre 1920	Chine: Séisme. Province de Gansu (nord ouest) ; 100 000 victimes.
1 juillet 1922	Chine: Cyclone Port de Shantou ; 50 000 victimes.
1er septembre 1923	Japon: Séisme. Tokyo, Yokohama ; 143 000 victimes.
23 mai 1927	Chine: Séisme. Nanchang, province de Jiangsi Sud ; 80 000 victimes.
Juillet-septembre 1931	Chine: Inondations. Yangtsekiang, Wuhan inondée ; plus de 400 000 victimes.
25 décembre 1932	Chine: Séisme. Province de Gansu, nord-ouest ; 80 000 victimes.
15 janvier 1934	Inde: Séisme. Province de Bihar ; plus de 10 000 victimes.
31 mai 1935	Pakistan: Séisme. Quetta ; 35 000 victimes.
2 septembre 1937	Chine: Cyclone. Hong-Kong ; marée de tempête de 6 m ; 11 000 victimes
25 janvier 1939	Chili: Séisme. Chillan, Concepcion ; 28 000 victimes.
27 décembre 1939	Turquie: Séisme. Erzincan, est du pays ; 33 000 victimes.
16 octobre 1942	Bangladesh Inde: Cyclone, Super-cyclone touchant notamment la province de l'Orissa (Inde) ; 40 000 victimes.
5 octobre 1948	Turkmenistan: Séisme. Achkhabad ; 20 000 victimes.
1 août 1954	Chine: Inondations. Secteur de Dongting ; 40 000 victimes.
1 juillet 1959	Chine: Inondations. 100 000 victimes.

29 février 1960	Maroc: Séisme. Agadir ; plus de 10 000 victimes.
1er septembre 1962	Iran: Séisme. Kazvin ; plus de 10 000 victimes.
28-29 mai 1963	Bangladesh: Cyclone. Plus de 20 000 victimes.
11-12 mai 1965	Bangladesh: Cyclone. 15 000 victimes.
3-10 septembre 1965	Etats-Unis: Ouragan. Betsy ; Floride, Louisiane ; 299 victimes.
16-18 août 1969	Etats-Unis: Ouragan. Camille ; Sud-est golfe du Mexique ; 323 victimes.
4 janvier 1970	Chine: Séisme. Yunnan (sud) ; 10 000 victimes.
31 mai 1970	Pérou: Séisme. Chimbote ; glissement de terrain ; 67 000 victimes.
12 novembre 1970	Bangladesh: Submersion marine, cyclone. Chittagong, Khulna ; marée de tempête ; 400 000 victimes.
31 octobre 1971	Inde: Séisme. Golfe du Bengale et Orissa ; 10 800 victimes.
18-19 juin 1972	Etats-Unis: Ouragan. Agnès ; Floride, sud-est ; 122 victimes
1er mai 1974	Chine: Séisme. Provinces de Sichuan et Yunnan ; plus de 10 000 victimes.
4 février 1976	Guatemala: Séisme. Guatemala-City ; 22 000 victime.
27-28 juillet 1976	Chine: Séisme. Tangshan (nord-est de la Chine); 290 000 victimes.
20 novembre 1977	Inde: Cyclone. Cyclone tropical à Andhra Pradesh ; 10 000 victimes.
1 septembre 1978	Inde: Inondations. Mousson ; 15 000 victimes.
16 septembre 1978	Iran: Séisme. Région de Tabas, est ; 20 000 victimes.
10 octobre 1980	Algérie: Séisme. El Asnam ; 5 000 victimes.
19 septembre 1985	Mexique: Séisme. Mexico ; 10 000 victimes.
13-14 novembre 1985	Colombie: Eruption volcanique. Armero; éruption du Nevado del Ruiz ; lahars ; 25 000 victimes.
9-17 septembre 1988	Amérique centrale, Caraïbes, Etats-Unis: Ouragan. Ouragan Gilbert ; 355 victimes.
7 décembre 1988	Arménie: Séisme. Spitak, Leninakan ; plus de 50 000 victimes.
16-22 septembre 1989	Caraïbes, Etats-Unis: Ouragan. Ouragan Hugo ; 71 morts, 6 milliards € de dommages.
21 juin 1990	Iran: Séisme. Provinces de Ghilan et Zandjan, nord-ouest ; magnitude 7,7 ; 40 000 victimes.
29-30 avril 1991	Bangladesh: Submersion marine, cyclone. Cyclone Gorky ; marée de tempête ; 140 000 victimes.
26-28 sept. 1991	Japon: Cyclone. Typhon Mireille ; 62 victimes, 7 milliards € de dommages.
23/27 août 1992	Etats-Unis: Ouragan. Ouragan Andrew ; Floride, Louisiane ; 62 victimes.
Juillet-août 1993	Etats-Unis: Inondations. Débordements du Mississippi, du Missouri et de l'Illinois ; 45 victimes ; plus de 10 milliards € de dommages.
17 janvier 1995	Japon: Séisme. Kobe ; magnitude 6,9 ; 6 300 victimes.
mai-septembre 1998	Chine: Inondations. Inondations du Yangtze ; plus de 3 500 victimes.
20-30 septembre 1998	Etats-Unis: Ouragan. Ouragan Georges ; Caraïbes aux Etats-Unis ; 500 victimes ; dommages économiques très importants.
28 octobre-3 novembre 1998	Honduras, Nicaragua: Cyclone. Ouragan Mitch ; Inondations, mouvements de terrain ; plus de 9 000 victimes.



17 août 1999	Turquie: Izmit, Koaceli ; magnitude 7,4 ; plus de 17 000 victimes, 7 milliards € de dommages.
13-16 septembre 1999	Etats-Unis: Ouragan Floyd ; Bahamas, Etats-Unis ; dommages économiques très importants.
20 septembre 1999	Taiwan: Séisme. Taichung ; magnitude 7,3 ; 2 400 victimes.
22-24 septembre 1999	Japon: Typhon. Typhon Bart ; sud du pays ; 26 victimes, environ 4 milliards € de dommages.
15 décembre 1999	Venezuela: Inondations. Nord du pays ; 30 000 victimes.
26, 27-28 décembre 1999	France: Tempêtes. 92 morts pour les deux tempêtes ; plus de 15 milliards € de dommages.
26 janvier 2001	Inde, Pakistan: Séisme. Gujrat ; magnitude 7,7 ; 15 000 victimes.
9-17 juin 2001	Etats-Unis: Inondations, tempête tropicale. 47 morts, 20 000 habitations endommagées, 6,7 milliards € de dommages.
7 au 26 août 2002	Europe centrale, Allemagne, Autriche, Rep. tchèque, Slovaquie: Inondations. Débordements de l'Elbe, de la Vltava et du Danube ; 52 morts, 28 milliards € de dommages.
21 mai 2003	Algérie: Séisme. Alger et département de Boumerdès (Kabylie) ; magnitude 6,6 ; 2 278 morts, près de 5 milliards € de dommages.
20 juin-20 juillet 2003	Chine: Inondations. Débordement de la rivière Huai, affluent du Yangtsé, 12 provinces affectées ; 16 morts, 3 millions de personnes évacués, 650 000 logements détruits, 7 milliards € de dommages.
1er-20 août 2003	Europe occidentale et du Sud-Ouest: Vague de chaleur. Des températures de plus de 40° C ; 30 000 morts, dont 15 000 en France.
10-11 septembre 2003	Corée du Sud: Typhon. Typhon Maemi, vents de plus de 216 km/h ; 91 morts, 5 milliards € de dommages.
26 décembre 2003	Iran: Séisme. Magnitude 6,6 ; plus de 38 000 victimes, près de 1 milliard € de dommages.
25-26 mai 2004	Haïti, République dominicaine: Inondations. Pluies torrentielles entraînant des inondations ; plus de 2 000 morts.
15-29 septembre 2004	Caraïbes: Cyclone. Cyclone Jeanne ; plus de 2 000 morts en Haïti et en République dominicaine, 1 million de personnes évacuées cote Est de la Floride.
26 décembre 2004	Asie du Sud : Indonésie, Sri Lanka, Inde, Thaïlande: Séisme, tsunami. Séisme marin d'une magnitude 9 suivi d'un raz-de-marée qui traverse l'océan Indien ; plus de 220 000 victimes.
8 octobre 2005	Asie : Pakistan, Inde, Cachemire, Séisme, magnitude 7,3 à 7,6, plus de 75 000 victimes



## **Partie 1 :**

# **Notions sur le phénomène sismique et sur la prévention du risque sismique**

## **2. Partie 1 : Notions sur le phénomène sismique et sur la prévention du risque sismique**

Cette première partie du rapport est structurée en 4 sous-chapitres :

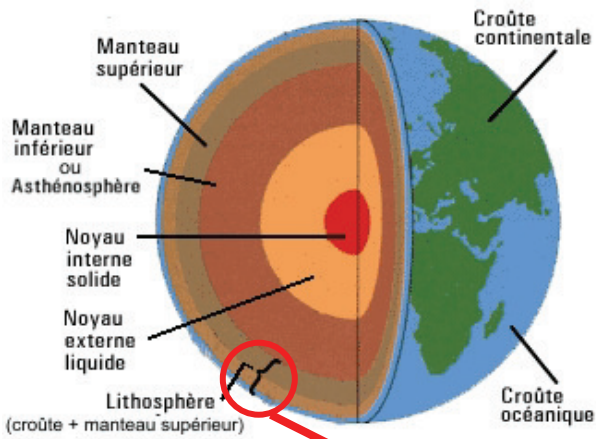
- Le sous-chapitre 2.1 décrit l'origine tectonique des séismes et le phénomène sismique.
- Le sous-chapitre 2.2 concerne les évaluations de l'aléa, de la vulnérabilité et du risque sismique.
- Le sous-chapitre 2.3 présente les actions menées aujourd'hui en France pour la prévention contre les séismes.

Le sous-chapitre 2.4 rassemble dans un glossaire les définitions sur le phénomène, l'aléa, la vulnérabilité et le risque sismique.

En préalable à une description détaillée des différentes thématiques listées ci-dessus, nous présentons deux fiches synthétiques sur le phénomène sismique et la prévention du risque sismique.


Figure 2 - Le phénomène sismique

## Le phénomène sismique



La Terre est constituée d'une succession de couches qui se distinguent par leur état solide, liquide ou plastique, ainsi que par leur densité. En surface, il s'agit de l'écorce ou de la croûte terrestre, celle-ci rigide repose sur un manteau d'abord rigide puis plastique. Les mouvements en profondeur dans le manteau plastique entraîne un déchirement (ou découpage) des couches supérieures rigides en plaques, qui se déplacent alors sur le manteau en fusion. Ce sont **les déformations engendrées par cette tectonique des plaques** qui sont à l'origine de l'activité sismique au sein de la croûte terrestre ou du manteau supérieur.

**Les séismes sont dus à une libération brusque d'énergie accumulée en profondeur** (comme un ressort comprimé longtemps qui se détendrait brusquement) grâce au déplacement de deux blocs en friction le long d'une cassure ou faille. Ces séismes trouvent leur origine entre la surface et 700 km de profondeur dans la croûte ou le manteau supérieur.



- 1** foyer sismique
- 2** onde sismique
- 3** mouvement de cisaillement, rupture
- 4** escarpement de faille
- 5** dégâts de surface
- 6** construction parasismique

© BRGM im@gé - M. Villey

*Figure extraite de Géosciences, sept. 2006, edit BRGM*

Pour une zone géographique donnée, l'évaluation du risque sismique consiste d'une part à analyser la **probabilité d'occurrence d'un séisme d'intensité donnée** (évaluation de l'aléa) et d'autre part à estimer la **vulnérabilité de ses enjeux** (c'est-à-dire leur fragilité en fonction d'une intensité sismique donnée).

Figure 3 – Les quatre axes majeurs de la prévention du risque sismique en France

## La prévention du risque sismique

Le séisme est un risque majeur contre lequel l'homme ne peut que se protéger de manière passive. On ne peut en effet empêcher un séisme d'avoir lieu, mais on peut en revanche tenter de le prévenir et **prendre des dispositions pour minimiser ses conséquences sur le plan humain et sur les pertes économiques potentielles.**

Ainsi, de façon générale, la prévention du risque consiste à “devancer” les problèmes avant qu'ils ne se posent en termes de catastrophe et diminuer ainsi la probabilité d'occurrence d'un risque identifié. La prévention du risque sismique s'articule autour de 4 axes principaux : **l'information et la formation, l'aménagement du territoire, la construction, la gestion de crise.**



Extrait du Classeur « Le risque sismique en PACA », co-édition BRGM, DIREN PACA, Région PACA, décembre 2006

## 2.1. DESCRIPTION DU PHENOMENE SISMIQUE

### 2.1.1. Tectonique des plaques

La tectonique des plaques est une théorie initiée dès la première moitié du XXème siècle par Alfred Wegener et développée et structurée au début des années 70. Elle permet d'expliquer la formation et l'évolution de la croûte terrestre au cours des temps géologiques :

La croûte terrestre et le manteau supérieur rigide constituent la lithosphère terrestre. Celle-ci est découpée en plaques, appelées plaques tectoniques, qui se déplacent lentement sur le manteau supérieur plastique appelé asthénosphère. Ce manteau est en fusion partielle et permet la dérive des plaques qui reposent sur lui. Les plaques peuvent converger et entrer en collision, diverger et s'éloigner l'une de l'autre ou glisser l'une contre l'autre le long d'une faille.

C'est à la frontière des plaques que l'activité sismique est la plus intense. Les tremblements de terre sont provoqués par une rupture brutale des roches le long d'un plan de faille où se concentrent les forces tectoniques. Cette rupture génère des ondes sismiques dont le passage à travers le sol provoque des vibrations qui peuvent être ressenties à la surface.

#### 2.1.1.1 Structure de la Terre

La Terre est divisée en couches superposées qui se distinguent par leur état solide, liquide ou plastique, ainsi que par leur densité. En partant du centre vers la surface de la Terre, on trouve les 3 entités suivantes (Figure 4) :

- **Le noyau** : divisé en un noyau interne solide et un noyau externe liquide. Le centre de la Terre se trouve à 6 370 km de profondeur.
- **Le manteau** : constitué par un manteau supérieur rigide jusqu'à 70 à 150 km, puis plastique jusqu'à 700 km de profondeur, et un manteau inférieur, solide et situé entre 700 et 2 900 km de profondeur.
- **La croûte** (ou écorce) : elle est à l'état solide. On distingue deux types de croûte, océanique et continentale. **La croûte océanique** se situe essentiellement sous les océans. Son épaisseur est de 5 km à 10 km en moyenne. Elle est constituée de roches basaltiques. **La croûte continentale** se trouve au niveau des continents. Son épaisseur est de 30 à 35 km au niveau des plaines continentales et de 50 à 65 km sous les chaînes de montagnes. Moins dense que la croûte océanique, elle est formée de roches granitiques essentiellement.

La lithosphère correspond au manteau supérieur solide et à la croûte terrestre. L'asthénosphère représente la partie plastique du manteau supérieur.

## ○ **Les principales plaques tectoniques**

Il existe un flux de chaleur qui va du centre vers l'extérieur de la Terre, flux causé par la désintégration radioactive de certains éléments chimiques dans le manteau et qui engendre des cellules de convection dans le manteau plastique (asthénosphère).

Les **mouvements de convection** qui animent l'asthénosphère induisent alors sur la lithosphère rigide des déformations. Ces dernières se traduisent par un **découpage de la lithosphère en plaques rigides** qui bougent les unes par rapport aux autres en glissant sur l'asthénosphère.

La lithosphère est découpée en 12 grandes plaques (Figure 5) :

- Pacifique,
- Eurasie,
- Afrique,
- Antarctique,
- Inde-Australie,
- Amérique du Nord,
- Amérique du Sud,
- Nazca,
- Philippine,
- Arabie,
- Coco,
- Caraïbe.

Certaines de ces grandes plaques peuvent être subdivisées en plaques plus petites. Par exemple, dans la plaque Eurasie, on distingue les petites plaques : Adriatique (ou Apulie), Egée, Libérie, Anatolie (Figure 5).

### **2.1.1.2 Les zones de frontières de plaques**

Les mouvements des plaques lithosphériques sur l'asthénosphère définissent trois types principaux de frontières entre les plaques (Figure 6) :

**Zone de divergence de plaques**, les plaques s'écartent l'une de l'autre, il y a création d'un de rift océanique, puis d'une dorsale médio-océanique.

La distension entre deux plaques provoque un amincissement de la croûte et la création d'un rift (exemple grand rift africain). Si cette distension se poursuit, elle aboutira à la séparation de la plaque en deux parties et à la création d'un océan. Cette dorsale médio-océanique sera le siège de la création d'une nouvelle croûte océanique.

Ce sont les cellules de convection de l'asthénosphère qui sont à l'origine de cette divergence de plaques lithosphériques. La convection produit dans la partie rigide de l'enveloppe de la terre (lithosphère) des forces de tension qui font que deux plaques divergent. Elle est le moteur du tapis roulant, entraînant la lithosphère océanique de



part et d'autre de la dorsale océanique. Entre ces deux plaques divergentes, la venue de magma crée de la nouvelle croûte océanique.

**Zone de convergence de plaques**, les plaques se rapprochent l'une de l'autre.

Si la surface de la terre est un espace fini, le fait que les plaques grandissent aux frontières divergentes implique qu'il faudra détruire de la lithosphère ailleurs pour maintenir constante la surface terrestre. Cette destruction se fait aux frontières convergentes qui, comme le nom l'indique, marquent le contact entre deux plaques lithosphériques qui convergent l'une vers l'autre. La destruction de plaque se fait par l'enfoncement dans l'asthénosphère d'une plaque sous l'autre plaque, et par la digestion de la portion de plaque enfoncée dans l'asthénosphère. C'est la subduction.

Généralement, la plaque océanique (plus lourde) subducte sous la plaque continentale (exemple : Pacifique/ Eurasie).

Cette convergence peut ensuite évoluer en collision entre 2 plaques continentales. La lithosphère continentale, de densité beaucoup plus faible que celle du manteau, a du mal à s'enfoncer dans l'asthénosphère. Tout le matériel sédimentaire des deux plaques tectoniques est comprimé et se soulève pour former une chaîne de montagnes où les roches sont plissées et faillées. Des lambeaux de la croûte océanique peuvent même être coïncés dans des failles. La soudure entre deux plaques continentales pour n'en former qu'une seule sera à l'origine d'une chaîne orogénique. Il s'agit par exemple, de l'affrontement de la plaque indienne avec la plaque eurasienne, à l'origine de la formation de la chaîne himalayenne (Figure 5).

**Zone transformante** : Les frontières transformantes correspondent à de grandes fractures qui affectent toute l'épaisseur de la lithosphère; on utilise plus souvent le terme de failles transformantes. Ces failles permettent 1) d'accomoder des différences dans les vitesses de déplacement ou même des mouvements opposés entre les plaques, 2) ou de faire le relais entre des limites divergentes et convergentes. Elles se trouvent le plus souvent, mais pas exclusivement, dans la lithosphère océanique.

Il s'agit par exemple de la faille de San Andreas en Californie qui assure le relais du mouvement entre la limite divergente de la dorsale du Pacifique-Est avec la limite convergente de la plaque nord américaine (Figure 5).

### **2.1.1.3 Sismicité interplaque**

C'est le long des limites de plaques que l'activité sismique et volcanique est la plus intense (Figure 7). La sismicité interplaque est responsable de 90% de la libération d'énergie sismique sur Terre.

Dans le cas de convergence entre deux plaques, la zone sismogène, c'est-à-dire la zone dans laquelle prennent naissance les tremblements de terre, dépend de l'enfoncement de la plaque subductée. Elle peut atteindre plusieurs centaines de kilomètres de profondeur.

#### **2.1.1.4      *Sismicité intraplaque***

Parfois, les forces en présence sont tellement importantes que la déformation peut dépasser les limites principales interplaques et concerner aussi l'intérieur des plaques en mouvement. Des séismes sont alors enregistrés au sein des plaques (Figure 7). La sismicité est alors qualifiée d'intraplaque. Elle a généralement une répartition plus diffuse que la sismicité interplaque.

Pour les séismes intraplaques, situés dans la croûte continentale, la zone sismogène s'étend d'une profondeur proche de la surface de la Terre à des profondeurs de 10 à 30 km selon la région considérée. La base de la zone sismogène correspond à la limite mécanique en dessous de laquelle les déformations tectoniques se produisent sous la forme d'un flux plastique à cause du gradient géothermique.



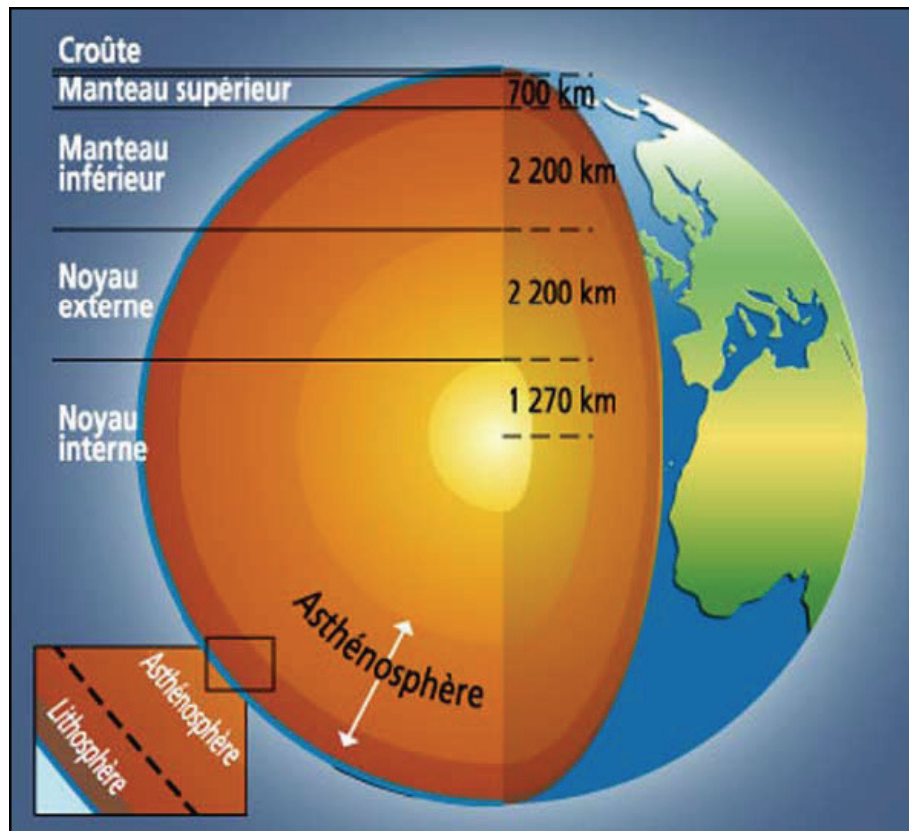


Figure 4 - Tectonique des plaques : Structure interne de la Terre

(d'après MEDD, [www.prim.net](http://www.prim.net))



Figure 5 - Tectonique des plaques : Les principales plaques tectoniques (d'après [http://www.dinosoria.com/climatique/carte\\_tec\\_gr.jpg](http://www.dinosoria.com/climatique/carte_tec_gr.jpg))

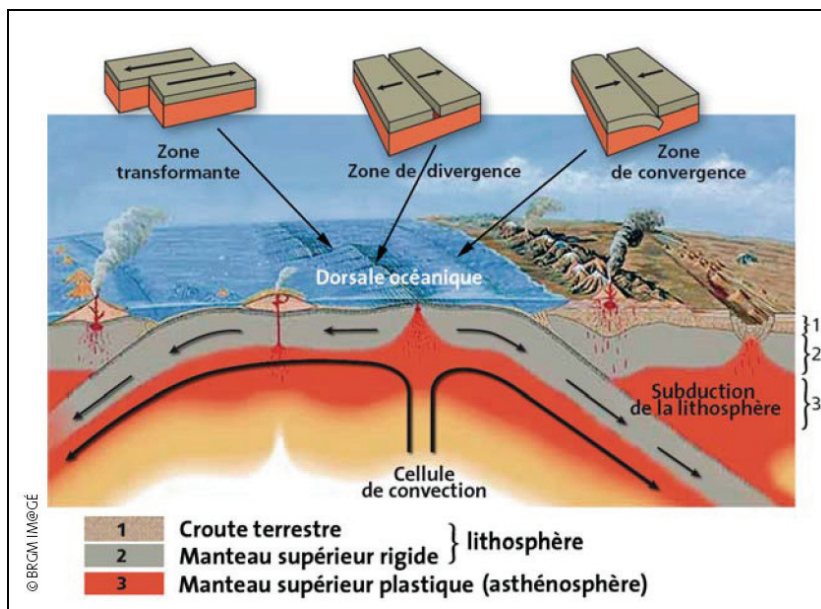
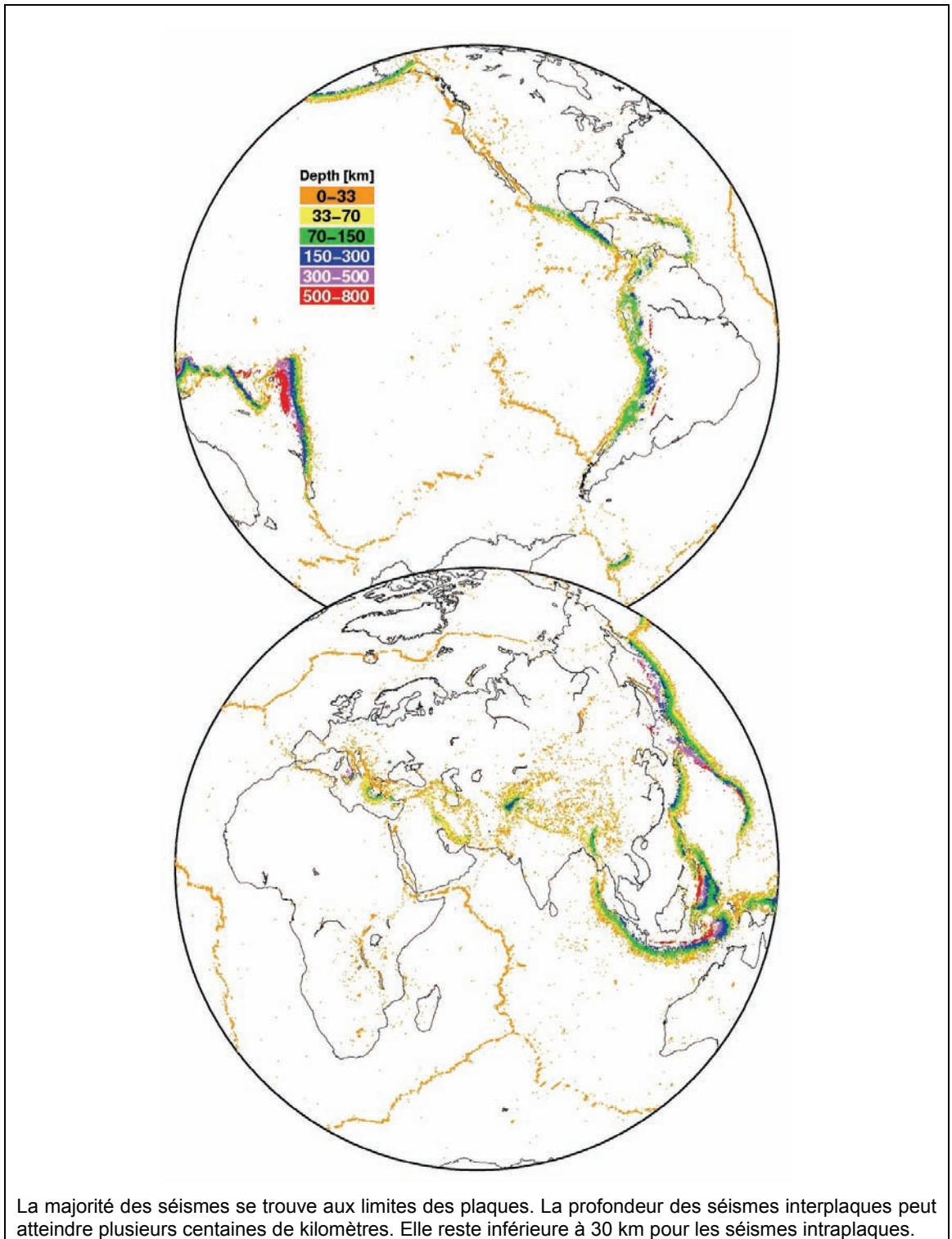


Figure 6 - Tectonique des plaques : Représentation schématique des trois types principaux de frontières de plaques

(Extrait du Classeur « Le risque sismique en Provence », edit. BRGM, DIREN-PACA, Conseil régional-PACA, décembre 2006)



*Figure 7 - Tectonique des plaques : Localisation des séismes enregistrés durant la période 1973 – 2004 et de magnitude supérieure à 4.5 (source : UGS-NEIC)*



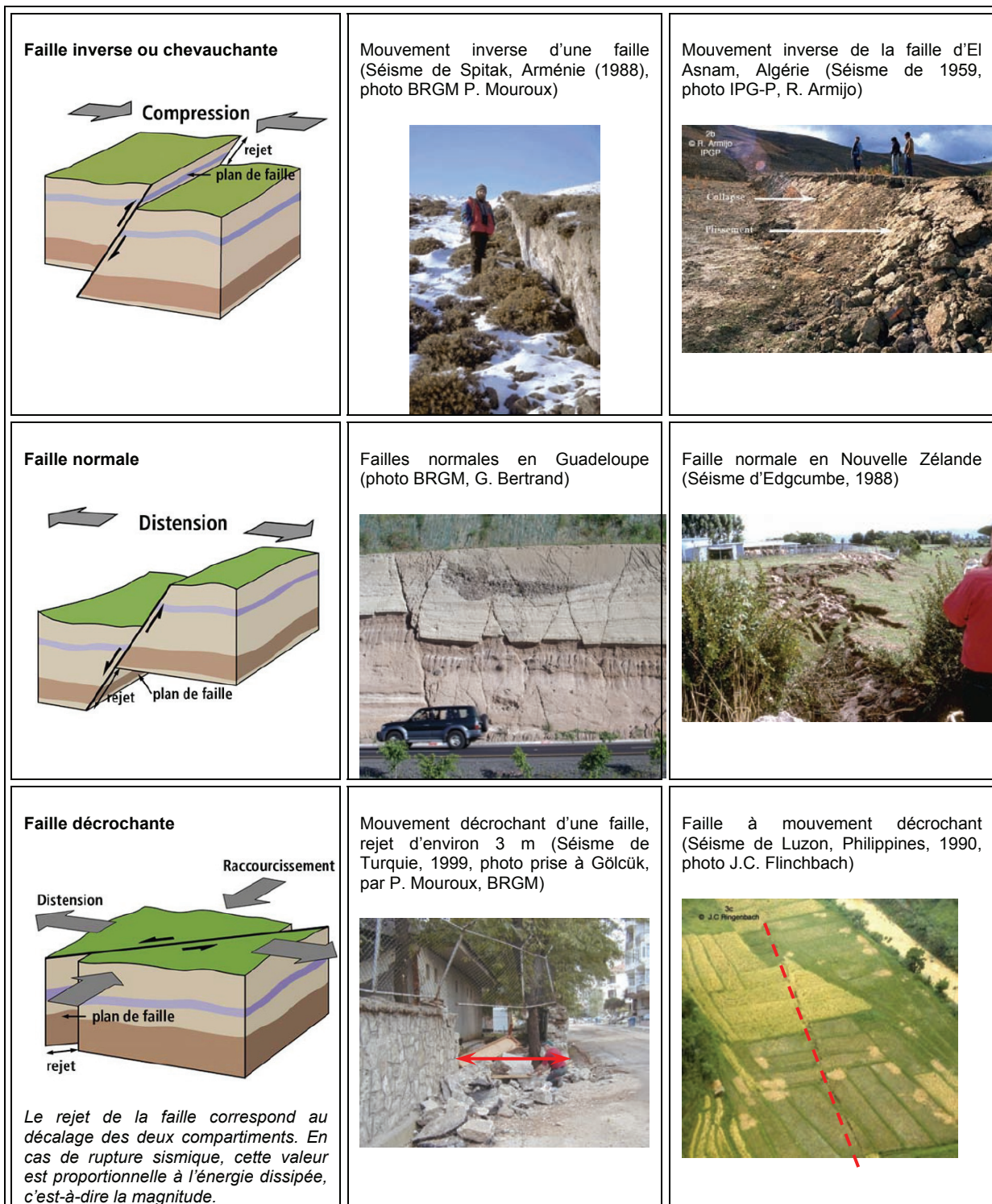


Figure 8 - Faïlle : Les 3 principaux types de failles, des schémas et des photos

## 2.1.2. Faille

### 2.1.2.1 *Qu'est-ce qu'une faille :*

Le mouvement relatif continu des plaques tectoniques qui existe en profondeur dans la partie ductile du manteau est généralement accommodé par des ruptures successives dans la partie fragile superficielle de l'écorce terrestre. Les surfaces de ruptures sont nommées des failles tectoniques.

Une faille est donc une cassure avec déplacement de masse dans les matériaux rigides de l'écorce terrestre, en réaction à une contrainte. Les forces qui génèrent cette contrainte peuvent agir en compression, en extension ou en couple, définissant autant de types de failles. Les contraintes en extension produisent les failles dites "normales" et les contraintes en compression produisent les failles dites "inverses" (Figure 8).

L'énergie sismique est due au rebond élastique des deux épontes de la faille lors de ces ruptures. On appelle zone sismogène la partie de la faille dans laquelle se produit la nucléation des ruptures.

### 2.1.2.2 *Faille inactive ? Faille lente ? Faille sismogène ?*

Un séisme est toujours le témoignage de la présence d'une faille (si on exclut certaines sources très particulières, telle que les séismes liés à la montée du magma dans le volcan). Mais une faille ne produit pas toujours des séismes. On distingue ainsi les failles inactives, les failles actives asismiques, et les failles actives sismogènes.

Une **faille inactive** est une faille qui n'a subi aucun mouvement depuis plusieurs milliers d'années et qui a priori n'en engendrera pas de nouveau.

En revanche une faille ou une partie de cette dernière peut être active mais ne générer aucun séisme (ou bien une sismicité diffuse de très faible magnitude) ; il s'agit alors d'une **faille active asismique**. Le mouvement sur la faille se fait alors très lentement (vitesse annuelle d'ordre millimétrique à inframillimétrique) et de façon continue.

Dans le cas d'une **faille active sismogène**, on considère que le prochain glissement du plan de faille peut donner lieu à une rupture brutale, c'est-à-dire à un séisme.

### 2.1.2.3 *Comment les identifie-t-on ?*

L'identification des failles actives d'une région se fait grâce à une étude sismotectonique. La sismotectonique étudie les relations entre mouvements tectoniques et activité sismique. Elle prend en compte des informations issues de différentes disciplines, telles que : les connaissances sur la structure de la croûte (épaisseur de la couverture sédimentaire, évolution des déformations tectoniques, champs de contraintes, etc.) et la profondeur du Moho (interface croûte/manteau

supérieur), les informations sismologiques (répartition, profondeur, magnitude des séismes, mécanismes focaux), les données géodésiques, altimétriques, satellitaires.

En France métropolitaine, les séismes de forte magnitude (au moins égale à 5, c'est-à-dire une rupture de la faille de l'ordre de 5 cm au moins) sont peu nombreux et ne se reproduisent que rarement au même endroit à l'échelle de la mémoire humaine. On ne peut donc espérer avoir une image exhaustive de la sismicité potentielle d'une région à l'aide des seules données de sismicité instrumentale et historique. La recherche d'indices néotectoniques, de paléoséismes ainsi que l'exploitation de mesures de déformation (GPS, Global Positionning System) sont donc des compléments indispensables à l'analyse de la sismicité passée et à l'identification des failles sismogènes.

## 2.1.3. Séisme

### 2.1.3.1 Définition

Séisme, tremblement de terre, secousse sismique sont des termes équivalents.

A l'échelle des temps géologiques, les tremblements de terre sont des phénomènes instantanés qui résultent du glissement instable de deux compartiments de la partie supérieure de la croûte terrestre le long d'une zone de faille. La surface de faille affectée peut varier, de quelques m<sup>2</sup> pour les tremblements de terre les plus faibles, à plusieurs milliers de km<sup>2</sup> pour les séismes les plus importants.

Les tremblements de terre sont définis comme grands ou majeurs lorsqu'ils affectent toute l'épaisseur de la zone sismogène. Dans ce cas, des ruptures peuvent se produire à la surface du sol et la déformation provoquée par le tremblement de terre, dite cosismique, est mesurable par les méthodes géodésiques. La longueur de faille sur laquelle la rupture se propage est au minimum d'une dizaine de km, ce qui correspond à une magnitude minimale  $M_w = 6.0$ .

### 2.1.3.2 Autres définitions afférentes au séisme

Un séisme (ou tremblement de terre) est provoqué par une rupture brutale des roches le long d'un plan de faille (Figure 9). Cette rupture génère des **ondes sismiques** dont le passage à travers le sol provoque des vibrations qui peuvent être ressenties à la surface. La portion du plan de faille où se produit la rupture et où débute la propagation initiale des ondes s'appelle **le foyer ou l'hypocentre** du séisme. Le foyer peut être situé à faible profondeur (quelques kilomètres), on parle alors de *séisme superficiel*, ou à grande profondeur (plusieurs dizaines, voire centaines de kilomètres), on parle alors de *séisme profond*. Le point de la surface du sol situé à la verticale du foyer d'un séisme s'appelle **l'épicentre**. Tandis que la **profondeur focale** représente la distance entre le foyer d'un séisme et l'épicentre. La distance entre le foyer d'un séisme et un point donné de la surface de la Terre correspond à la **distance focale (ou hypocentrale)**. La **distance épiscopentrale** représente par contre la distance entre l'épicentre et un point donné de la surface de la Terre. Une estimation de l'énergie dissipée au foyer sous forme d'ondes sismiques est apportée par **la magnitude**. Cette grandeur donne aussi une indication sur la taille de la surface de la faille qui a rompu. Elle est mesurée grâce aux sismogrammes. L'échelle de magnitude la plus souvent utilisée est celle de Richter. **L'intensité** exprime les effets du séisme sur les personnes, les constructions ou l'environnement et cela en se basant sur une échelle descriptive qualitative (MSK ou EMS98).

Le séisme est d'autant plus violent en surface que la quantité d'énergie emmagasinée au niveau de la faille avant le séisme est importante (cf § 2.1.4) et que la rupture est proche de la surface. L'énergie dégagée lors d'un séisme peut atteindre, voire dépasser pour les événements cataclysmiques, une puissance dix millions de fois plus importante que la bombe lâchée sur Hiroshima en 1945.

### 2.1.3.3 *Echelle de magnitude*

La magnitude d'un séisme (notée M) est un chiffre sans dimension représentant l'énergie libérée lors de la rupture. La magnitude est unique pour un séisme et indépendante du lieu d'observation.

L'échelle de magnitude la plus connue est celle de Richter. Sur cette échelle, augmenter la magnitude d'une unité équivaut à multiplier par 30 l'énergie libérée par la rupture (Figure 10). Ainsi, un séisme de magnitude 6 équivaut à la libération de l'énergie de trente séismes de magnitude 5. Cette échelle permet aussi d'apprécier les dimensions de la faille activée (coulissage moyen ou rejet, et longueur du coulissage).

Dans la pratique, aucune magnitude mesurée n'a dépassé 9,5 (au Chili, le 22 mai 1960), Figure 11.

La fréquence annuelle des séismes enregistrés dans le monde varie en fonction de leur magnitude. Ainsi, plusieurs centaines de milliers de secousses de magnitude égale à 3,0 sont enregistrées annuellement pour en moyenne une centaine de séismes de magnitude proche de 6,0, et un séisme de magnitude voisine de 8,0. En France, on dénombre en moyenne une vingtaine de séismes de magnitude supérieure à 3,5 par an.

### 2.1.3.4 *Echelle d'intensité*

L'intensité caractérise les effets et dommages locaux causés par le séisme. Elle est en général maximale à l'aplomb du plan de faille, on parle d'intensité épiscopentrale. Les échelles de mesure d'intensité sont dites macrosismiques.

L'échelle la plus utilisée dans le monde pour mesurer l'intensité est l'**échelle MSK** (Medvedev, Sponheuer, Karnik, 1964). Mais l'**échelle EMS 1998** (European Macroseismic Scale, document complet sur le site [http://www.gfz-potsdam.de/pb5/pb53/projekt/ems/fr/index\\_fr.htm](http://www.gfz-potsdam.de/pb5/pb53/projekt/ems/fr/index_fr.htm)) tend à la remplacer (Figure 12). Cette dernière a l'avantage de mieux tenir compte de la vulnérabilité de la construction d'origine (cf § 2.2.2). Tout comme l'échelle MSK, l'échelle EMS98 comporte douze niveaux (de I à XII).

En cas de tremblement de terre ressenti sur le territoire français, le BCSF (Bureau central sismologique français) procède, avec l'aide des services départementaux de la Protection Civile à une enquête sur le terrain pour tout événement de magnitude supérieur à 3.5 et cela afin de recueillir les témoignages concernant les éventuels effets du séisme sur la population et les habitations. Cela lui permet par la suite de déterminer l'intensité du séisme dans la zone. Parallèlement, toute personne est invitée à témoigner de son expérience sur le site du Bureau central sismologique français : [www.seismefrance.fr](http://www.seismefrance.fr).



### 2.1.3.5 **Les ondes sismiques**

Le séisme se manifeste à la surface du sol par une série de vibrations. Elles peuvent être enregistrées au moyen d'un appareil appelé sismomètre. Celui-ci restitue une «image » du séisme en terme d'amplitude de la vibration : le sismogramme ou sismographe, Figure 13

Pour un même séisme, les différents sismogrammes obtenus, au niveau de toutes les stations sismologiques, permettent de localiser l'épicentre du séisme, par lecture des temps d'arrivée des ondes (Figure 14).

Au moment de la rupture sismique, deux grandes catégories d'ondes peuvent être générées (Figure 15, Figure 16):

- les ondes de volume ou ondes de fond qui se propagent à l'intérieur de la terre, et qui comprennent les ondes P et les ondes S ;
- les ondes de surface qui se propagent le long des interfaces ; ils s'agit des ondes de Love et des ondes de Rayleigh.

Les **ondes P** (P pour Premières) sont des ondes de compression assimilables aux ondes sonores et qui se propagent dans tous les états de la matière. Les particules se déplacent selon un mouvement avant-arrière dans la direction de la propagation de l'onde. Ce sont les plus rapides (6 km/s près de la surface) et donc les premières à être enregistrées sur les sismographes. Elles sont responsables du grondement sourd que l'on peut entendre au début d'un tremblement de terre.

Les **ondes S** (S pour Secondes) sont des ondes de cisaillement qui ne se propagent que dans les solides. Les particules oscillent dans un plan vertical, à angle droit par rapport à la direction de propagation de l'onde. Elles apparaissent en second sur les sismogrammes.

Les ondes de Love ou **ondes L** sont des ondes de cisaillement, comme les ondes S, mais qui oscillent dans un plan horizontal. Elles impriment au sol un mouvement de vibration latéral.

Les **ondes de Rayleigh** sont assimilables à une vague ; les particules du sol se déplacent selon une ellipse, créant une véritable vague qui affecte le sol lors des grands tremblements de terre.

### 2.1.3.6 **Les mécanismes au foyer des séismes**

Les sismogrammes enregistrés par différentes stations sismiques réparties autour d'un séisme permettent d'en apprécier ses caractéristiques physiques, telles que : ses coordonnées épicentrales, sa profondeur (cette variable étant rarement très bien contrainte), sa magnitude. En outre, à partir de ces sismogrammes, il est parfois possible de définir le mécanisme au foyer du séisme, c'est-à-dire le type de faille mise en jeu (Figure 17).

Le mécanisme au foyer d'un séisme caractérise les paramètres géométriques de la rupture sismique (direction et pendage du plan de faille) et la nature du glissement le long du plan de faille (normal, inverse, décrochant, composite). Un mécanisme au foyer permet donc de déterminer quel type de faille est à l'origine du séisme, l'orientation de cette faille, ainsi que la direction de glissement des blocs sur cette faille.

Dans la pratique, le résultat du calcul d'un mécanisme au foyer indique toujours deux plans possibles de rupture : le plan de faille et le plan nodal (plan théorique orienté perpendiculairement au plan de faille). Ce n'est que grâce aux données géologiques ou à la localisation des répliques sismiques que le plan de faille sismogène pourra être distingué (Figure 18).

### **2.1.3.7 Les réseaux d'enregistrement**

Les premiers instruments destinés à enregistrer les tremblements de terre ont été implantés dans le monde au début du siècle dernier. En dépit du fait que les enregistrements acquis durant la première moitié du XXème siècle ont apporté des renseignements précieux quant aux caractéristiques focales des séismes, il faudra attendre 1960 pour obtenir une précision de l'ordre de 5 km pour la localisation des épicentres et ce n'est qu'après 1985 que les foyers ont pu être localisés avec une précision meilleure que 2 km et ce pour les séismes les mieux renseignés.

Aujourd'hui, en cas d'occurrence d'un séisme, les coordonnées spatiales et temporelles ainsi que les magnitudes sont déterminées à partir des données envoyées par les différents observatoires mondiaux, par des centres internationaux, nationaux ou régionaux qui éditent des bulletins hebdomadaires et mensuels.

Concernant la métropole française, il existe **2 réseaux nationaux** de surveillance sismique (Figure 19) :

- le réseau national du Laboratoire de Détection Géophysique (LDG) du Commissariat à l'Energie Atomique, créé en 1962 à des fins stratégiques militaires. Premier réseau national français, il est constitué de 30 stations ;
- le Réseau National de Surveillance Sismique (RéNASS) géré par l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg et le CNRS-INSU (<http://renass.u-strasbg.fr/>). 112 stations mesurent les trains d'ondes émises par les séismes.

Pour les Antilles, les observatoires volcanologiques, de l'institut de physique du globe de Paris, de la Martinique et de la Guadeloupe sont chargés de la surveillance sismologique des Antilles. Les données de ces réseaux devraient être intégrés progressivement au RéNass.

Les données instrumentales collectées par le RéNaSS et le LDG présentant le défaut de saturer près des épicentres des séismes ressentis par la population, aussi, depuis environ une quinzaine d'années, la France (métropole et Antilles) s'est dotée d'un réseau d'enregistrement accélérométrique permanent (RAP). Ce réseau est aujourd'hui constitué de 130 stations. Le RAP permet d'enregistrer l'accélération du sol

dans une gamme allant de 1 micro-g à 1 g (1g correspond à l'accélération de la pesanteur) et dans une bande passante allant de 0,05 Hz à 50 Hz, et cela pour des séismes de magnitude supérieure à 3,5. Le RAP a pris la forme juridique d'un Groupement d'Intérêt Scientifique en décembre 2000. Le GIS RAP réunit un grand nombre de partenaires (universités, CNRS, CEA, IRSN, BRGM...). <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr/>

Par ailleurs parmi les centres d'enregistrement étrangers les plus connus apparaissent :

- l'International Seismological Center installé à Newbury (Grande Bretagne), (<http://www.isc.ac.uk/>),
- le National Earthquake Information Service du Geological Survey (Etats-Unis), (<http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/>),
- le Centre Sismologique Euro-Méditerranéen installé à Paris, (<http://www.emsc-csem.org/index.php?page=home>).

Actuellement, grâce à un réseau de plusieurs milliers de stations distribuées sur l'ensemble de la planète, il est possible de déterminer l'hypocentre de tous les séismes de magnitude supérieure à 4, quelle que soit leur région d'origine.

### **2.1.3.8 Catalogue de séismes historiques**

Si les données instrumentales sont très importantes pour la connaissance de l'activité sismique d'une région et la caractérisation des sources sismiques (ou failles sismogènes), elles restent cependant tout à fait insuffisantes pour définir la période de retour des grands tremblements de terre et ce surtout pour ce qui concerne les domaines de déformations intraplaques (la fréquence des séismes y étant généralement peu élevée). Un complément indispensable est apporté par la sismicité historique, c'est-à-dire la recherche de documents sur les tremblements de terre anciens. Ainsi, la connaissance (localisation et intensité) des séismes passés permet d'estimer pour une région, la période de retour ou la probabilité d'occurrence d'un séisme d'intensité donnée. Historiquement, certaines régions apparaissent ainsi quasiment asismiques (Bassin Parisien, etc.) alors que d'autres régions ont été plus ou moins durement affectées par le passé.

Le site SisFrance fournit les données historiques des séismes en France avec une précision communale. Cette base est consultable sur Internet aux adresses suivantes :

<http://www.sisfrance.net/> pour la métropole ;

<http://www.sisfrance.net/Antilles/> pour les Antilles, Figure 20 ;

<http://www.sisfrance.net/Reunion> pour la Réunion et Mayotte, Figure 21 ;

<http://www.sisfrance.net/Caledonie> pour la Nouvelle-Calédonie et Wallis-et Futuna.

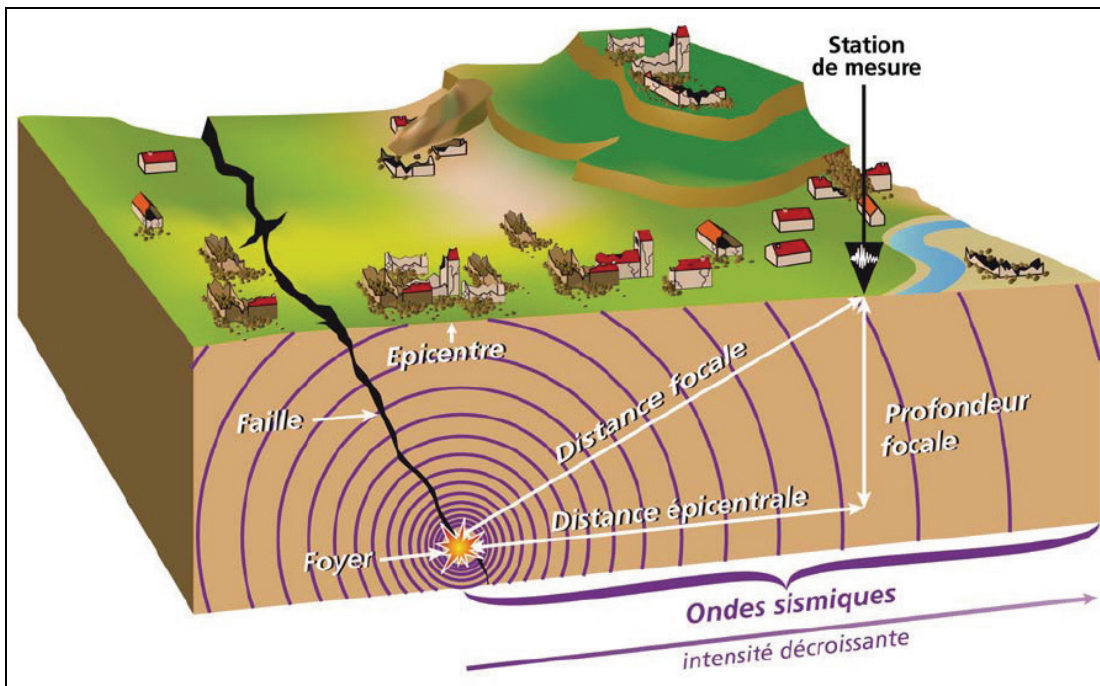


Figure 9 - Séisme : Représentation schématique de la rupture sismique d'une faille

(Extrait du Classeur « Le risque sismique en Provence », edit. BRGM, DIREN-PACA, Conseil régional-PACA, décembre 2006)

Magnitude	Énergie libérée	Durée de la rupture	Valeur moyenne du rejet	Longueur moyenne du coulissage	Nombre de séismes par an dans le monde (ordre de grandeur)
9	$E \times 30^5$	250 s	8 m	800 km	1 tous les 10 ans
8	$E \times 30^4$	85 s	5 m	250 km	1
7	$E \times 30^3$	15 s	1 m	50 km	10
6	$E \times 30^2$	3 s	20 cm	10 km	100
5	$E \times 30$	1 s	5 cm	3 km	1 000
4	E	0,3 s	2 cm	1 km	10 000
3	$E / 30$				> 100 000
2	$E / 30^2$				
1	$E / 30^3$				

Figure 10 - Séisme : Les équivalences de l'échelle de Richter : magnitude, énergie, durée, rejet, longueur du plan de faille rompu, fréquence mondiale annuelle.

Les séismes enregistrés les plus puissants depuis 1900	
Chili, 1960, .....	M = 9,5
Sumatra, 2004, .....	M = 9,3
Alaska, 1964, .....	M = 9,2
Alaska, 1957, .....	M = 9,1
Kamchatka, 1952, .....	M = 9,0
Équateur, 1906, .....	M = 8,8
Alaska, 1965, .....	M = 8,7
Sumatra, 2005, .....	M = 8,7
Tibet, 1950, .....	M = 8,6
Kamtchatka, 1923, .....	M = 8,5
Indonésie, 1938, .....	M = 8,5
Îles Kouriles, 1963, .....	M = 8,5
Chili, 1939, .....	M = 8,3
Chili, 1906, .....	M = 8,2

Figure 11 - Séisme : Les plus forts séismes enregistrés depuis 1 siècle dans le monde

I	Imperceptible	
II	A peine ressenti	Ressenti seulement par quelques rares personnes au repos dans leurs habitations.
III	Faible	Ressenti par quelques personnes à l'intérieur des bâtiments. Les personnes au repos ressentent une oscillation ou un léger tremblement.
IV	Largement ressenti	Ressenti par de nombreuses personnes à l'intérieur des bâtiments, par quelques rares personnes à l'extérieur. Quelques personnes endormies sont réveillées. Les fenêtres, les portes et la vaisselle font un bruit de tremblement.
V	Fort	Ressenti par la plupart des personnes à l'intérieur des bâtiments, par quelques personnes à l'extérieur. De nombreux dormeurs sont réveillés. Quelques personnes sont effrayées. Les bâtiments tremblent dans toute leur structure. Les objets suspendus oscillent nettement. Les petits objets sont déplacés. Les portes et les fenêtres s'ouvrent et se ferment.
VI	Dégâts légers	De nombreuses personnes sont effrayées et se précipitent à l'extérieur des bâtiments. Quelques objets tombent. Quelques maisons subissent de légers dégâts non structuraux (légères fissures, chute de petits morceaux de plâtre).
VII	Dégâts	La plupart des personnes sont effrayées et se précipitent à l'extérieur des bâtiments. Le mobilier est déplacé et les objets tombent des étagères en grand nombre. De nombreux bâtiments bien construits subissent des dégâts modérés (petites fissures dans les murs, chutes de plâtre, chutes partielles de cheminées). Des bâtiments plus anciens présentent des fissures dans les murs et des désordres au niveau des cloisons.
VIII	Dégâts importants	De nombreuses personnes éprouvent des difficultés à se tenir debout. De nombreuses maisons présentent des crevasses dans les murs. Quelques bâtiments bien construits présentent des désordres au niveau des murs, tandis que d'autres bâtiments plus anciens s'effondrent partiellement.
IX	Destructeur	Panique générale. De nombreuses constructions s'effondrent. Même les bâtiments bien construits présentent des dégâts très importants (désordres au niveau des murs et effondrement partiel des structures).
X	Très destructeur	De nombreux bâtiments pourtant bien construits s'effondrent.
XI	Catastrophe	La plupart des bâtiments bien construits s'effondrent. Quelques bâtiments construits selon les règles parasismiques sont détruits.
XII	Catastrophe complète	Presque tous les bâtiments sont détruits.

Figure 12 - Séisme : Description de l'échelle d'intensité sismique EMS98

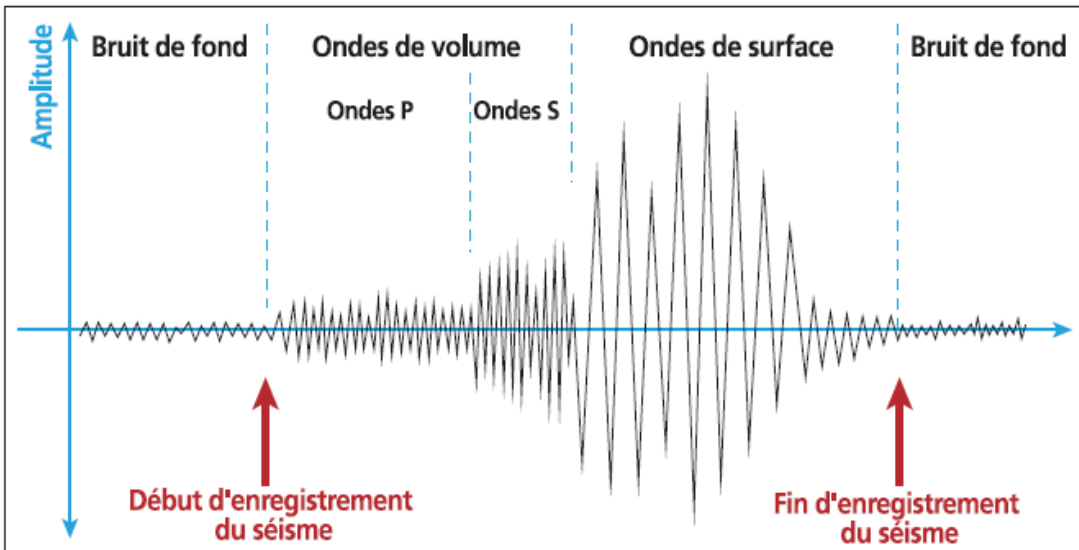


Figure 13 - Séisme : Identification des trois types d'onde sismiques sur un sismogramme

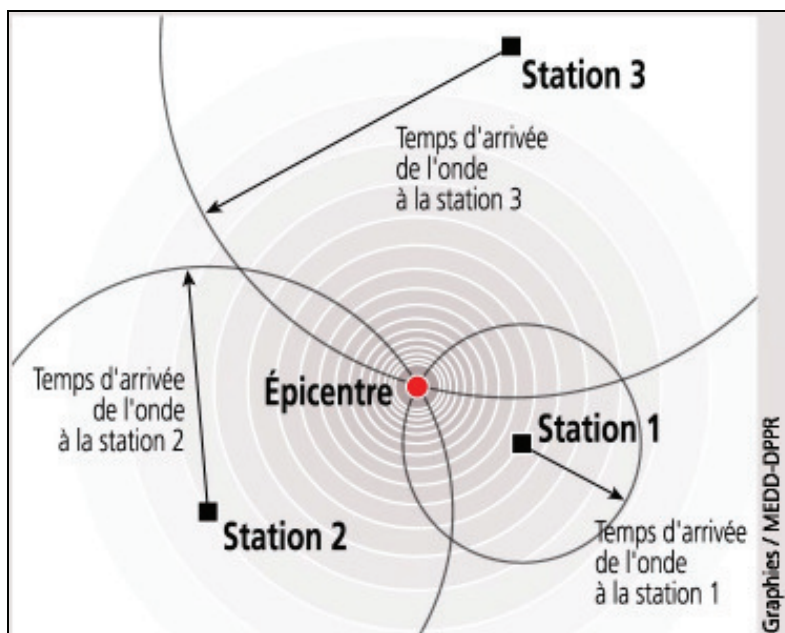


Figure 14 - Séisme : Localisation de l'épicentre en fonction du temps d'arrivée des ondes sismiques



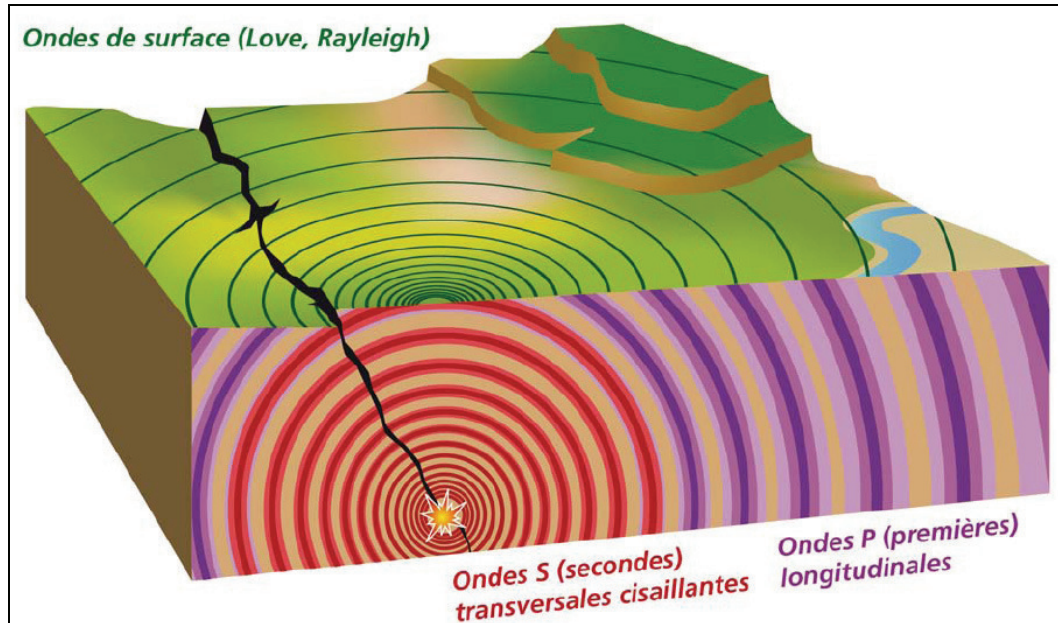


Figure 15 – Séisme : Représentation schématique des trois types d'ondes générés lors de la rupture sismique

(Extrait du Classeur « Le risque sismique en Provence », edit. BRGM, DIREN-PACA, Conseil régional-PACA, décembre 2006)



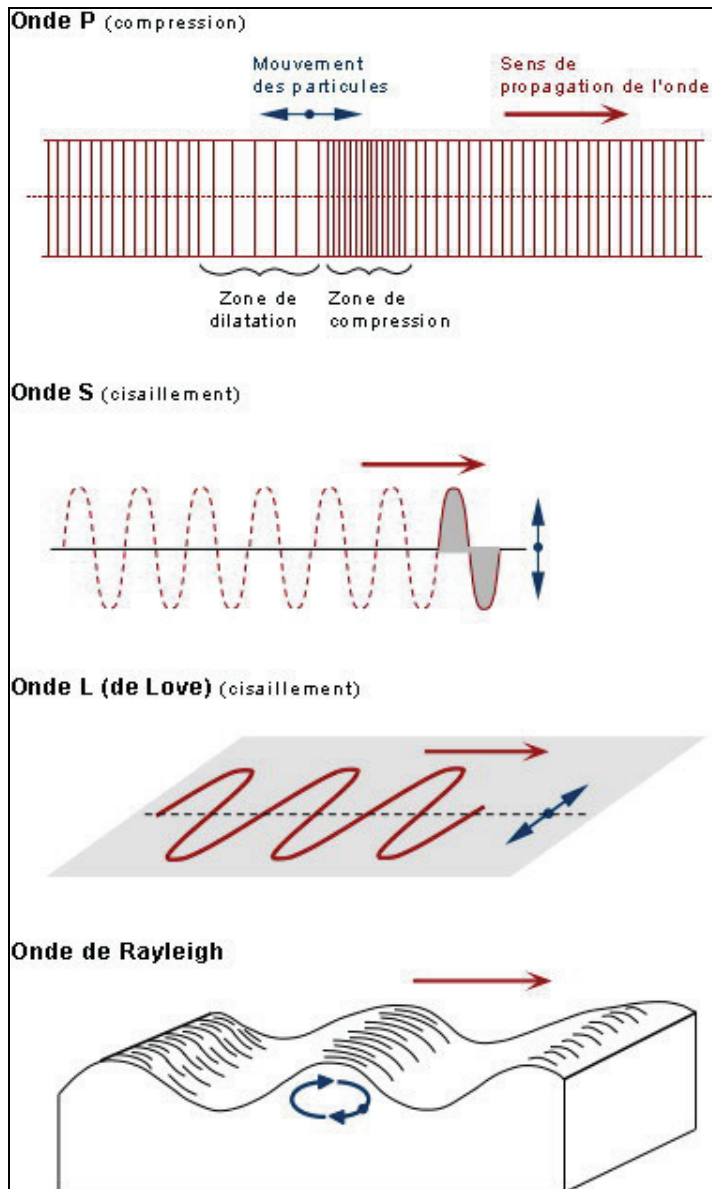


Figure 16 - Séisme : Représentation schématique du mouvement des particules engendrées par chacune des 4 types d'ondes sismiques

(Extrait du site [http://www.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/intro.pt/planete\\_terre.html](http://www.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/intro.pt/planete_terre.html))

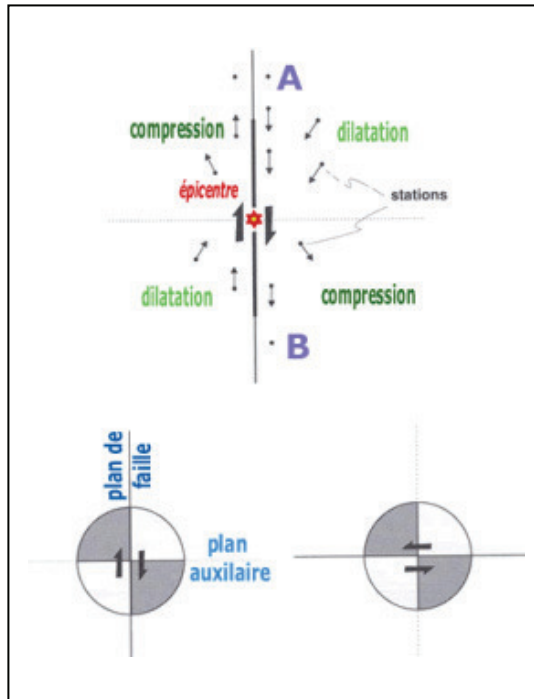
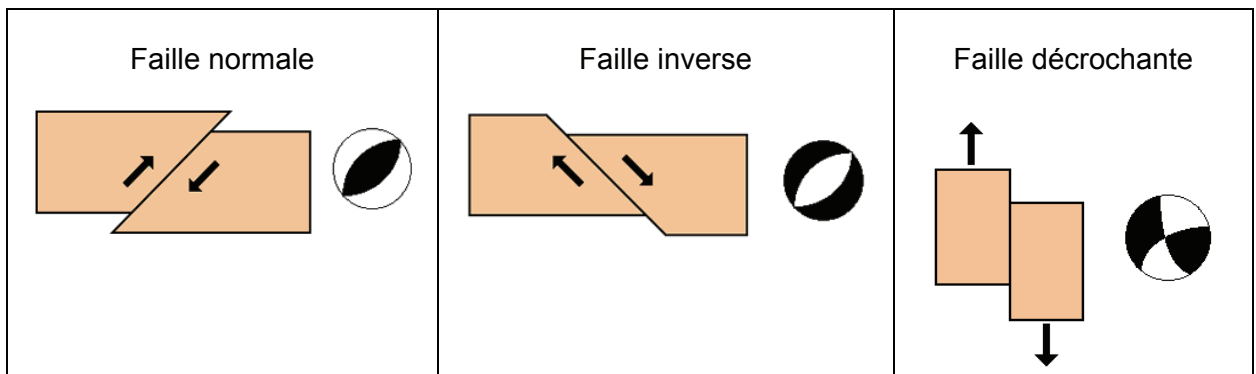


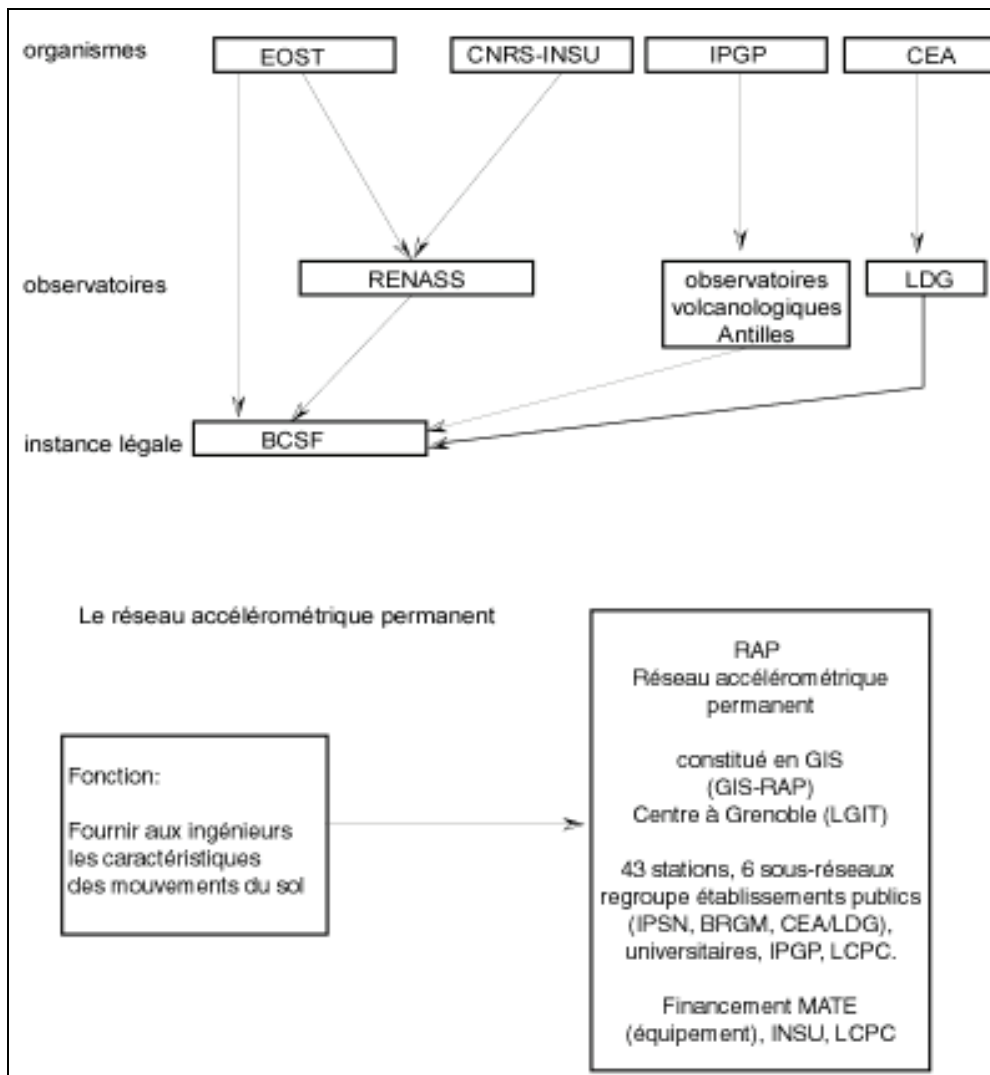
Figure 17 - Séisme : Représentation schématique du calcul du mécanisme au foyer d'un séisme à partir de l'enregistrement de plusieurs sismomètres



Quadrant noir : Contrainte compressive ; Quadrant blanc : contrainte distensive.

Au vu des quadrants, il est a priori impossible de distinguer le plan de faille et le plan auxiliaire. Seules les données de terrain montrant la faille active ou le contexte tectonique de l'ensemble permettront de les distinguer.

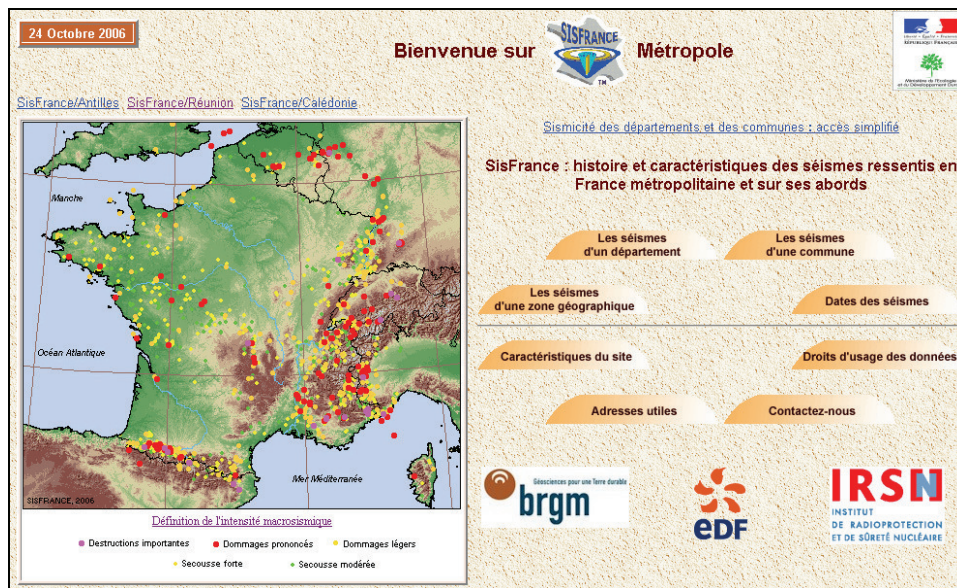
Figure 18 - Séisme : Représentation des mécanismes au foyer des trois principaux types de failles



Le **BCSF** est l'instance légale chargée de collecter et de diffuser les informations sismologiques en France (décret du 28 juillet 1921). Le BCSF est sous tutelle des ministères de la recherche et de l'éducation nationale. Son directeur est, en conformité avec le décret, le directeur de l'EOST (Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre de l'Université Strasbourg 1). Le BCSF publie dans un délai de 2 ans les données sur les séismes se produisant en France. Il collecte directement les données macrosismiques et indirectement les données instrumentales.

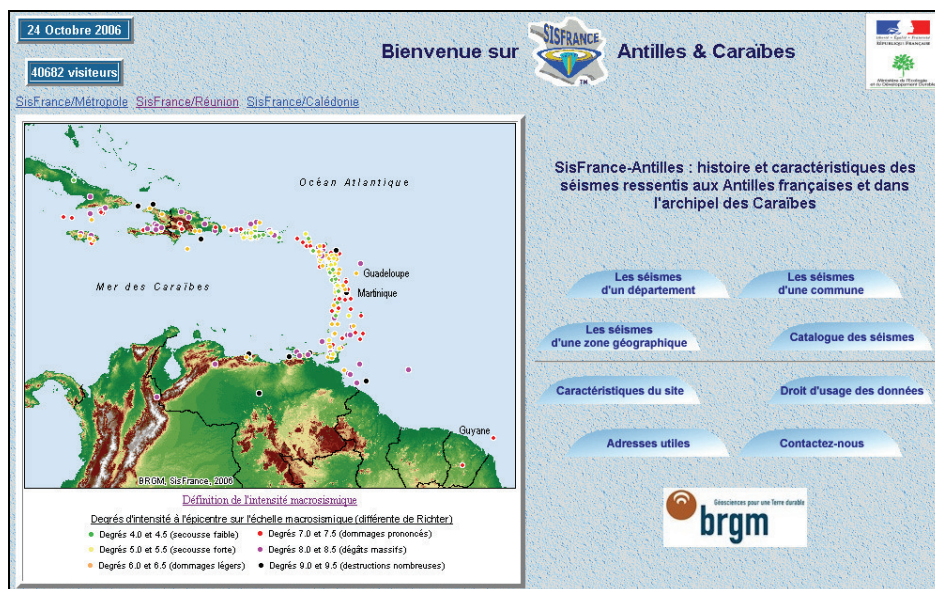
Figure 19 - Séisme : La surveillance sismologique en France

(d'après le site Internet prim.net,  
[http://www.prim.net/citoyen/moi\\_face\\_au\\_risque/surveillance\\_sismo.html](http://www.prim.net/citoyen/moi_face_au_risque/surveillance_sismo.html))



Concernant la base SisFrance/Métropole, celle-ci rassemble 6 000 séismes ressentis sur le territoire français métropolitain ou sur ses proches frontières et ce depuis plus de mille ans. Parmi ces 6000 séismes, il s'agit : 1) d'au moins 1 800 épicentres, d'intensité supérieure ou égale au degré IV, 2) de 100 000 observations ou localités ayant plus ou moins fortement subi un séisme, 3) de 10 000 références documentaires témoignant de l'activité des tremblements de terre au cours des temps. Le plus ancien séisme daté et localisé en France remonte à l'an 463. La base SisFrance/Métropole est gérée par le BRGM, en collaboration avec EDF et l'IRSN.

Figure 20 - Séisme : La base nationale SisFrance pour la métropole française, page d'accueil du site <http://www.sisfrance.net/>



Concernant la base nationale SisFrance/Antilles, 2650 séismes sont répertoriés dans les départements français des Antilles et dans l'archipel des Caraïbes. Ces séismes sont décrits à partir de : 1) 5000 points d'observations ou localités ayant plus ou moins fortement subi un séisme, 2) 500 références documentaires témoignant de l'activité des tremblements de terre au cours des temps.

Figure 21 - Séisme : La base nationale SisFrance pour les Antilles françaises, page d'accueil du site <http://www.sisfrance.net/Antilles/>

## **2.1.4. Le cycle sismique : mouvement de la faille, vibration sismique, période de retour des séismes majeurs**

### **2.1.4.1 Le cycle sismique**

Dans une vision simplifiée, la déformation due à la tectonique augmente les contraintes sur la faille. Arrivée à un certain seuil d'accumulation des contraintes, une rupture se déclenche et la faille génère un séisme, relâchant ainsi les contraintes accumulées. La faille est alors prête pour un nouveau cycle d'accumulation, Figure 22.

Au moment d'un séisme, il est possible que des petits déplacements aient lieu quelques temps avant le séisme qui se prépare. Ce sont des mouvements pré-sismiques, appelés **précurseurs**. Il se peut aussi que le séisme ne rattrape pas toute la déformation accumulée, mais seulement une partie. Dans ce cas, il y a une déformation post-sismique qui s'étale sur un certain temps après le séisme. On parle alors de **répliques**.

Par ailleurs, dans certains cas, c'est-à-dire là où l'accumulation de contraintes est homogène dans le temps et l'espace, les données sismologiques sur la faille active sont suffisantes pour définir des zones de « gap » sismique, c'est-à-dire des segments de faille qui n'ont pas donné lieu à de forts tremblements de terre depuis longtemps et sont donc susceptibles d'être le siège du futur prochain séisme. C'est par exemple le cas du segment de faille Nord Anatolienne entre Istanbul et la mer de Marmara, où le prochain fort séisme de la faille est attendu, Figure 23.

### **2.1.4.2 Durée du cycle sismique ou période de retour des séismes majeurs**

Le cycle sismique le long d'une faille sismogène active définit ainsi le cycle complexe des déformations (pré-, co- et post-sismiques) liées à l'activité tectonique de la faille qui se 'réinitialise' après chaque grand tremblement de terre. Sa durée correspond à l'intervalle de temps écoulé entre deux grands tremblements de terre.

Les nombreuses études dans les zones actives à la limite des plaques lithosphériques montrent que la période de retour des grands tremblements de terre y est de l'ordre de 100 à 1 000 ans le long des failles actives.

Dans les zones à déformation intracontinentale, considérées plus stables, l'activité y est sporadique, caractérisée : 1) parfois par des périodes d'activité incluant quelques grands événements (deux ou trois) durant une période de temps relativement courte (10.000 à 20.000 ans), suivies de longues périodes d'inactivité pouvant atteindre plusieurs centaines de milliers d'années, 2) et dans d'autres cas par une activité « plus régulière » avec une rupture sismique majeure de période de retour de plusieurs dizaines de milliers d'années.



Une vision réaliste de l'activité sismique dans les contextes de déformation intracontinentale ne peut donc être obtenue sans la collecte d'informations sur les tremblements de terre et les déformations tectoniques au cours des quelques dernières dizaines de milliers d'années. C'est l'objet d'étude de néotectonique et de paléosismologie, la néotectonique correspondant à l'étude des déformations au cours de la période Quaternaire (actuel à -2 millions d'années), la paléosismologie étant la recherche et l'analyse des traces laissées par les séismes antérieurs à la période contemporaine.

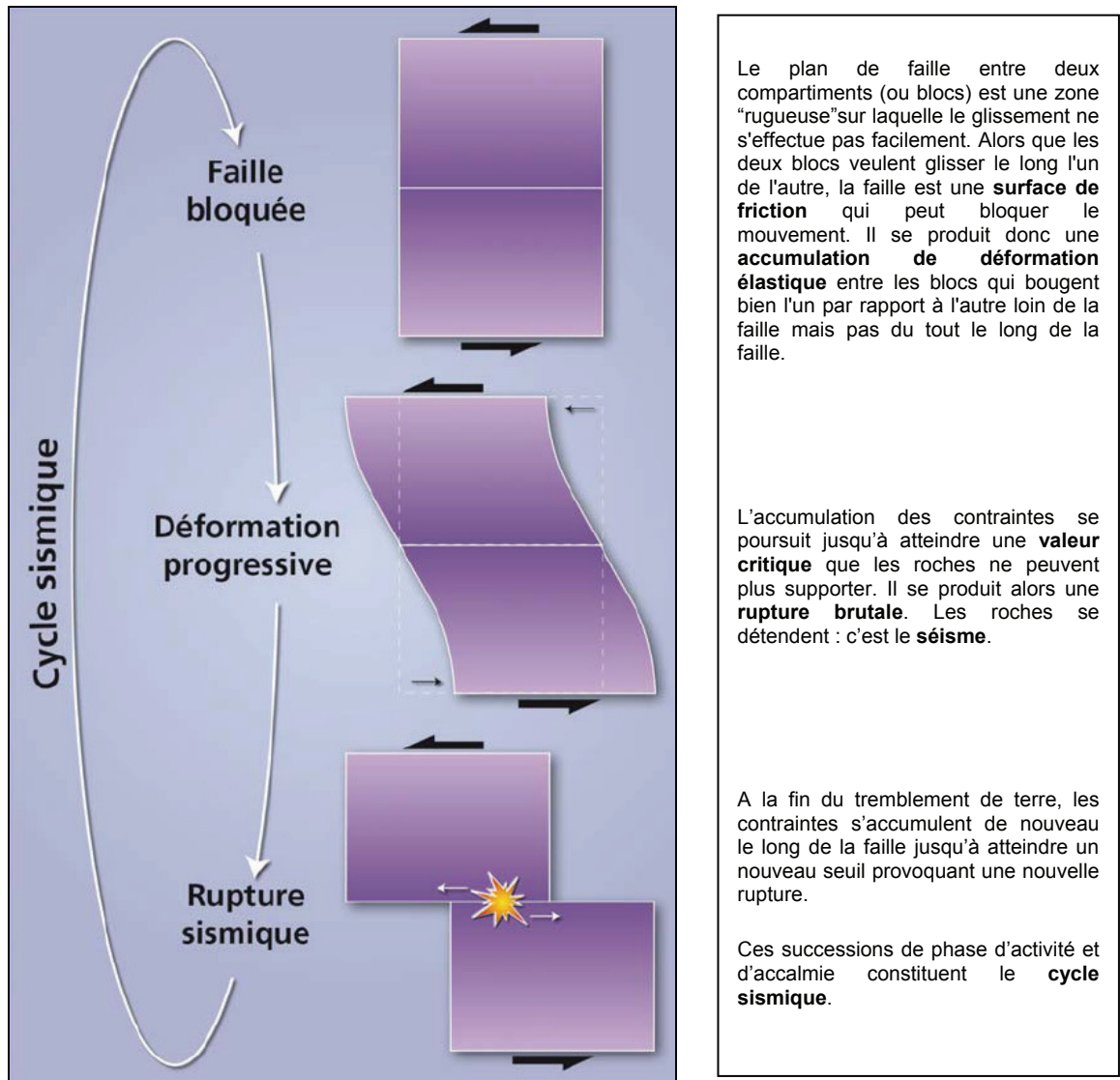
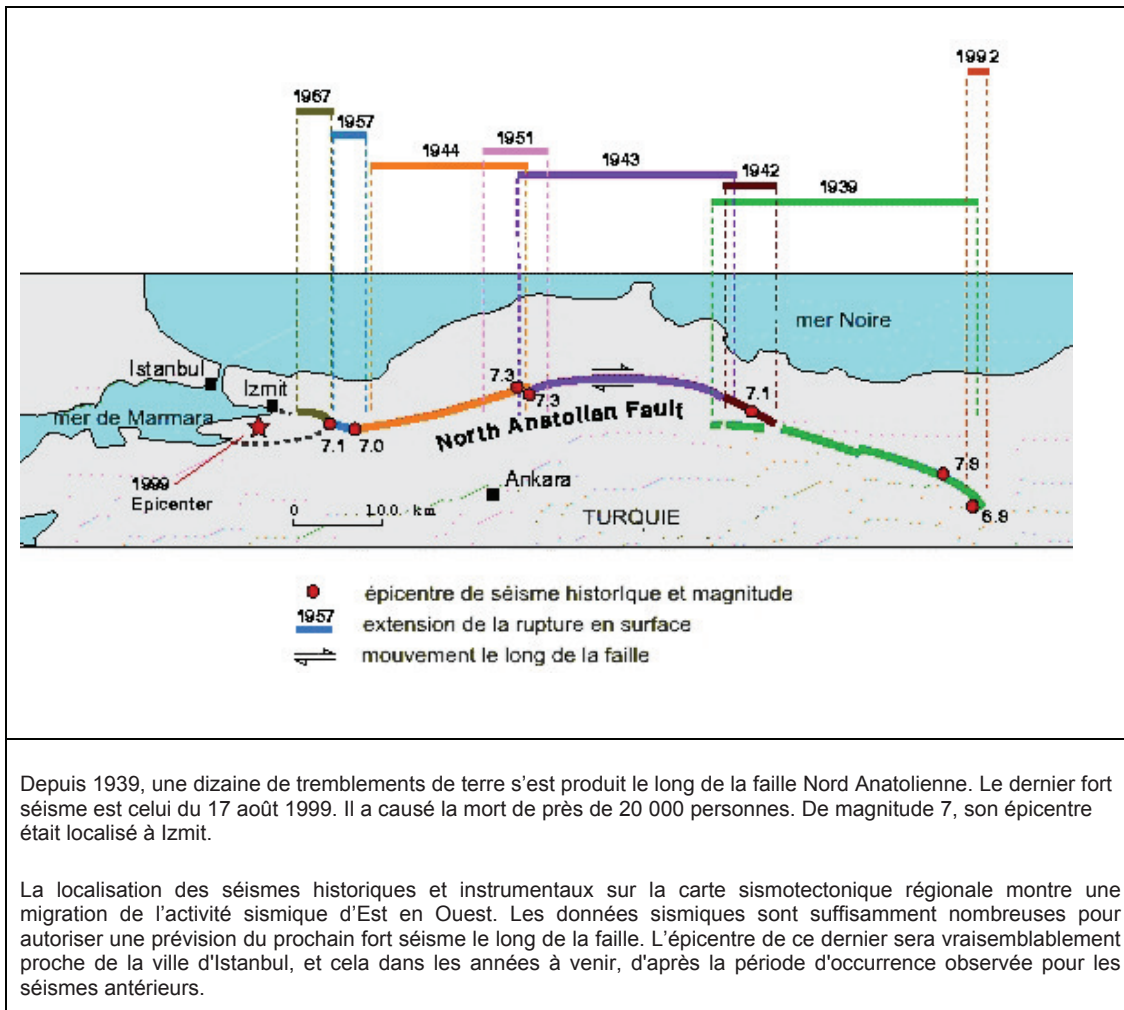


Figure 22 - Le cycle sismique : accumulation progressive des contraintes jusqu'à la rupture du plan et l'apparition du séisme



Depuis 1939, une dizaine de tremblements de terre s'est produit le long de la faille Nord Anatolienne. Le dernier fort séisme est celui du 17 août 1999. Il a causé la mort de près de 20 000 personnes. De magnitude 7, son épicerentre était localisé à Izmit.

La localisation des séismes historiques et instrumentaux sur la carte sismotectonique régionale montre une migration de l'activité sismique d'Est en Ouest. Les données sismiques sont suffisamment nombreuses pour autoriser une prévision du prochain fort séisme le long de la faille. L'épicerentre de ce dernier sera vraisemblablement proche de la ville d'Istanbul, et cela dans les années à venir, d'après la période d'occurrence observée pour les séismes antérieurs.

Figure 23 – Cycle sismique : Propagation de la rupture sismique le long de la faille nord anatolienne (d'après R.S. Stein et al., 1996)

Ross S. Stein, Aykut A. Barka and James H Dieterich, Geophysical Journal International, Vol. 128, 594-604, 1996.

## 2.2. ALEA, VULNERABILITE ET RISQUE SISMIQUE

Le risque se caractérise par deux composantes (Figure 24) :

1) l'aléa, c'est-à-dire la probabilité pour un lieu géographique donné d'occurrence d'un événement sismique de caractéristiques données (intensité, magnitude, profondeur focale en particulier) ;

2) les enjeux et leur vulnérabilité (ou fragilité) par rapport au phénomène sismique.

### 2.2.1. Aléa sismique

#### 2.2.1.1 Principe d'évaluation de l'aléa sismique

L'évaluation de l'aléa sismique comporte trois étapes, les deux premières concernent l'évaluation de l'aléa régional. La troisième concerne l'évaluation de l'aléa local (Figure 25).

#### Identification des sources sismiques et réalisation d'un zonage sismique

Il s'agit de localiser les failles actives et d'évaluer leur potentiel sismique en terme de magnitude ou d'intensité des séismes, de récurrence, de profondeur focale. Ce travail requiert une analyse détaillée des données géologiques et sismologiques. Il aboutit à la réalisation d'un zonage sismique, c'est-à-dire à la délimitation de surfaces géographiques dans lesquelles pour chacune d'elles, la probabilité d'occurrence d'un séisme de caractéristiques données (magnitude ou intensité, profondeur focale, période de retour) peut être considérée homogène en tout point.

#### Calcul du mouvement sismique de référence, dit « au rocher ».

A ce stade, on suppose un milieu avec des conditions de sol homogènes et une topographie horizontale. Cette seconde étape conduit donc à la définition des mouvements (ou vibrations) du sol considérée « au rocher » (c'est-à-dire indépendamment des conditions de site qui pourraient modifier localement le signal, cf étape 3). Ces mouvements sismiques au rocher dépendent à la fois des paramètres du séisme de référence déduit du zonage sismique et de l'atténuation des mouvements du sol avec la distance.

Il existe deux approches principales pour évaluer l'aléa sismique à l'échelle régionale :

- la démarche **probabiliste**, l'aléa est évalué en tenant compte de la probabilité de dépassement de l'accélération maximale du mouvement sismique pour une période de temps donnée.



- la démarche **déterministe**, chaque zone sismotectonique est caractérisée par une intensité épiscopentrale maximale connue dans la zone (SMHV ou séisme maximal historiquement vraisemblable) et ce indépendamment de sa période de retour.

### **Prise en compte des modifications de la vibration sismique par les conditions géologiques et topographiques locales.**

Comme l'indique le terme même de "tremblement de terre", l'essentiel des effets des séismes provient des vibrations associées aux ondes émises par le glissement soudain des deux lèvres de la faille.

Ces vibrations peuvent être caractérisées par leur fréquence (pouvant aller de 0.01Hz à 50Hz), et leur amplitude ; les ondes qui les propagent sont caractérisées par leur type (par exemple compression ou cisaillement) et leur vitesse de propagation. Cette dernière, relativement stable en profondeur dans la croûte terrestre, devient très fortement variable à proximité immédiate de la surface, car elle est en relation directe avec la compacité des sols et roches : ainsi, la vitesse des ondes de cisaillement varie de 3000 m/s dans du granite sain, à parfois moins de 500 m/s dans le même granite mais cette fois fortement altéré, et de près de 1000 m/s dans des sédiments très compactés, à moins de 50 m/s dans des vases et tourbes. Dès lors, la propagation de ces ondes est très fortement affectée par ces hétérogénéités de surface, et il en va de même pour la répartition spatiale de l'amplitude des vibrations sismiques associées. Cette variabilité spatiale liée à la géologie de surface est classiquement appelée "effets de site directs", Figure 26 et Figure 27.

Par ailleurs, la rupture sismique (vibration ou rejet de rupture en surface du sol du plan de faille) peut entraîner l'apparition d'autres phénomènes naturels dangereux, tels que les mouvements de terrain ou la liquéfaction du sol, et plus rarement, les avalanches ou les tsunamis. Dans cette troisième étape, il est nécessaire d'identifier aussi les effets susceptibles d'être induits par la rupture sismique, Figure 26 et Figure 27.

#### **2.2.1.2 Effets directs ou induits par le séisme**

##### **Effets de site directs :**

Il s'agit d'une amplification des ondes sismiques directement liée à la configuration topographique ou géologique du site ; les ondes sismiques se trouvent piégées dans la structure. On en distingue deux types (Figure 28) :

**Les effets de site topographiques** : les sommets de butte, crêtes allongées, rebords de plateaux et de falaises sont le siège d'amplification importante du mouvement sismique, Figure 30 et Figure 31.

**Les effets de site liés à la structure et à la nature du sol** : les caractéristiques mécaniques (densité, rigidité, compressibilité), la géométrie des formations (empilement, remplissage de fond de vallée) peuvent accentuer les effets du mouvement sismique, Figure 29.

## **Effets induits**

Il s'agit de l'apparition d'un phénomène dont la naissance est déclenchée par la vibration sismique. La liquéfaction des sols et les mouvements de terrain sont les deux principaux effets induits.

**Le phénomène de liquéfaction** est un phénomène momentané. Il concerne les milieux granulaires (horizons sableux ou limoneux) gorgés d'eau : l'agitation sismique peut provoquer un tassement rapide des sédiments, l'eau contenue dans les sédiments va alors être expulsée. La déconsolidation brutale du matériau se traduit par la déstructuration du sol : c'est le phénomène de liquéfaction. Les constructions reposant sur des sols soumis au phénomène vont être particulièrement instables, Figure 32 et Figure 33.

**Dans le cas des mouvements de terrain** : Les séismes peuvent provoquer des instabilités de terrain par modification des conditions de l'équilibre géotechnique. Le plus souvent, la vibration sismique agit en tant que facteur déclenchant pour des terrains dont l'instabilité était le plus souvent latente. Les mouvements de terrain concernés peuvent être : des éboulements de cavités souterraines, des effondrements de falaises, des chutes de blocs, des glissements de terrain, Figure 34 à Figure 36.

**Les avalanches** : Selon le même principe, un séisme peut être le déclencheur d'avalanches. La cohésion du manteau neigeux ou des couches de neige entre elles peut être rompue par la vibration. Lors du séisme de Chimbote au Pérou, le 31 mai 1970, l'effondrement d'un glacier et d'une paroi rocheuse du Huascarán anéantissent plusieurs agglomérations et tuent 54 000 personnes.

**Les tsunamis** : Les séismes, s'ils se produisent dans la mer ou à proximité de la côte, peuvent être à l'origine de raz-de-marée ou tsunamis. La plus importante caractéristique d'un tsunami est sa capacité à se propager à travers tout un océan. Des côtes situées à des milliers de kilomètres de l'épicentre peuvent être frappées, et cela de manière très meurtrière et dévastatrice. Figure 37

Le tsunami meurtrier déclenché le 26 décembre 2004 par un puissant séisme (magnitude 9.1) au large des côtes de Sumatra nous a rappelé combien ce phénomène peut être destructeur (plus de 250 000 victimes, effets ressentis dans l'ensemble de l'Océan Indien). Plus récemment, en juillet 2006, un séisme de magnitude 7.7 au large de l'Indonésie a une nouvelle fois provoqué un tsunami qui a coûté la vie à plusieurs centaines de personnes.

### **Autres effets du séisme :**

Dans certains cas, la rupture du plan de faille se propage jusqu'à la surface du sol, engendrant une **rupture en surface** le long de la faille de quelques centimètres à plusieurs mètres de rejet, Figure 38 à Figure 40. Cette propagation jusqu'à la surface du sol du plan de faille ayant rompu dépend de la profondeur initiale du foyer sismique (endroit du plan de faille où a débuté la rupture) et de la magnitude du séisme (énergie dissipée).

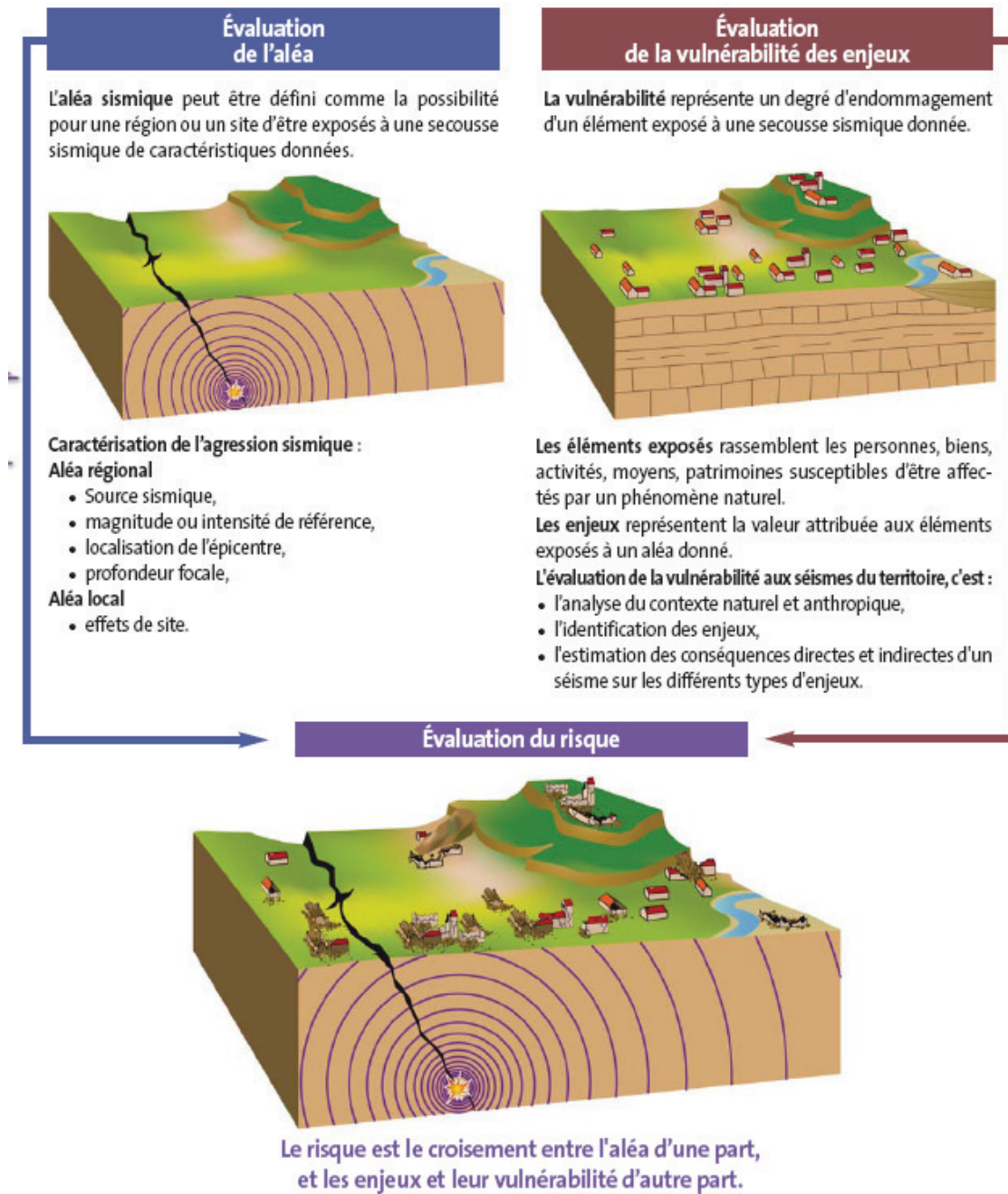


Figure 24 - Aléa, vulnérabilité, risque : Représentation schématique de l'évaluation du risque sismique

Extrait du Classeur « Le risque sismique en PACA », co-édition BRGM, DIREN PACA, Région PACA, décembre 2006

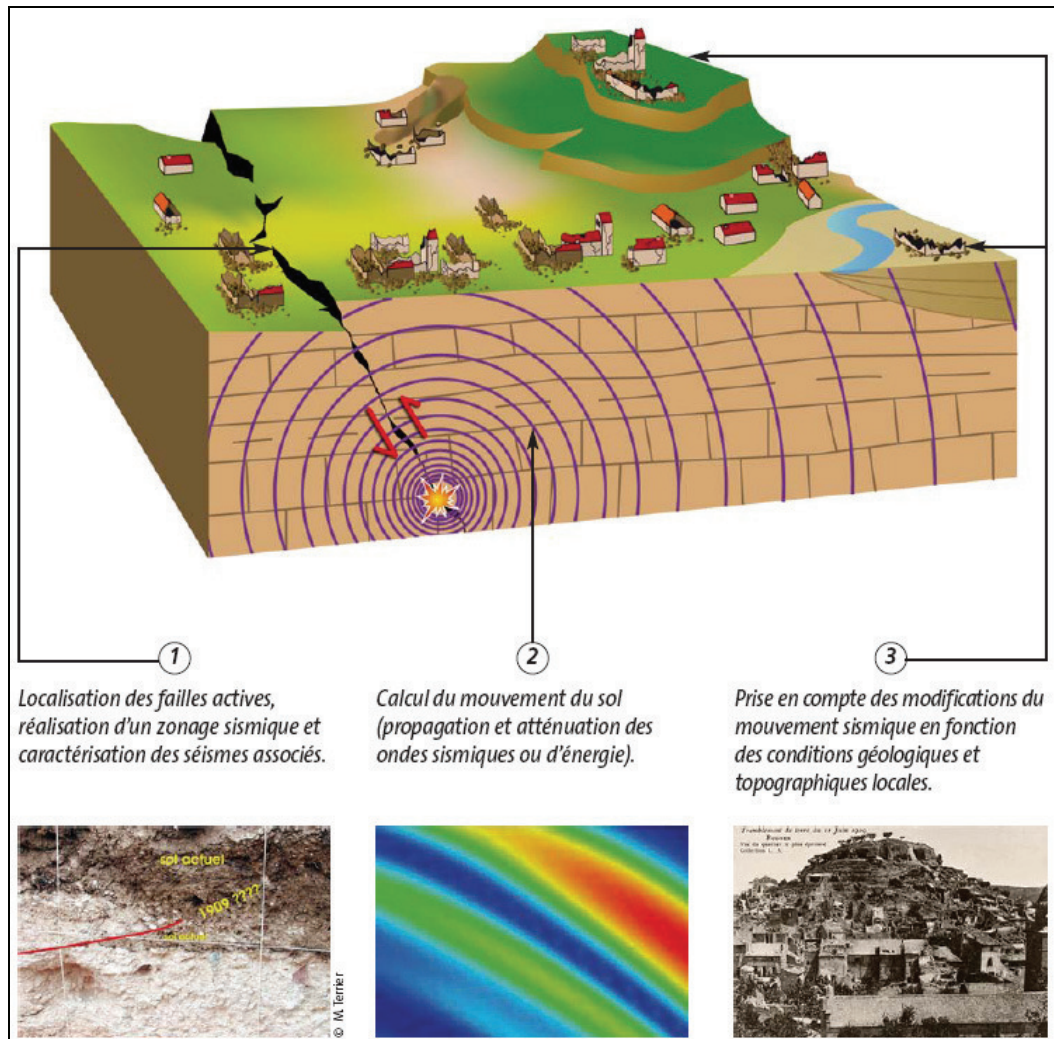
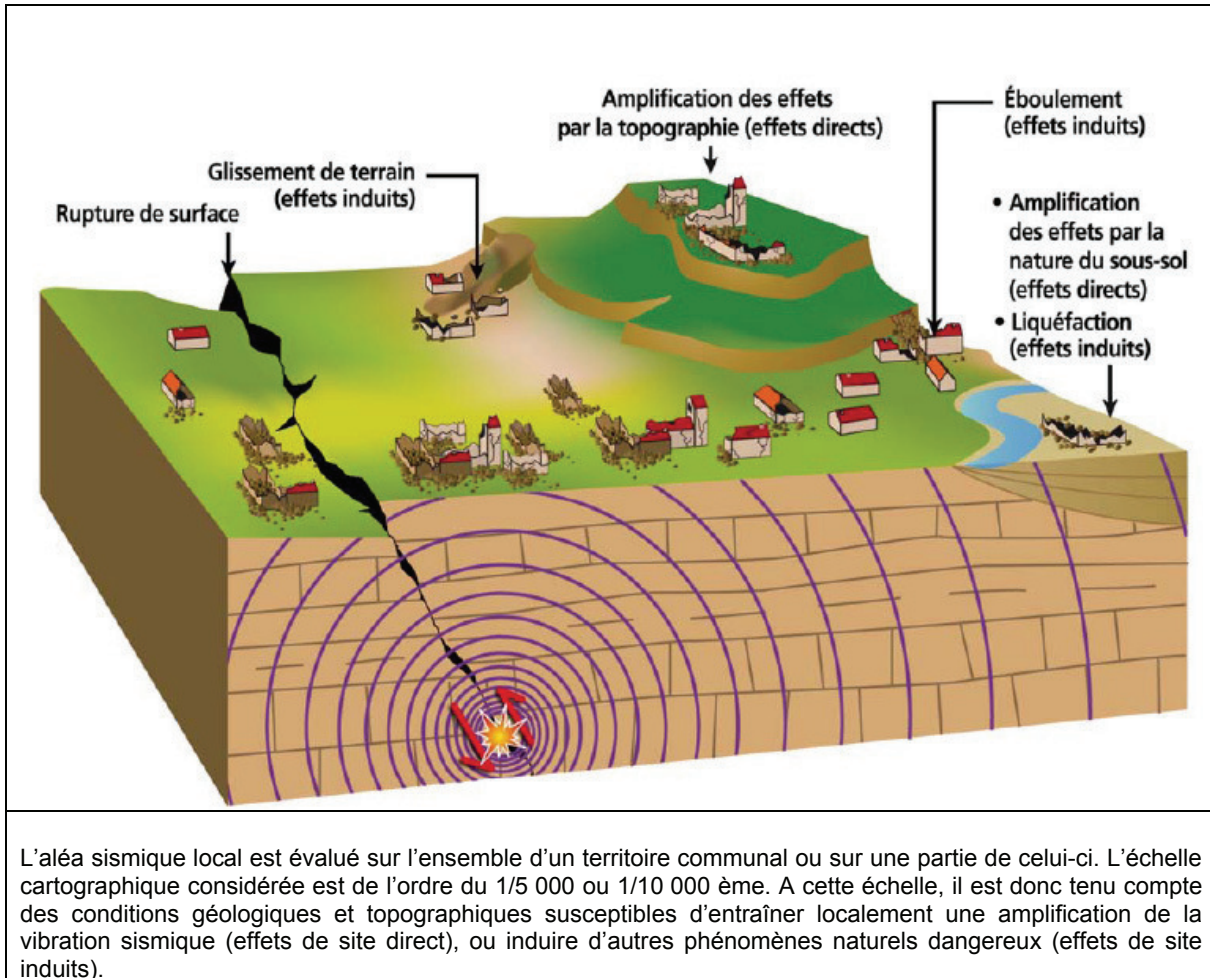


Figure 25 - Aléa, vulnérabilité, risque : Les trois étapes d'évaluation de l'aléa sismique régional et local

Extrait du Classeur « Le risque sismique en PACA », co-édition BRGM, DIREN PACA, Région PACA, décembre 2006





L'aléa sismique local est évalué sur l'ensemble d'un territoire communal ou sur une partie de celui-ci. L'échelle cartographique considérée est de l'ordre du 1/5 000 ou 1/10 000 ème. A cette échelle, il est donc tenu compte des conditions géologiques et topographiques susceptibles d'entraîner localement une amplification de la vibration sismique (effets de site direct), ou induire d'autres phénomènes naturels dangereux (effets de site induits).

Figure 26 - Aléa, vulnérabilité, risque : Analyse des conditions géologiques et topographiques locales pour le calcul des effets de site

Extrait du Classeur « Le risque sismique en PACA », co-édition BRGM, DIREN PACA, Région PACA, décembre 2006

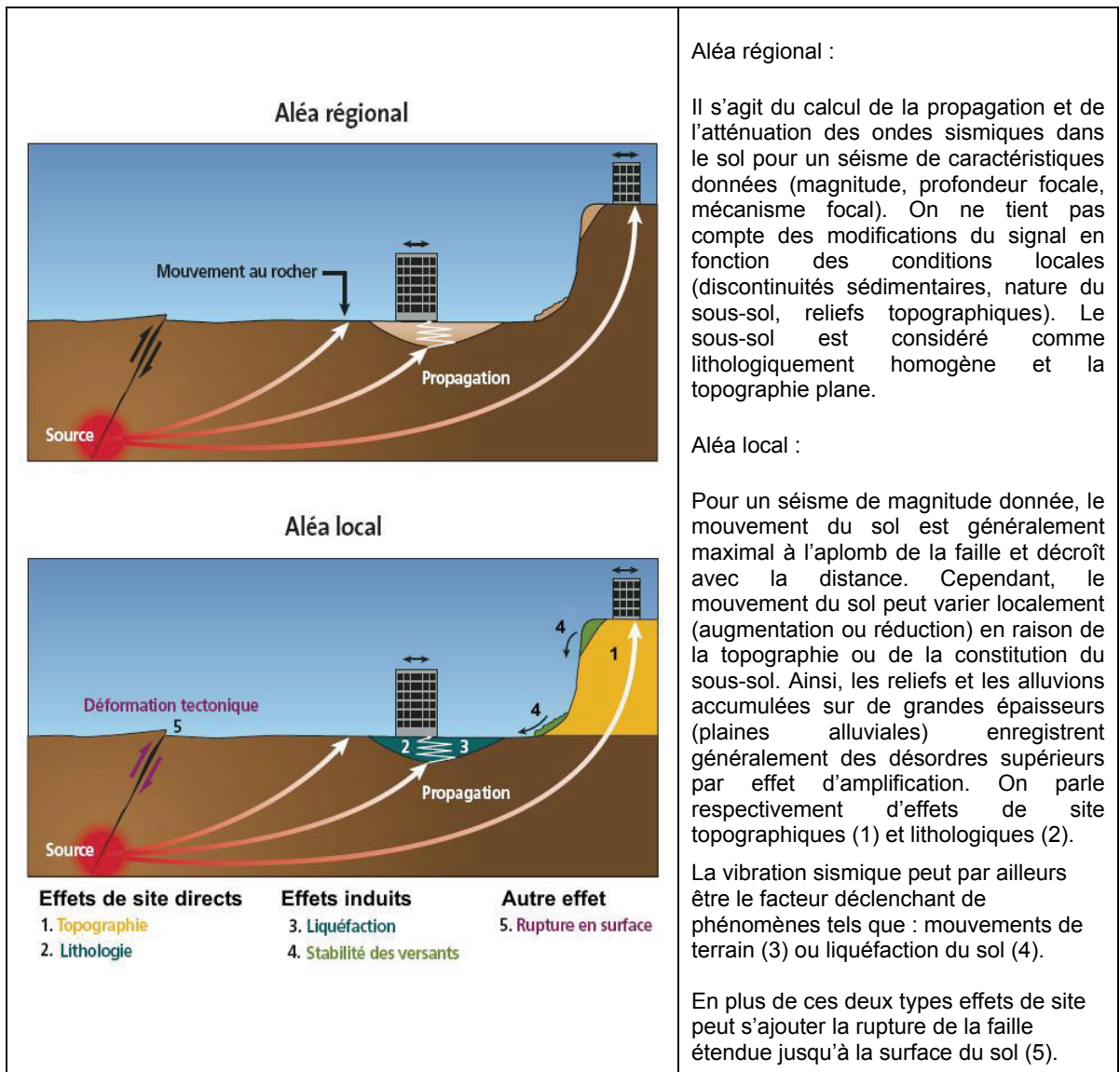


Figure 27 - Aléa, vulnérabilité, risque : Représentation en coupe des paramètres retenus pour l'évaluation du mouvement sismique au rocher (aléa régional) ou au niveau du site (aléa local)

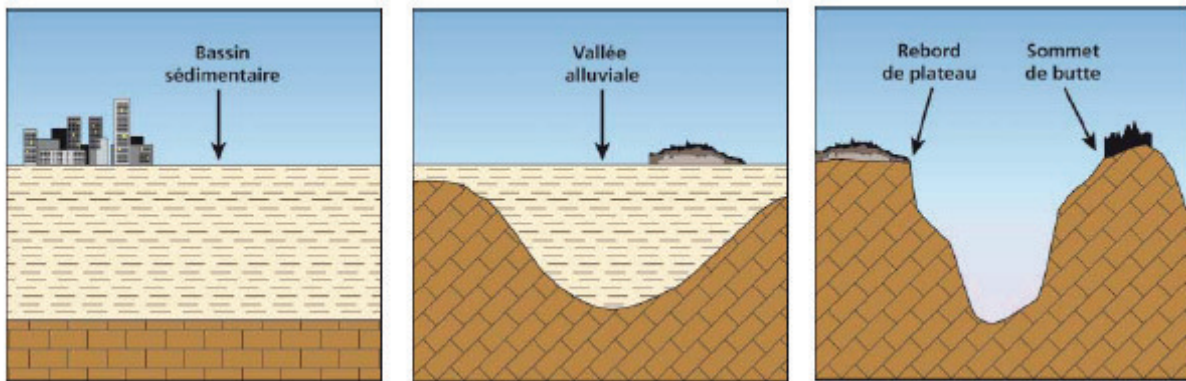


Figure 28 - Aléa, vulnérabilité, risque : Types de configuration des effets de site directs d'un séisme

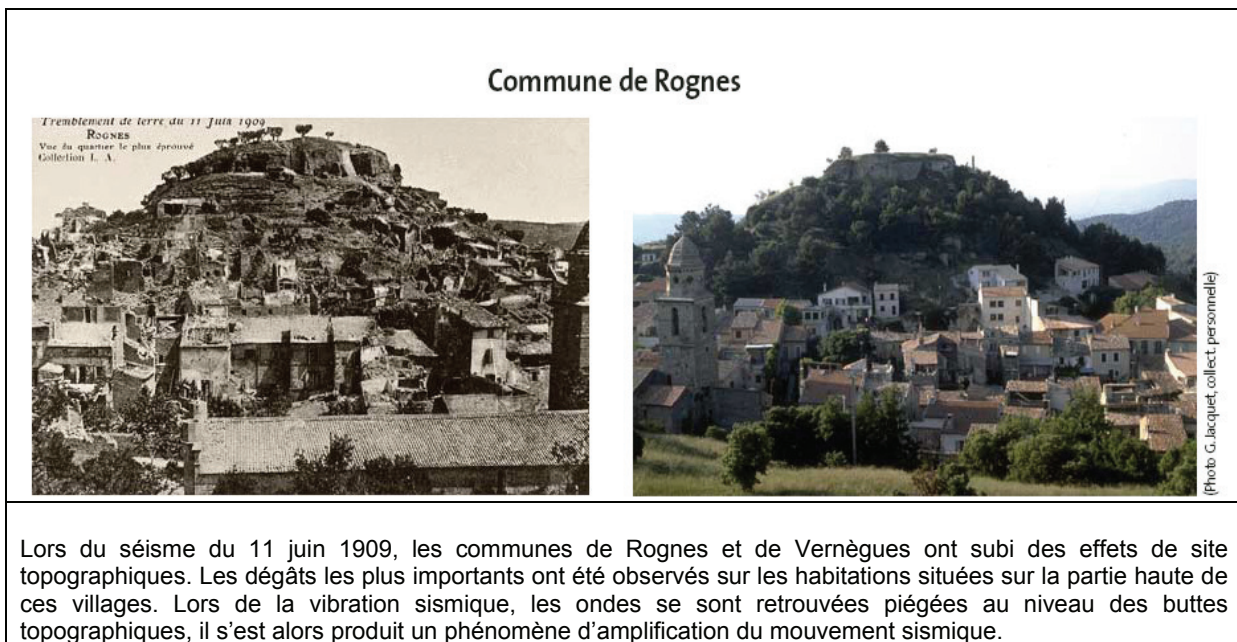


Figure 29 - Aléa, vulnérabilité, risque : Exemple des effets de site topographiques lors du séisme de Provence du 11 juin 1909





Figure 30 - Aléa, vulnérabilité, risque : Effet de site lithologique, Vue d'un immeuble de deux étages totalement détruits à Mexico en 1985 (@Cdt Fabre- Sécurité civile d'Avignon)

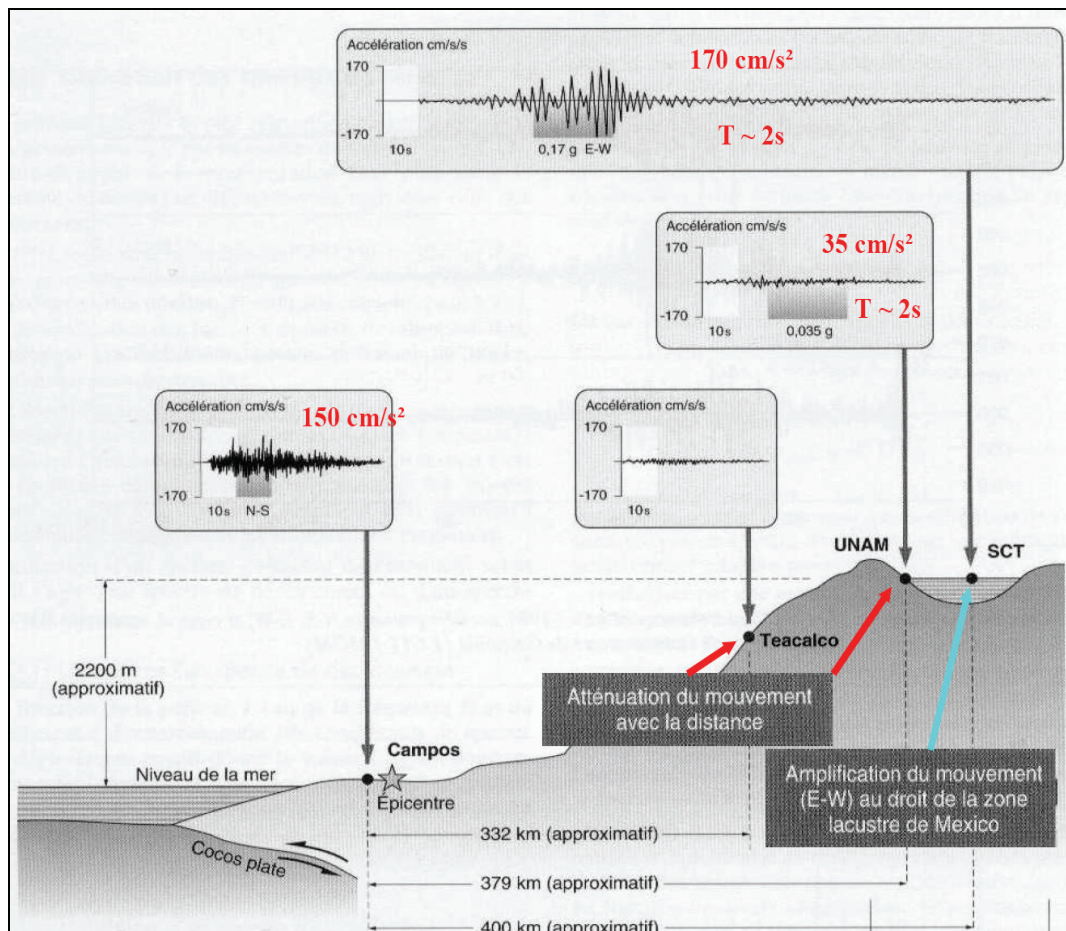


Figure 31 - Aléa, vulnérabilité, risque : Exemple du séisme de Mexico, 1985 : amplification de l'accélération au droit de la cuvette sédimentaire sur laquelle est bâtie la ville de Mexico.



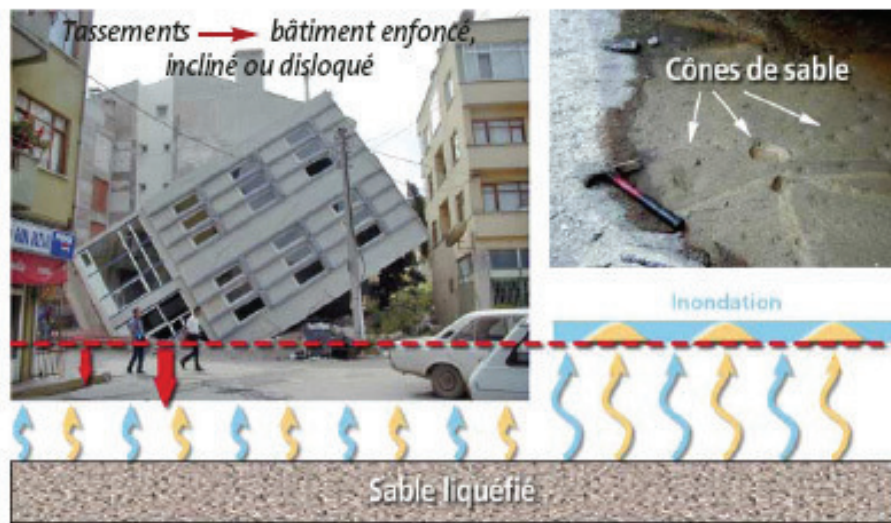


Figure 32 - Aléa, vulnérabilité, risque : Représentation schématique du phénomène de liquéfaction des sols



Figure 33 - Aléa, vulnérabilité, risque : Séisme d'Izmit (Turquie, 1999), Ville d'Apazari : rue recouverte par le sable remonté du sous-sol lors du séisme et bâtiment basculé du fait de la liquéfaction du sol (Photo BRGM, P. Mouroux)

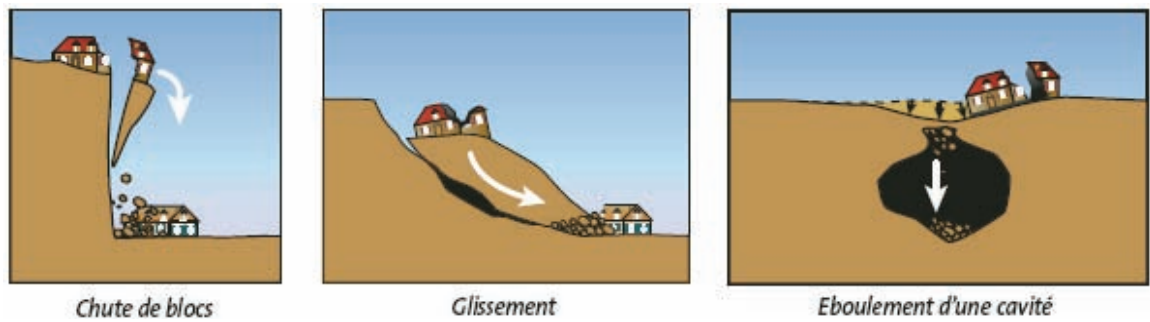


Figure 34 - Aléa, vulnérabilité, risque : Représentation schématique de mouvements de terrain déclenchés par la vibration sismique



Figure 35 - Aléa, vulnérabilité, risque : Exemple de mouvements de terrain déclenchés par la vibration ismique : archipel guadeloupéen (Antilles) après le séisme du 21 novembre 2004 (photos S. Bès de Berc, BRGM)



Vue A

Vue B

Figure 36 - Aléa, vulnérabilité, risque : Vue A, Glissement de terrain provoqué par le séisme de Salvador (2001) ; Vue B, Effondrement de talus lors du séisme d'Izmit (Turquie), 1999 (photo BRGM, P. Mouroux)

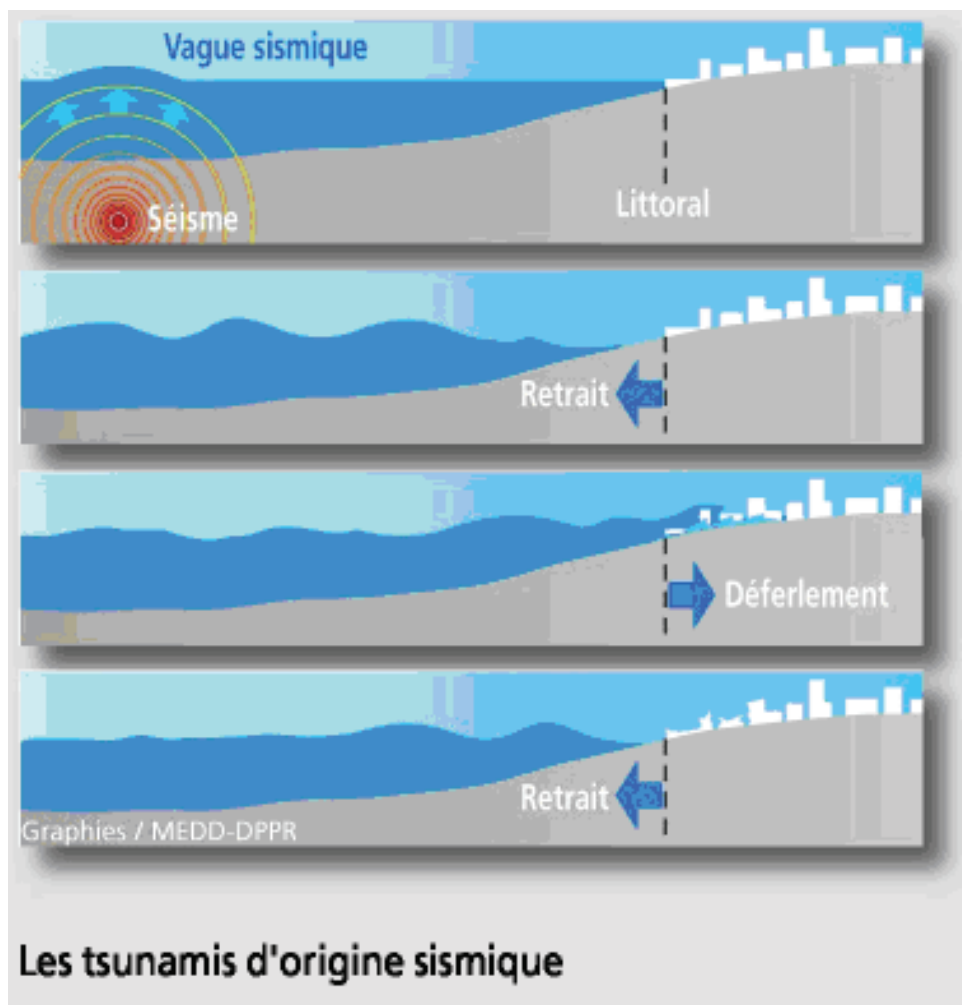


Figure 37 - Aléa, vulnérabilité, risque : Représentation schématique de la propagation de la vague tsunamigène d'origine sismique (d'après document MEDD-DPPR)



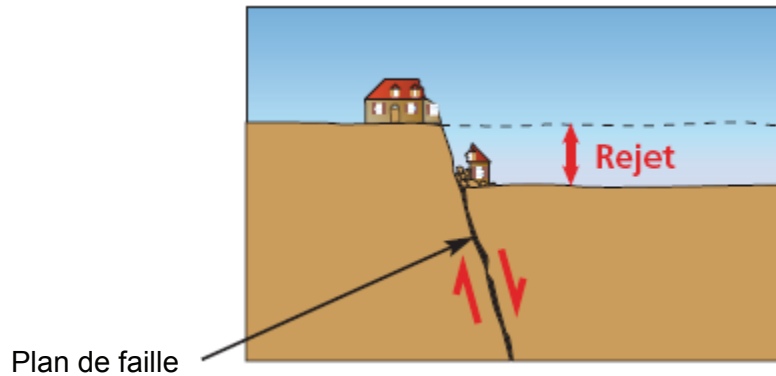


Figure 38 - Aléa, vulnérabilité, risque : Représentation schématique de la propagation de la rupture le long du plan de faille jusqu'à la surface du sol



Figure 39 - Aléa, vulnérabilité, risque : Séisme d'Izmit (Turquie), 1999 : décalage horizontal (décrochant dextre) avec un rejet de 3,7 m de la canalisation rompue (Photo P. Mouroux, BRGM)



Figure 40 - Aléa, vulnérabilité, risque : Séisme de Fairview Peak (Etats Unis, Nevada), 1954 : mouvement normal d'une faille (Photo K. Steinbrugge)

## 2.2.2. Vulnérabilité sismique

### 2.2.2.1 Définition

Les éléments exposés rassemblent les personnes, biens, activités, moyens, patrimoines susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel.

Les enjeux représentent la valeur attribuée aux éléments exposés.

La vulnérabilité caractérise la fragilité d'un élément exposé au phénomène naturel. On l'exprime par une **relation entre des niveaux de dommages et des niveaux d'agression sismique (courbe de vulnérabilité)**. On peut distinguer une vulnérabilité physique (ou structurelle), humaine, fonctionnelle, économique, sociale, ... On assimile le plus souvent la vulnérabilité à la résistance ou à l'endommagement d'un type d'enjeux (population, bâtiments...) par rapport à la manifestation d'un phénomène naturel d'une intensité donnée.

A titre d'exemple, on cite : 1) en 2003, le séisme de Bam (Iran) de magnitude 6.6 a causé la mort de plus de 38 000 personnes, 2) le séisme de Kobe de 1995, pourtant plus puissant (magnitude 6.9), a fait 6 300 victimes environ. La magnitude des deux séismes étant similaire, c'est surtout la différence de vulnérabilité entre les constructions des deux villes densément peuplées qui permet d'expliquer l'écart au niveau des victimes.

### 2.2.2.2 Vulnérabilité sismique des constructions

Les mouvements de la croûte terrestre génèrent des ruptures en son sein ayant pour conséquence la mise en vibration du sol. Après avoir parcouru la distance nécessaire depuis le foyer du séisme, au cours de laquelle il y a eu atténuation et transformation des signaux transmis, ceux-ci génèrent des ondes de surface qui mettent en vibration les constructions se trouvant dans l'environnement proche de l'épicentre (quelques dizaines de km).

Une construction est composée d'une ossature porteuse, la structure, et d'équipements secondaires permettant d'en assurer les fonctions principales (couverture, fermeture, séparations, circulations, matériels techniques divers,...). Ainsi la structure reliée au sol par les fondations doit assurer la stabilité sous l'effet de la gravité (les masses résultant de l'ensemble des équipements sont supportées par la structure), les effets associés au climat (vent, neige, variations de température) et en zone sismique les tremblements de terre. Selon les grands principes de la mécanique, lorsqu'une structure est sollicitée par une action dynamique, tel l'effet des ondes sismiques, sa réaction fait intervenir : 1) La distribution des masses au sein de la structure ; 2) La rigidité locale et globale de la structure (influence imagée dans la fable de La Fontaine « Le chêne et le roseau ») ; 3) La possibilité de dissiper de l'énergie, par frottements et interactions entre différents éléments de la structure ou entre le sol et la structure (des appareils spéciaux peuvent être disposer pour jouer ce rôle).

### **2.2.2.3 Démarche EMS 98 pour l'évaluation de la vulnérabilité des structures aux séismes**

Concernant l'appréciation du degré de vulnérabilité initiale des bâtiments, l'échelle EMS 98 propose (Figure 41): 1) une typologie simplifiée des bâtiments, 2) une classification de niveau de vulnérabilité correspond à chaque type de bâtiment.

Lors de l'évaluation sur le terrain de la vulnérabilité d'une structure ordinaire, la première étape consiste évidemment à évaluer le type du bâtiment.

Les types de bâtiments sont classés en fonction de leurs groupes principaux: maçonnerie, béton armé, acier et bois. A chaque type de bâtiments les plus courants en Europe correspond une entrée dans le tableau de vulnérabilité représentant la classification la plus probable du point de vue de la classe de vulnérabilité ainsi que l'intervalle des valeurs que l'on peut rencontrer.

Six classes de vulnérabilité sont distinguées, avec de la plus vulnérable à la plus résistante :

- Les classes A, B et C, représentent la résistance d'une maison «typique» en briques crues, d'un bâtiment de brique et d'une structure en béton armé.
- Les classes D et E sont prévues pour représenter approximativement la décroissance linéaire de la vulnérabilité en fonction de l'amélioration du degré de conception parasismique et elles conviennent également pour les structures en bois, en maçonnerie renforcée ou chaînée et les structures en acier qui sont bien connues pour leur résistance à l'action sismique.
- La classe F est censée représenter la vulnérabilité d'une structure avec un bon degré de conception parasismique, c'est-à-dire la structure ayant le meilleur degré de résistance aux séismes grâce aux principes de conception pris en compte.

L'échelle EMS 98 définit aussi 5 degrés de dommages aux constructions (Figure 42, Figure 43) : 1 -dégâts négligeables, 2 -dégâts modérés, 3 -dégâts sensibles à importants, 4 -dégâts très importants, 5 –effondrement partiel ou total.

C'est à partir de ces informations que l'évaluation de l'intensité macrosismique d'un séisme tel que proposée par l'EMS 98 (European Macroseismic Scale) pourra être faite, c'est-à-dire en tenant compte d'une part de la classe de vulnérabilité de bâtiment concerné, et d'autre part du degré et de la répartition des dommages occasionnés.

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

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

Figure 41 - Vulnérabilité : Classification EMS 98 relative à la vulnérabilité des bâtiments en fonction du type de structures et du groupe principal correspondant



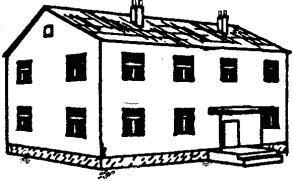




<b>Classification des dégâts aux bâtiments en MAÇONNERIE</b>	
<b>(Degré 0 (D0) : dégâts nul)</b>	
	<p><b>Degré 1 (D1) : Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structurel, légers dégâts non structurels)</b></p> <p>Fissures capillaires dans très peu de murs. Chute de petits débris de plâtre uniquement. Dans de rare cas, chute de pierres descellées provenant des parties supérieures des bâtiments.</p>
	<p><b>Degré 2 (D2) : Dégâts modérés (dégâts structurels légers, dégâts non structurels modérés)</b></p> <p>Fissures dans de nombreux murs. Chutes de grands morceaux de plâtre. Effondrement partiel des cheminées.</p>
	<p><b>Degré 3 (D3) : Dégâts sensibles à importants (dommages structurels modérés, dommages non structurels importants)</b></p> <p>Fissures importantes dans la plupart des murs. Les tuiles se détachent du toit. Fracture des cheminées à la jonction avec le toit. Défaillance d'éléments non structurels séparés (cloisons).</p>
	<p><b>Degré 4 (D4) : Dégâts très importants (Dégâts structurels importants, dégâts non structurels très importants)</b></p> <p>Défaillance sérieuse des murs, défaillance structurale partielle des toits et planchers.</p>
	<p><b>Degré 5 (D5) : Destruction (Dégâts structurels importants)</b></p> <p>Effondrement total ou presque total.</p>

Figure 42 - Vulnérabilité : Echelle EMS 98, degrés de dommages relatifs aux constructions en maçonnerie

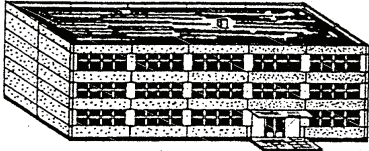
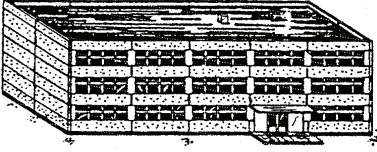
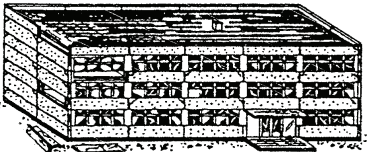
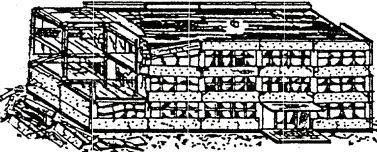

<b>Classification des dégâts aux bâtiments en BETON ARME</b>	
<b>(Degré 0 (D0) : dégâts nuls)</b>	
	<p><b>Degré 1 (D1) : Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structurel, légers dégâts non structuraux)</b></p> <p>Fissures fines dans le plâtre sur les parties de l'ossature ou sur les murs à la base.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

Figure 43 - Vulnérabilité : Echelle EMS 98, degrés de dommages relatifs aux constructions en béton armé

### **2.2.3. Risque sismique**

Le risque sismique résulte du croisement entre d'une part l'aléa (agression), et d'autre part la vulnérabilité des éléments exposés et leur valeur (enjeux), Figure 24.

#### **2.2.3.1 Les conséquences des séismes sur les enjeux**

##### **Les préjudices humains**

Les séismes sont des phénomènes naturels pouvant être très destructeurs. Les victimes humaines directes sont pour la plupart concernées par l'effondrement des bâtiments, les mouvements de terrain associés ou les tsunamis dans le cas de séismes sous-marins.

Mais les grands séismes destructeurs occasionnent également un grand nombre de victimes indirectes du fait des ruptures de canalisation de gaz et des violents incendies qui s'ensuivent [San Francisco (1906), Tokyo (1923), etc.]. Les populations sans-abri doivent parfois être déplacées vers des zones moins affectées, ce qui augmente encore le préjudice psychologique des victimes.

##### **Les préjudices matériels**

Les dommages matériels dépendent de l'amplitude et de la durée du mouvement du sol, ainsi que du mode de construction. Il peut s'agir de détérioration des structures (fissuration) ou de destructions (écroulement des bâtiments). Outre les habitations, les séismes ont un impact très fort sur l'économie : destruction des infrastructures (ponts, routes, voies ferrées, etc.), détériorations de l'outil de production (usines), rupture des conduites d'eau, de gaz et d'électricité pouvant provoquer incendies, explosions, électrocutions.

##### **Les effets sur l'environnement**

Les grands séismes peuvent occasionner des désordres dans l'environnement. Pour les séismes les plus forts, le jeu des failles peut faire apparaître des dénivellations ou des décrochements de plusieurs mètres, avec parfois changement total de paysage (vallées barrées par des glissements de terrain et transformées en lacs, rivières déviées, etc.). Des sources peuvent se tarir, de nouvelles peuvent apparaître.

#### **2.2.3.2 Les séismes historiques les plus destructeurs**

La connaissance des grands séismes mondiaux varie en fonction de la date et du lieu de l'événement. Le dénombrement des victimes est délicat dans les pays en voie de développement ou trop isolés. Les séismes sont davantage meurtriers dans les pays très densément peuplés (Chine, Japon, Inde, Indonésie, etc.) et/ou des pays où les constructions sont peu résistantes (Algérie, Turquie, Chili, etc.).

En Europe, les grands séismes sont décrits par des témoignages, des représentations ou des écrits depuis plus de 2 000 ans, tandis que dans le Nouveau Monde, la description des phénomènes historiques ne commence qu'au XVI<sup>e</sup> siècle.

Le tableau ci-après liste quelques uns des séismes mondiaux les plus catastrophiques survenus au cours du dernier millénaire. Par ailleurs, le site <http://nisee.berkeley.edu/kozak/> propose une collection d'illustrations de séismes historiques.

Date	Magnitude	Pays	Localisation	Victimes et dégâts
18 octobre 1356	6 à 6,5	Suisse	Bâle	Nombreux châteaux détruits, répercussions en France
26 janvier 1531	?	Portugal	Lisbonne	30 000 morts ; tsunami au Maghreb et jusqu'en Europe du Nord
28 décembre 1808	7,5	Italie	Messine	86 000 morts
13 janvier 1915	7	Italie	Avezzano	32 000 morts
6 décembre 1920	8,5	Chine	Gansu	180 000 morts
1 septembre 1923	8,2	Japon	Tokyo	100 000 morts, 80 000 disparus ; incendie généralisé
23 mai 1927	8,3	Chine	Nanchang	80 000 morts
26 décembre 1932	7,6	Chine	Gansu	80 000 morts
31 mai 1935	7,5	Inde	Quetta	60 000 morts
9 septembre 1954	6,7	Algérie	Orléansville	15 000 morts ; nombreuses maisons détruites
29 février 1960	5,9	Maroc	Agadir	10 000 morts
31 mai 1970	7,8	Pérou	Chimbote	67 000 morts ; glissement de terrain
27 juin 1976	7,6	Chine	Tangshan	290 000 morts, plus de 780 000 blessés ; grands dégâts économiques
21 mai 1980	7,3	Algérie	El Asnam	10 000 morts
7 décembre 1988	6,8	Arménie	Spitak	Plus de 50 000 morts
21 juin 1990	6,6	Iran	Bam	43 000 morts et 30 000 blessés
17 janvier 1995	6,9	Japon	Kobé	6 300 morts
17 août 1999	7,4	Turquie	Izmit	17 000 morts et plus de 34 000 blessés
23 juin 2001	8,4	Pérou	A proximité des côtes	75 morts (dont 26 par un tsunami)
2 décembre 2003	6,3	Iran	Bam	26 000 morts ; ville détruite à 80%
24 février 2004	6,4	Maroc	Al Hoceima	500 morts ; 300 blessés
26 décembre 2004	9,0	Indonésie	Sumatra	283 000 morts ; tsunami ressenti sur tout l'Océan Indien
8 octobre 2005	7,6	Pakistan	Hazara	Plus de 20 000 morts
26 mai 2006	6,3	Indonésie	Yogyakarta	5 700 morts et plus de 38 000 blessés ; tsunami

Figure 44 - Risque : Quelques séismes parmi les plus catastrophiques du dernier millénaire

### 2.2.4. Les scénarios de risque sismique

Actuellement l'approche la plus classique pour évaluer le risque consiste à réaliser des scénarios évènementiels qui amènent à la mise en place de plans de gestion et de plans d'action pour réduire le risque sismique.

Sur la base d'un scénario évènementiel, il est possible d'estimer **le niveau de dommages des différents bâtiments, les préjudices humains (décès et blessés) ainsi que les pertes économiques directe et indirectes**. Des analyses du dysfonctionnement des systèmes sont également menées.

Ce type d'étude permet une meilleure prise en compte des risques dans les **projets d'aménagement**. Il constitue aussi **un outil de préparation à la gestion de crise**.

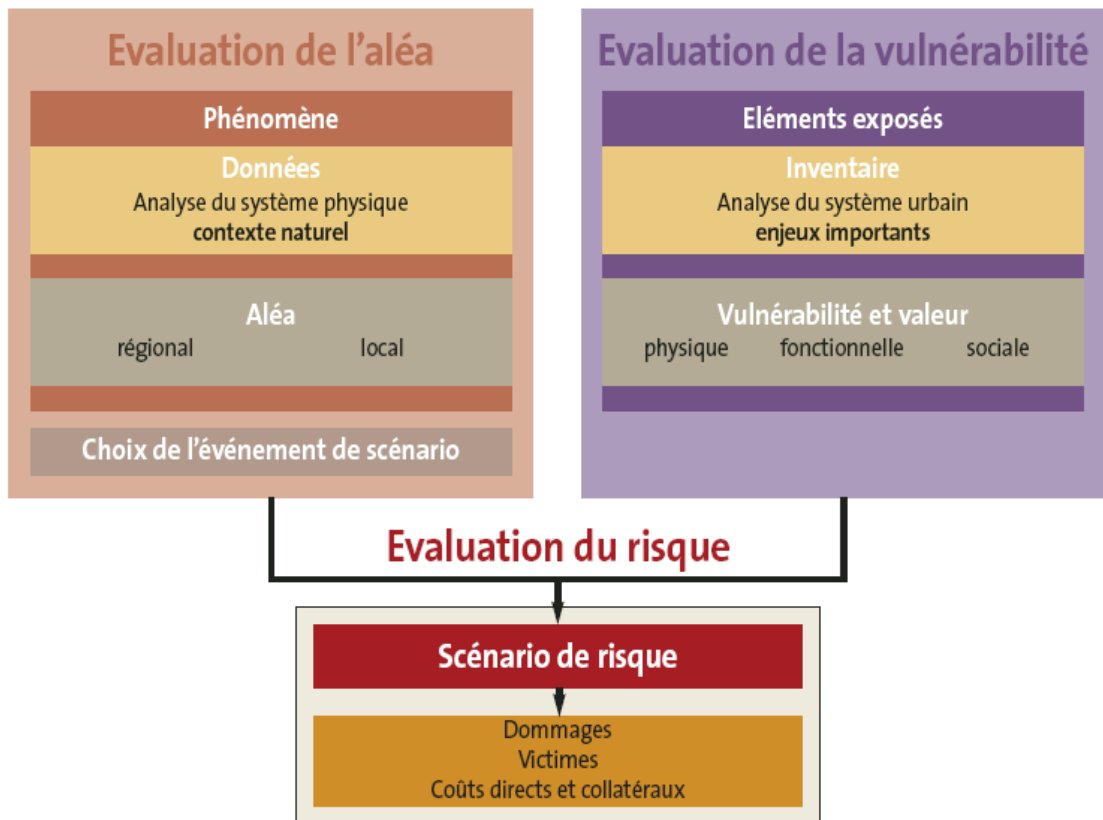


Figure 45 - Risque : Principes d'évaluation d'un scénario de risque sismique

## **2.3. PREVENTION ET REGLEMENTATION SUR LE RISQUE SISMIQUE**

La prévention du risque sismique passe par la compréhension des phénomènes en jeu (émission et propagation des ondes sismiques, réponse des constructions), l'utilisation d'outils de reconnaissance des sols et structures, et l'établissement de règles parasismiques. Mais, pour que ces dernières soient réellement appliquées dans la pratique, la prévention passe aussi par une appropriation du risque réel par l'ensemble de la population, et cela sans minimisation ni dramatisation.

### **2.3.1. Information sur le risque sismique, un rôle partagé**

La loi du 22 juillet 1987 a instauré le droit des citoyens à une information sur les risques majeurs auxquels ils sont soumis sur tout ou partie du territoire, ainsi que sur les mesures de sauvegarde qui les concernent. Cette partie de la loi a été reprise dans l'article L 125.2 du Code de l'environnement. Cette information concerne l'ensemble des risques, naturels et technologiques.

Cette obligation d'information se concrétise au travers des rôles de chacun. Toutefois c'est l'information du citoyen qui est le but à atteindre dans l'ensemble du dispositif d'Information Préventive. Les mesures d'information sont diffusées dans des communes comportant des zones habitées (enjeux humains) soumises à des risques technologiques ou naturels majeurs.

#### **2.3.1.1 Rôle de l'Etat**

L'Etat fournit l'information de base. Celle-ci se concrétise à travers deux documents

- **Le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM).** Établi sous l'autorité du préfet, le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM) recense à l'échelle d'un département l'ensemble des risques majeurs par commune. Il explique les phénomènes et présente les mesures de sauvegarde.

- **Le PAC-Risques – Porter à connaissance sur les Risques.** Il remplace l'ancien Dossier Communal Synthétique, DCS, sur les risques. Ce document est destiné aux élus locaux dans le but de leur permettre d'élaborer les DICRIM. A travers ce document le préfet communique « toute information qu'il juge utile à l'élaboration » des documents d'urbanisme (art. L. 123-3. al. 4 C.U.) Il rassemble les cartographies d'aléa et documents réglementaires, les arrêtés Cat-Nat, le modèle d'affiche sur les risques, la liste des principaux évènements. Le PAC-Risques permet au préfet de signaler aux élus locaux qui ont l'obligation de les « prendre en considération » dans l'élaboration des documents d'urbanisme (schémas directeurs, PLU, PAZ), les risques naturels prévisibles et les risques technologiques.

Les préfetures s'appuient en outre sur les services déconcentrés de l'Etat pour la réalisation de certaines actions préventives des risques. Ainsi

La DIREN, Direction Régionale de l'Environnement a en charge, sous l'autorité du Préfet de région, la programmation budgétaire des crédits affectés à la connaissance



de l'aléa, à l'information préventive et à la prévention des risques naturels majeurs. Elle a également une mission de coordination et d'animation technique des services départementaux chargés de la cartographie des risques naturels majeurs et de l'information sur ces risques.

La DDE, Direction départementale de l'Équipement, met à la disposition des communes une aide technique de proximité et elle participe à la défense et à la gestion de crise. Elle assure l'essentiel de l'instruction des procédures de mise en place des PPR (Plan de Prévention des Risques) et de la production des documents d'information préventive (DCS). Elle gère également des outils de connaissance du risque (atlas des zones inondables ou du risque géologique,...).

La DRIRE, Direction Régionale de l'Industrie de la Recherche et de l'Environnement, s'occupe plutôt des risques industriels et applique, sous l'autorité des préfets, la législation relative aux installations classées pour la protection de l'environnement. Les installations classées doivent respecter la réglementation parasismique de la catégorie dite « à risque spécial ».

### **2.3.1.2      *Rôle des collectivités locales***

Le Maire assure le lien entre l'information produite et le citoyen via l'annexion de PPR (Plans de Prévention des Risques) au PLU (Plan Local d'Urbanisme, ancien POS), et de DICRIM (Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs).

Les PPR ont été institués par la loi n°95-101 du 2 février 1995, modifiant la loi du 22 juillet 1987. Ils délimitent les zones exposées aux risques naturels prévisibles et prévoient également les mesures de prévention à mettre en œuvre par les propriétaires et les collectivités locales ou établissements publics. Les PPR peuvent interdire ou subordonner à des conditions spécifiques, dans des zones délimitées, les constructions, ouvrages, biens et activités soit parce qu'ils seraient exposés à des risques, soit parce qu'ils pourraient les aggraver ou en provoquer de nouveaux (art. 40-1, loi 22 juillet 1987 modifiée).

L'objectif du PPR est triple :

- 1) ne plus accroître le nombre de constructions et aménagements nouveaux installés en zone vulnérable ;
- 2) réduire la vulnérabilité de ceux qui sont déjà réalisés en zone exposée ;
- 3) ne pas aggraver les risques ni en provoquer de nouveaux.

Dans le cas des constructions existantes, des mesures peuvent être prescrites dans la mesure où le coût des travaux imposés ne dépasse pas 10% de la valeur de la construction.

Le DICRIM est constitué à partir des éléments du PAC-Risques. Il présente les mesures de prévention et les mesures spécifiques prises au niveau de la commune

pour prévenir les risques. Le DICRIM est accompagné d'une communication (au moins tous les deux ans si la commune est couverte par un plan de prévention des risques) et d'une campagne d'affichage.

### **2.3.1.3 Le citoyen**

#### **Le Plan familial de mise en sûreté**

Le citoyen doit devenir l'acteur majeur de sa propre sécurité. Pour ce faire il est nécessaire qu'il soit le mieux informé possible. La lecture du DDRM (rôle de l'Etat), du DICRIM (rôle du maire) et du PPR s'il existe, ainsi que les obligations définies ci après (obligations des vendeurs et bailleurs) doivent l'inciter à s'informer d'avantage sur les risques. Cette information lui permettra d'évaluer sa vulnérabilité et de juger des mesures les plus adaptées à sa situation. Il doit prendre en considération le risque potentiel susceptible d'exister sur la commune où il demeure, et cela afin de réduire sa vulnérabilité et selon le cas mettre en place un plan familial de mise en sûreté (PFMS).

Pour le citoyen, la réalisation du PFMS, c'est en particulier :

- 1) apprendre les consignes de sauvegarde et les comportements à adopter en cas de survenue d'un évènement exceptionnel ;
- 2) localiser un endroit de regroupement familial en cas de survenance d'un évènement exceptionnel, et si l'habitation se trouve dans une zone à risque ;
- 3) faire effectuer des travaux ou entreprendre des aménagements afin de réduire sa vulnérabilité et celle de ses biens.

#### **Obligations du vendeur et bailleur**

La loi du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages a introduit dans son article 77 l'information des acquéreurs ou locataires de bien immobilier. Lorsque ces derniers sont situés soit dans une zone couverte par PPR (naturel ou technologique) ou soit dans une zone de sismicité, le vendeur ou le bailleur a une obligation d'information sur l'existence de risques.

Le vendeur ou le bailleur doit également fournir une information sur les sinistres si le bâtiment a bénéficié d'une garantie « catastrophes naturelles » dans le passé.

## **2.3.2. Zonage sismique de la France et classification réglementaire des ouvrages**

### **2.3.2.1 Les différents types de zonages sismiques nationaux**

L'étude des séismes historiques ainsi que les enquêtes macrosismiques permettent de connaître les niveaux d'intensité maximale ressentie sur l'ensemble du territoire. A partir de ces informations, il est donc possible de définir un zonage sismique national, c'est-à-dire une carte découpée en plusieurs zones en fonction des niveaux de sismicité attendus. Ce type de carte permet d'évaluer les mouvements sismiques plausibles dans chaque région et donc de définir des normes de construction parasismique adaptées.

Plusieurs démarches d'évaluation de l'aléa sismique ont été mises en oeuvre au niveau du territoire français, Figure 46. Les différents zonages obtenus répondent à des exigences réglementaires spécifiques.

La **démarche empirico-statistique** a été la première évaluation faite sur l'ensemble du territoire national. Elle a été mise en oeuvre dans les **années 80** dans le cadre de l'application des règles parasismiques de construction destinées aux ouvrages courants, dits à "risque normal". Le recul de 25 années d'enregistrements sismiques supplémentaires permet aujourd'hui d'abandonner la méthode empirico-statistique au profit de celle probabiliste.

L'évaluation **déterministe** concerne l'application des règles parasismiques pour les installations classées. En 1998, le BRGM a publié un zonage déterministe de la France.

Enfin, une évaluation basée sur une **approche probabiliste** est en cours de réalisation. D'un point de vue réglementaire, le zonage probabiliste de la France est destiné à l'application des Eurocode 8, il devrait ainsi se substituer au zonage empirico-statistique des années 80.

### **2.3.2.2 Le zonage sismique réglementaire actuel**

Le seul zonage sismique officiellement reconnu par la législation française est celui réalisé dans les années 80 (Despeyroux et Godefroy, 1986). La démarche suivie pour réaliser ce zonage est qualifiée « d'empirico-statistique », car : 1) les données sismiques disponibles il y a 25 ans n'étaient pas suffisantes pour permettre une étude probabiliste, mais uniquement une étude sur la répartition des événements passés ; 2) pour pallier aux lacunes des connaissances sismiques et tectoniques de l'époque, les résultats statistiques ont été complétés par les experts par des appréciations qualitatives et subjectives des niveaux d'aléa pour les différentes zones sismiques délimitées.

Ce zonage est devenu le “zonage sismique officiel de la France” dès la publication du décret n° 91-461 du 14 mai 1991. Il ne s'agit pas d'une carte du “risque encouru”, mais d'une carte représentative de la façon dont la puissance publique prend en compte l'aléa sismique pour prescrire des règles en matière de construction.

A partir d'une analyse des données sismiques historiques, le territoire national est divisé en 5 zones de niveau de sismicité croissant 0, Ia, Ib, II et III (Figure 47) :

Type de zone	Niveau	Définitions
<b>Zone III</b>	<b>Sismicité forte</b>	Zone limitée aux départements de la Guadeloupe et de la Martinique, où la sismicité relève d'un contexte différent, celui d'une frontière de plaques tectoniques
<b>Zone II</b>	<b>Sismicité moyenne</b>	La période de retour des séismes d'intensité égale à VIII est inférieure à 250 ans. La période de retour des séismes d'intensité VII est inférieure à 75 ans.
<b>Zone Ib</b>	<b>Sismicité faible</b>	Au moins un séisme d'intensité VIII ou VIII-IX connu. La période de retour des séismes d'intensité VIII est supérieure à 250 ans. La période de retour des séismes d'intensité VII est supérieure à 75 ans.
<b>zone Ia</b>	<b>Sismicité très faible</b>	Pas de séisme d'intensité supérieure ou égale à VIII connu, mais de faibles déformations tectoniques récentes existent. La période de retour des séismes d'intensité VIII est supérieure à 250 ans. La période de retour des séismes d'intensité VII est supérieure à 75 ans.
<b>Zone 0</b>	<b>Sismicité négligeable</b>	Aucune secousse d'intensité au moins égale à VIII n'y a été observée historiquement ; les règles parasismiques ne sont pas obligatoires.

Le zonage actuel est établi par canton, le découpage cantonal en cours au 1er janvier 1989 prévalant sur le découpage actuel.

Martinique et Guadeloupe sont les seuls départements français classés en zone III. Guyane, Réunion et Saint-Pierre-et-Miquelon sont classés en zone 0. Les autres territoires d'outre-mer ne sont pas classés dans le zonage national.

Concernant le territoire métropolitain, celui-ci est dans sa grande majorité classé en zone 0.

Les principales zones sismiques classées en zone II sont situées dans les Alpes (Pays niçois), les Pyrénées (Cerdagne et Béarn), la Provence (basse vallée de la Durance, Aix-en-Provence) et l'Alsace (région de Mulhouse).

La plus grande partie des Alpes, des Pyrénées, de l'Alsace et la basse-vallée du Rhône sont classées en zones Ib ou Ia. D'autres petites régions sismiques sont également identifiées en Auvergne, dans les Charentes, la Vendée, le Saumurois et le Calvados.

### **2.3.2.3 Le zonage sismique probabiliste de la France**

La nouvelle carte nationale de l'aléa sismique publiée par le ministère de l'Ecologie et du Développement Durable le 21 novembre 2005 doit servir de base au futur zonage réglementaire pour l'application des règles techniques de construction parasismique. Cette nouvelle carte correspond à une évaluation probabiliste de l'aléa sismique. Le zonage sismique réalisé permet ainsi une estimation en tout point du territoire du niveau de magnitude ou d'accélération du sol ( $m/s^2$ ) susceptible d'être atteint pendant une période de temps donnée, Figure 48.

#### **Pourquoi remplacer le zonage sismique réglementaire existant ?**

Le zonage officiel en vigueur en France depuis 1991 date des années 80.

Depuis, 1) la connaissance de la sismicité et des failles actives a beaucoup évolué, 2) le code européen de construction parasismique - l'Eurocode 8 - ont rendu nécessaire la révision de ce zonage.

Concernant le premier point : bénéficiant d'une quarantaine d'années d'enregistrements sismiques et grâce aux connaissances géologiques et sismologiques acquises durant ces 25 dernières années, un zonage sismotectonique puis une analyse probabiliste des événements sismiques ont pu être réalisés sur l'ensemble du territoire national.

Concernant le second point : L'Eurocode 8 permet une harmonisation des législations parasismiques des différents Etats membres. Cette législation fait appel à une description probabiliste de l'aléa sismique.

#### **Changements apportés par le nouveau zonage**

##### Possibilités de retenir différents niveaux de probabilité ou périodes de retour

L'évaluation probabiliste a conduit à plusieurs cartes d'iso-accélération correspondant à différents niveaux de probabilités annuelles, exprimées en périodes de retour (100, 475, 975 et 1975 ans).

Concernant les ouvrages à risque normal, la période de retour retenue est de 475 ans. Elle correspond à une probabilité d'occurrence de l'événement sismique de 10% d'ici 50 ans. L'événement sismique de référence est traduit en terme d'accélération du sol. C'est cette accélération nominale qui sera prise en compte pour l'application des futures règles de constructions parasismiques.

##### Découpage communal

Le nouveau zonage propose un découpage par communes, et non plus par cantons, ce qui rend plus stable dans le temps le découpage administratif pris en référence. Cela permet aussi d'être plus précis dans les cas où la limite d'une zone traverse un canton par exemple.

### Nom des zones

Les zones de sismicité ne sont plus désignées par des chiffres romains, mais par des adjectifs décrivant l'activité sismique. De zones 0, Ia, Ib, II et III, on passe désormais aux zones de sismicité très faible, faible, modérée, moyenne et forte.

La zone 0 n'est pas traduite par zone de sismicité nulle, car même si l'activité sismique est très faible voire négligeable, elle n'est jamais nulle.

### **Présentation de la carte de zonage**

Avec ce nouveau zonage, le nombre de communes concernées par la réglementation parasismique va augmenter et les mouvements sismiques de référence (accélération) seront ajustés, majorés pour certaines communes et diminués pour d'autres.

Les accélérations indiquées dans la légende de la carte représentent les niveaux d'accélération qui sont attendus dans une zone donnée par exemple, les communes situées dans la zone de sismicité modérée ont une probabilité de 10% de subir une accélération du sol comprise entre 1.1 et 1.6 m/s<sup>2</sup> d'ici à 50 ans (la période de retour retenue pour le nouveau zonage est de 475 ans).

Les départements de la Guyane et de Saint-Pierre-et-Miquelon ne sont pas représentés car ils sont situés en zone de sismicité très faible.

Les Territoires d'Outre-mer – Mayotte, la Nouvelle-Calédonie, Wallis et Futuna – sont exclus du zonage sismique, mais peuvent aussi être soumis à des séismes qui peuvent engendrer des victimes et des destructions importantes. Une approche de type microzonage (zonage sismique à l'échelle locale) convient mieux a priori à la nature et l'extension géographique des collectivités concernées.

#### **2.3.2.4 La classification réglementaire des ouvrages**

Les textes qui régissent actuellement la prévention du risque sismique sont inscrits dans la loi n° 87-565 du 22 juillet 1987 relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et la prévention des risques majeurs et son décret d'application du 14 mai 1991 (n°91-461). Deux types d'ouvrage, à "risque normal" et à "risque spécial", sont définis et renvoient à une réglementation parasismique spécifique en fonction de l'une ou l'autre de ces deux catégories, Figure 49.

#### **Ouvrage à risque normal**

Il s'agit des ouvrages pour lesquels les conséquences d'un séisme demeurent circonscrites à leurs occupants et à leur voisinage immédiat. Ils sont classés en 4 catégories

Classe A : ouvrages dont la défaillance présente un risque minime pour les personnes ou l'activité économique. Activité de longue durée exclue. (Ex : hangar à foin)



Classe B : ouvrages dont la défaillance présente un risque moyen pour les personnes.

- habitations individuelles, habitations collectives, bureaux, dont la hauteur n'excède pas 28 m
- établissements recevant du public de 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> catégories
- parcs publics de stationnement
- autres bâtiments accueillant au plus 300 personnes

Classe C : ouvrages à risque élevé pour les personnes ou les activités.

- bâtiments d'habitation collectifs, bureaux, de hauteur supérieure à 28 m
- établissements recevant du public de 1<sup>ère</sup> à 3<sup>ème</sup> catégories
- autres bâtiments accueillant plus de 300 personnes
- établissements sanitaires et sociaux sauf exception
- bâtiments de production collective d'énergie

Classe D : ouvrages dont le fonctionnement est primordial pour la sécurité civile, pour la défense ou l'ordre public.

- bâtiments abritant les moyens de secours
- bâtiments définis par le ministère de la Défense
- bâtiments assurant les communications
- établissements recevant du public de santé spécialisés en affectations graves
- production et stockage d'eau potable
- distribution publique de l'énergie
- centres de météorologie.

La réglementation spécifique à la catégorie d'ouvrage à risque normal correspond à l'arrêté du 29 mai 1997, lequel (Figure 49, Figure 50) :

- précise la nature des bâtiments concernés par ces 4 classes (A, B, C, D) ;
- définit les règles de constructions à appliquer : Règles PS92 (norme NF P 06-013) ou règles PS-MI 89 révisées 92 (norme NF P 06-014) ;
- indique la valeur minimale de l'accélération nominale en fonction de la zone sismique réglementaire (0, Ia, Ib, II ou III) et la classe d'ouvrage (B, C ou D ; non obligatoire pour A).

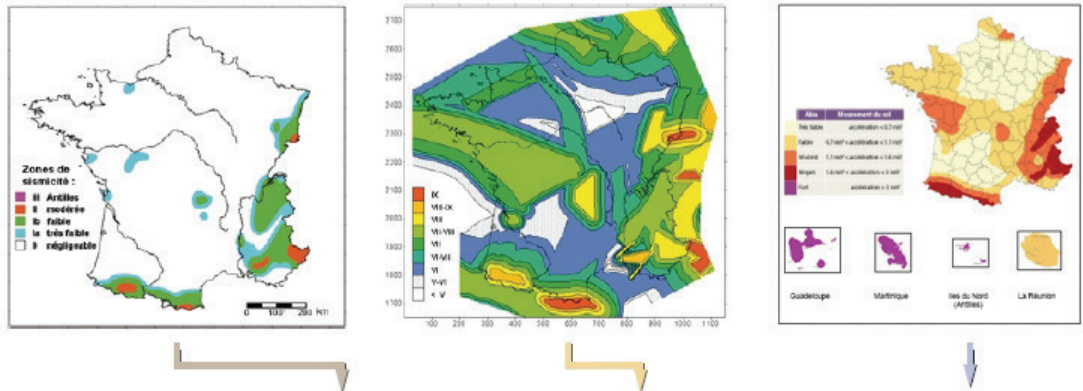
### **Ouvrage à risque spécial**

Il s'agit des ouvrages pour lesquels les effets sur les personnes, les biens et l'environnement, de dommages même mineurs résultant d'un séisme, peuvent ne pas être circonscrits au voisinage immédiat de ces ouvrages.

Les barrages et les installations nucléaires font l'objet de recommandations de sûreté particulières.

Pour les installations classées pour l'environnement (ICPE), l'arrêté du 10 mai 1993 fixe les règles parasismiques applicables aux installations soumises à la législation sur les installations classées et précise notamment les mouvements sismiques de référence à prendre en compte :

- en zone 0 et la du zonage sismique réglementaire : prise en compte d'un mouvement forfaitaire (l'arrêté du 10 mai 1993 fournit en annexe un spectre de réponse correspondant au SMS) ;
- en zone Ib, II et III : évaluation à partir d'une analyse d'aléa déterministe des "SMHV" (séisme maximal historiquement vraisemblable) et "SMS (séisme majoré de sécurité). La justification demandée par l'arrêté consiste d'une part à identifier tous les éléments de l'installation importants pour la sûreté (équipements principaux et accessoires, éléments de supportage...), et d'autre part, à vérifier la bonne tenue de ces éléments sous l'effet du séisme (SMS).



Date	1986	1998 (BRGM)	En cours ( MEDD )
Démarche	Empirico-statistique basée sur les données de sismicité (magnitude, intensité)	Déterministe basée sur une analyse sismotectonique et les données de la sismicité (magnitude, intensité)	Probabiliste basée sur une analyse sismotectonique et les données de sismicité (magnitude, intensité, fréquence)
Quantités évaluées	Intensité ressentie et accélération nominale	Intensité du SMHV	Accélération pour différentes périodes de retour ( dont 475 ans )
Valeur réglementaire	Oui (décret du 14 mai 1991)	Le document BRGM n'a pas de valeur réglementaire, mais la démarche oui	Probable (Eurocode 8)
Catégories de constructions	Ouvrages courants dits à "risque normal"	Installations classées dites à "risque spécial"	Non définies actuellement
Découpage administratif	Répartition des cantons en 5 zones de sismicité	Non	En cours
Références	Despeyroux & Godefroy (1986)	Blès et al. (1998)	GEO-TER (2002)

Figure 46 –Prévention Les principaux zonages sismiques français

Sources :

Despeyroux J. et Godefroy P., 1986. Nouveau zonage sismique de la France, la Documentation française, Paris

Blès et al., 1998, Zonage sismique de la France métropolitaine pour l'application des règles parasismiques aux installations classées, document BRGM n°279

Martin C. et al., 2002, Révision du zonage sismique de la France, Approche probabiliste, Rapport BRGM GEO-TER n°GTR/MATE/07/01-150.

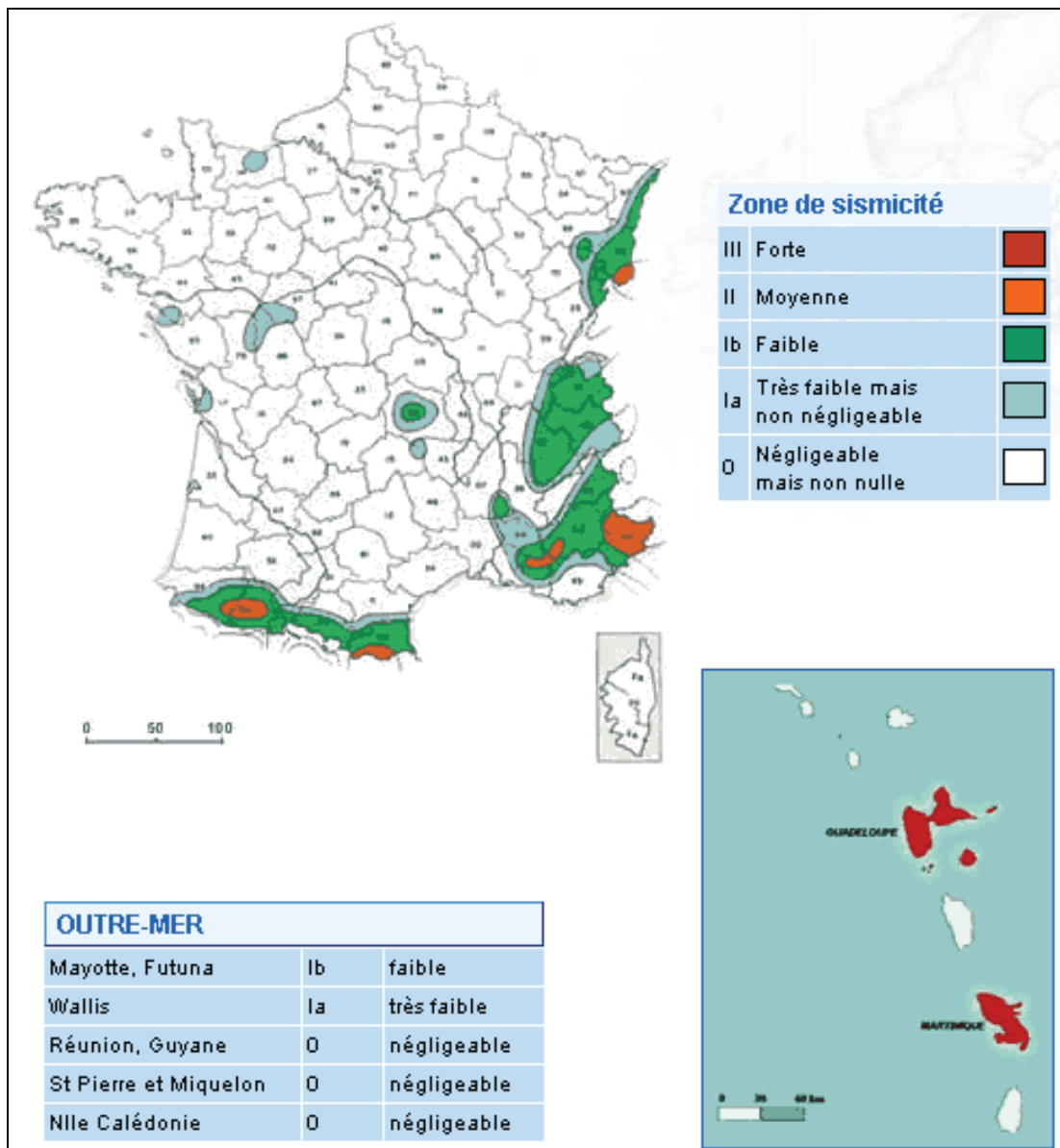
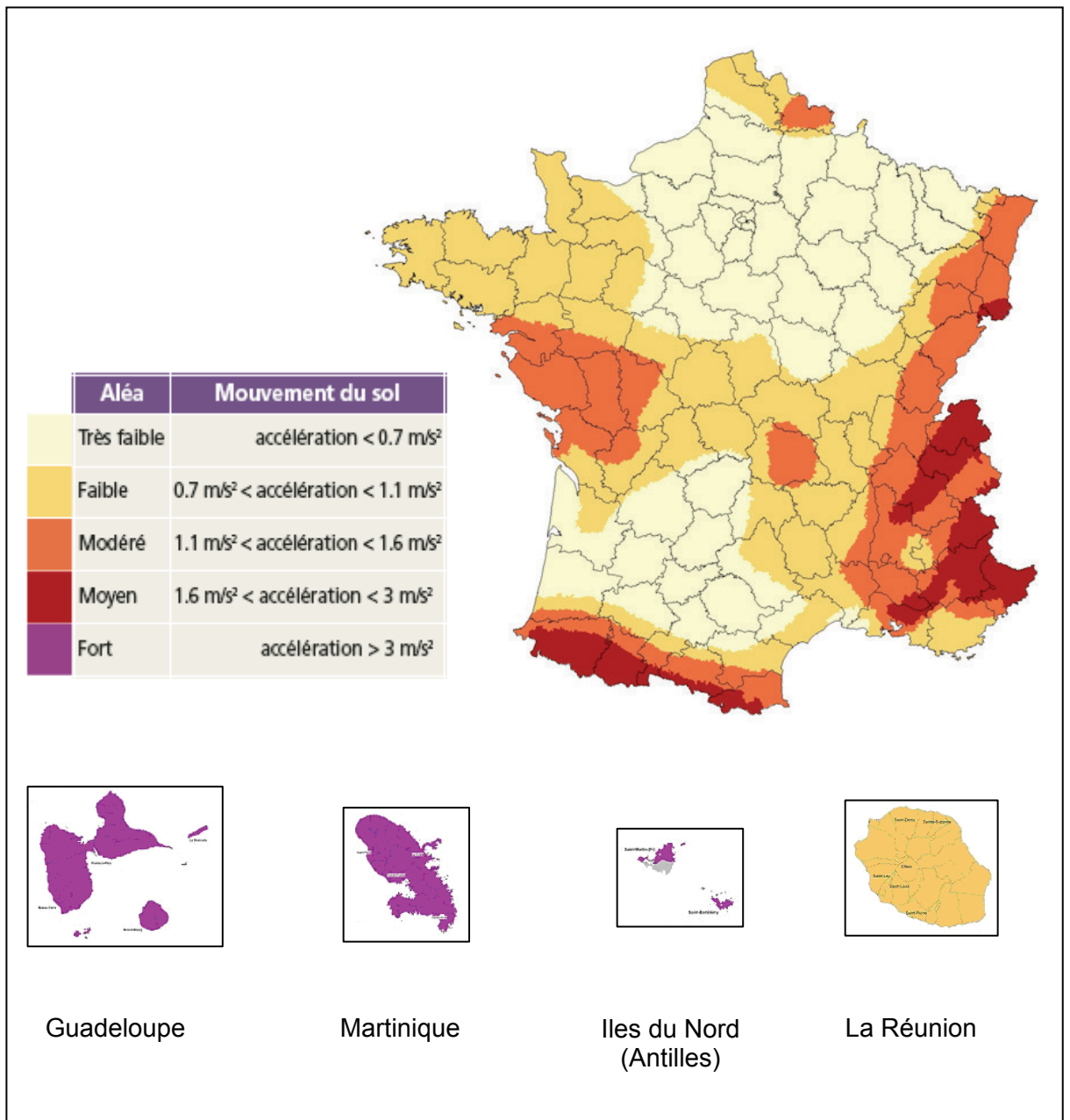


Figure 47 - Prévention Le zonage sismique officiel de la France



**Des gammes de valeurs d'accélération ont été proposées en 2006.**

**L'accélération nominale relative à chaque niveau d'aléa sera fixée en 2007.**

*Figure 48 – Prévention Le zonage sismique probabiliste de la France*

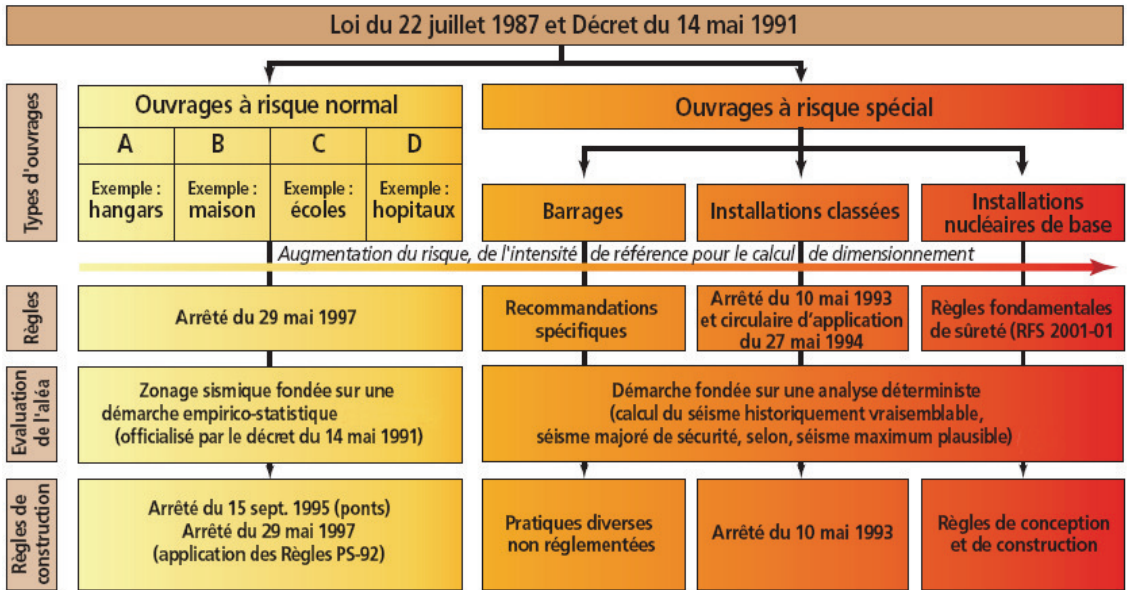


Figure 49 - Prévention Schéma illustrant la philosophie de la réglementation sismique française actuelle

Zone	Classe B	Classe C	Classe D
Ia	1.0	1.5	2.0
Ib	1.5	2.0	2.5
II	2.5	3.0	3.5
III	3.5	4.0	4.5

La valeur de l'accélération est exprimée en m/s<sup>2</sup>. Elle varie selon la zone sismique et la classe de l'ouvrage concerné

Figure 50 – Prévention Valeur de l'accélération nominale aN défini par l'arrêté du 29 mai 1997 pour l'application des Normes PS92.



### 2.3.3. La construction parasismique

#### 2.3.3.1 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. En France, concernant la construction d'ouvrage à risque normal (autres que les ponts) en zone sismique, celle-ci doit se conformer aux normes techniques suivantes :

- Les règles de construction parasismique PS applicables aux bâtiments, dites **Règles PS 92** (norme NF P 06-013) ;
- Les règles de construction parasismique des maisons individuelles et des bâtiments assimilés, dites "**Règles PS-MI 89, révisées 1992**" (norme NF P 06-014). Ces règles forfaitaires sont une possibilité de dispense des règles PS92 sous certaines conditions pour les petits bâtiments de classe B.

Lors d'un tremblement de terre, le sol ondule selon des mouvements verticaux et latéraux. La construction parasismique 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 ; ou bien, monter le bâtiment sur des amortisseurs qui vont absorber une partie de l'énergie du mouvement du sol. Une troisième technique, plus récente, est aujourd'hui proposée : 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.

Une construction parasismique, c'est-à-dire construite dans le respect des règles parasismiques en vigueur, est donc avant tout une construction qui sauve la vie de ses occupants, en limitant les désordres structurels. Le respect de ces règles n'est pas une garantie à toute épreuve. En effet, si les désordres sont trop importants, la démolition du bâtiment peut être nécessaire.

Le principe de la construction parasismique repose sur cinq piliers indissociables :

**Le choix du site** d'implantation est primordial il faut notamment proscrire les terrains situés sur les reliefs et en haut des ruptures de pente. La zone de limite entre les sols rocheux et les sols mous est également à éviter.

**La conception architecturale** doit également être parasismique, non seulement en terme d'implantation judicieuse du bâtiment sur le site, mais également en terme de type d'architecture, qui doit favoriser un comportement adapté au séisme (forme, hauteur et élancement du bâtiment), Figure 51.

**Le respect des règles parasismiques** constitue une nécessité. Actuellement les règles PS 92 sont en vigueur en France. Pour la construction neuve, elles fixent les niveaux de protection requis par région et par type de bâtiment. Ces règles définissent également les modalités de calcul et de dimensionnement des différents organes de structure des constructions.

**La qualité de l'exécution** concerne non seulement les matériaux et éléments non structuraux (couplages et joints), mais également le respect des règles de l'art. La protection contre le feu est un point important de la construction parasismique, tout comme l'entretien. Toute modification ultérieure de la construction devra être conçue selon les mêmes exigences qualitatives.

**La maintenance** des bâtiments permet de garantir l'efficacité de la construction parasismique sur le long terme.

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

Pour les bâtiments et infrastructures particulières, dits à risque spécial tels que barrages, centrales nucléaires ou industries à risques, des règles particulières sont appliquées. Elles permettent de garantir la sécurité de la population pour des séismes de magnitude beaucoup plus forte que pour les bâtiments dits à risque normal.

Concernant les ouvrages à risque normal, le Code de la Construction et de l'Habitation définit les mesures de contrôle applicables à tous les bâtiments jusqu'à deux ans après l'achèvement des travaux (article L.151-1). A ce titre, le non respect des règles de construction parasismique peut faire l'objet de sanctions pénales (article L. 152-1 à 152-11).

### **2.3.3.2 Règles Eurocode 8 : nouvelles règles de construction parasismique**

#### Pourquoi cette évolution ?

Afin d'harmoniser les règles techniques de construction au sein de l'Union Européenne, la Commission européenne a lancé un vaste projet d'eurocodes structuraux, parmi lesquels l'Eurocode 8 relatif au calcul des structures pour leur résistance aux séismes.

L'Eurocode 8 s'applique au dimensionnement et à la construction de bâtiments et d'ouvrages de génie civil en zone sismique. Il fixe des exigences de performance et des critères de conformité. Ses objectifs en cas de séisme sont les suivants :

- protéger les vies humaines
- limiter les dégâts
- garantir l'opérationnalité des structures importantes pour la protection civile.

Au travers de sa transposition française, l'Eurocode 8 a vocation à remplacer les règles de construction parasismique actuellement en vigueur pour les ouvrages à risque normal.

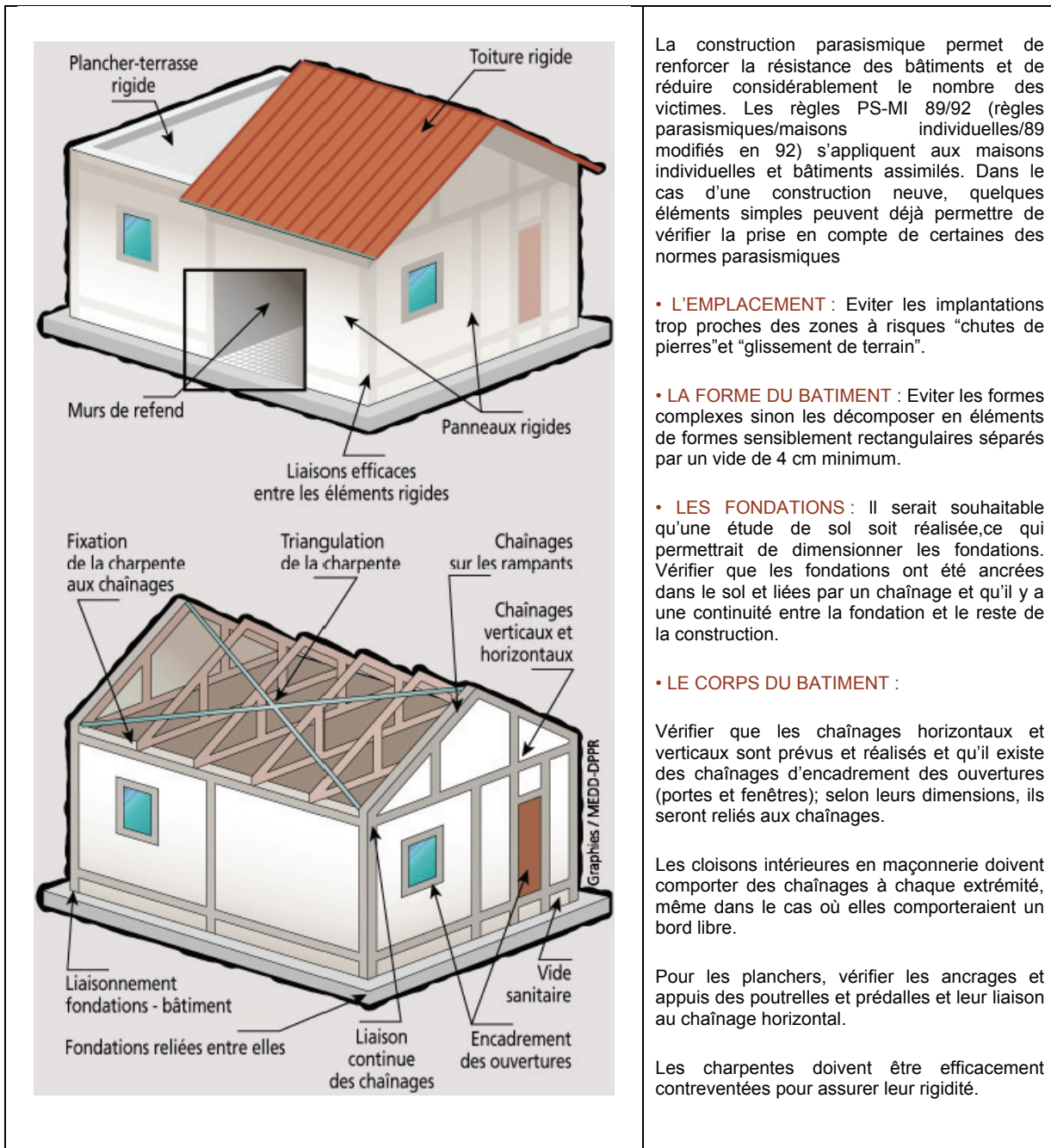
#### L'impact sur les constructions

Un changement de réglementation ou de norme requiert toujours un effort d'adaptation de la part des professionnels (maîtres d'ouvrage) et des collectivités territoriales les acteurs qui interviennent au niveau de la construction doivent donc assimiler la nouvelle réglementation.

Cependant, il sera mis en place une période transitoire de quelques années durant lesquelles les règles PS 92 sont toujours applicables sous certaines conditions. De plus, les règles simplifiées comme PS-MI 89/92 ou CP-MI Antilles seront aussi applicables pour les maisons individuelles.

Le nombre de communes concernées par la réglementation parasismique va considérablement augmenter en raison de l'extension des zones de sismicité faible ou modérée. Ceci ne signifie pas que la France connaît une sismicité accrue, mais que les connaissances scientifiques actuelles permettent de mieux cerner l'aléa sismique et donc de réévaluer l'étendue des zones exposées.

Cependant, les zones de sismicité ne commandent pas toujours le niveau de protection parasismique à apporter. Les plans de prévention du risque sismique (P.P.R.) peuvent affiner la réglementation au niveau local et imposer des règles plus adaptées que la réglementation nationale.



La construction parasismique permet de renforcer la résistance des bâtiments et de réduire considérablement le nombre des victimes. Les règles PS-MI 89/92 (règles parasismiques/maisons individuelles/89 modifiées en 92) s'appliquent aux maisons individuelles et bâtiments assimilés. Dans le cas d'une construction neuve, quelques éléments simples peuvent déjà permettre de vérifier la prise en compte de certaines des normes parasismiques

- **L'EMPLACEMENT** : Eviter les implantations trop proches des zones à risques "chutes de pierres" et "glissement de terrain".
- **LA FORME DU BATIMENT** : Eviter les formes complexes sinon les décomposer en éléments de formes sensiblement rectangulaires séparés par un vide de 4 cm minimum.
- **LES FONDATIONS** : Il serait souhaitable qu'une étude de sol soit réalisée, ce qui permettrait de dimensionner les fondations. Vérifier que les fondations ont été ancrées dans le sol et liées par un chaînage et qu'il y a une continuité entre la fondation et le reste de la construction.
- **LE CORPS DU BATIMENT** :

Vérifier que les chaînages horizontaux et verticaux sont prévus et réalisés et qu'il existe des chaînages d'encadrement des ouvertures (portes et fenêtres); selon leurs dimensions, ils seront reliés aux chaînages.

Les cloisons intérieures en maçonnerie doivent comporter des chaînages à chaque extrémité, même dans le cas où elles comporteraient un bord libre.

Pour les planchers, vérifier les ancrages et appuis des poutrelles et prédalles et leur liaison au chaînage horizontal.

Les charpentes doivent être efficacement contreventées pour assurer leur rigidité.

Figure 51 – Prévention : Quelques principes de base d'une construction parasismique (source MEDD/DPPR)

### **2.3.4. L'organisation des secours**

Avant la crise, une bonne organisation et préparation des secours est essentielle pour la gestion de la crise. En cas de phénomène grave, la mise en oeuvre rapide et efficace de tous les moyens disponibles dépendra de cette planification préalable des secours. En cas de crise, il s'agit alors de combattre le sinistre avec le maximum d'efficacité, en assurant la cohérence stratégique des décisions qui sont prises aussi bien pour la protection de la population que pour la résorption du risque et de la préparation de l'après crise.

En cas de crise, le signal d'alerte est lancé par le Maire ou le Préfet. Le rôle de ces derniers dépend de l'étendue de la catastrophe. Ils sont chargés d'organiser et de coordonner les secours déployés. La population doit quant à elle connaître les précautions minimales à prendre avant, pendant et après l'apparition du séisme.

#### **2.3.4.1 Le Maire**

Le Maire est responsable de la mise en oeuvre sur le territoire de sa commune de l'ensemble des mesures relatives "au bon ordre, à la sûreté et à la sécurité publique" (art. L.2212.2 et suivants du code général des collectivités territoriales). La responsabilité de l'organisation et de la coordination des secours lui incombe donc en premier lieu.

Le Plan Communal de Sauvegarde (PCS) est un outil de gestion de crise élaboré par les élus et destinés à assister ces derniers (procédures d'alerte, gestion des secours, mise en place d'un PC...) en cas de crise. Le PCS est prescrit dans toutes les communes concernées par un plan de prévention des risques ou un plan particulier d'intervention. Dans les autres cas, il est fortement conseillé au Maire de l'établir. Il vise à préparer au mieux l'organisation de secours surtout dans les premières heures de crise qui sont les plus intenses. Ce plan prévoit la mise en place d'une petite équipe de crise autour du Maire au sein d'un poste communal de commandement. Il doit également prévoir la transmission des informations vers la Préfecture. Le Maire peut aussi, si nécessaire, faire appel au Préfet représentant de l'État dans le département.

#### **2.3.4.2 Le Préfet**

Le Préfet intervient

- lorsque le problème concerne plusieurs communes du département et dès que la nature ou l'importance du sinistre le justifie.
- pour la mise en oeuvre de polices spéciales, en liaison avec l'émergence de risques nouveaux, en particulier technologiques.

Par ailleurs, le Préfet peut se substituer à un Maire défaillant dans l'exercice de ses pouvoirs de police.

Cette intervention peut se faire via la mise en place d'un plan ORSEC, Plan d'ORganisation de la direction des SECours, décidé par le Préfet. Le plan ORSEC fixe l'organisation des secours transports, circulation, accueil et protection des sinistrés, ainsi que la surveillance contre le pillage. A cette fin il permet la mobilisation des moyens publics et privés nécessaires à l'intervention.

Les secours sont répartis en 4 services

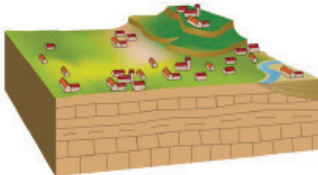
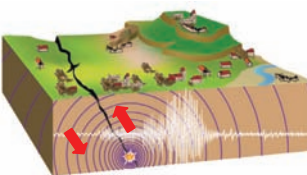
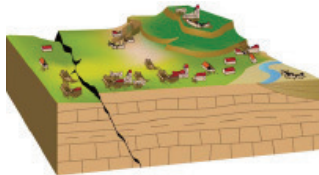
- Sapeurs pompiers : premiers secours et sauvetage,
- SAMU : soins médicaux et entraide,
- Services de Transmission de l'Intérieur : police et renseignement,
- DDE : travaux et transports.

En outre, il existe une veille permanente assurée par des centres départementaux, interrégionaux (ce sont les zones de défense) et national. Leur coordination est assurée par la direction de défense et de la Sécurité civile du ministère de l'Intérieur.

#### **2.3.4.3      *Consignes « avant, pendant et après » l'occurrence d'un séisme***

Un certain nombre de consignes générales à suivre « avant, pendant et après » le phénomène ont été définies



<p style="text-align: center;"><b>Avant</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Pendant</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Après</b></p> 
<p><u>Consignes générales</u></p> <p><b>s'informer en mairie</b> des risques encourus, des consignes de sauvegarde ; (consulter les DDRM, DCS, DICRIM, PPR),</p> <p><b>organiser</b> le groupe dont on est responsable, discuter en famille des mesures à prendre si une catastrophe survient (protection, évacuation, points de ralliement) ;</p> <p><b>simulations</b> y participer ou les suivre, en tirer les conséquences et enseignements</p> <p><b>prévoir les équipements minimum</b>; un poste de radio et des piles neuves, une lampe de poche puissante, un manuel et une trousse de premiers secours, quelques provisions alimentaires, de l'eau potable.</p>	<p><u>Consignes générales</u></p> <p><b>s'informer</b> écouter la radio, les premières consignes étant données par Radio France ;</p> <p><b>informer</b> le groupe dont on est responsable ;</p> <p><b>ne pas</b> aller chercher les enfants à l'école.</p>	<p><u>Consignes générales</u></p> <p><b>s'informer</b> écouter et suivre les consignes données par la radio et les autorités ;</p> <p><b>informer</b> les autorités de tout danger observé ;</p> <p><b>apporter une première aide</b> aux voisins, penser aux personnes âgées et handicapées.</p> <p>se mettre à la disposition des secours.</p> <p><b>évaluer</b> les dégâts, les points dangereux et s'en éloigner.</p>
<p><u>Consignes spécifiques « séisme »</u></p> <p>selon le cas, construire en tenant compte des <b>règles parasismiques</b> (vérifier s'il existe un PPR au niveau de la commune),</p> <p><b>repérer</b> les points de coupure du gaz, eau, électricité ;</p> <p><b>fixer</b> les appareils et les meubles lourds ;</p> <p>Repérer un endroit où l'on pourra se mettre à l'abri.</p>	<p><u>Consignes spécifiques « séisme »</u></p> <p>Rester où l'on est</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>à l'intérieur se mettre près d'un mur, une colonne porteuse ou sous des meubles solides, s'éloigner des fenêtres ;</li> <li>à l'extérieur ne pas rester sous des fils électriques ou sous ce qui peut s'effondrer (ponts, corniches, toitures...);</li> </ul> <p>en voiture s'arrêter et ne pas descendre avant la fin des secousses.</p> <p><b>Se protéger</b> la tête avec les bras</p> <p>Ne pas allumer de flamme.</p>	<p><u>Consignes spécifiques « séisme »</u></p> <p>après la première secousse, <b>se méfier</b> des répliques il peut y avoir d'autres secousses ;</p> <p><b>ne pas prendre</b> les ascenseurs pour quitter un immeuble ;</p> <p><b>vérifier</b> l'eau, l'électricité en cas de fuite, ouvrir les fenêtres et les portes, se sauver et prévenir les autorités.</p> <p><b>s'éloigner</b> des zones côtières, même longtemps après la fin des secousses, en raison d'éventuel raz-de-marée</p>

## 2.3.5. L'indemnisation

### 2.3.5.1 *La garantie « catastrophes naturelles »*

La loi n° 82-600 du 13 juillet 1982 modifiée, relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles (art. L 125-1 à L 1256 du Code des assurances) a fixé pour objectif d'indemniser les victimes de catastrophes naturelles en se fondant sur le principe de solidarité nationale.

Pour que le sinistre soit couvert au titre de la garantie « catastrophes naturelles », il faut que l'agent naturel en soit la cause directe et qu'il soit d'intensité anormale. De plus, et c'est très important, **les victimes doivent avoir souscrit un contrat d'assurance** garantissant les dommages d'incendie ou les dommages aux biens ainsi que, le cas échéant, les dommages aux corps de véhicules terrestres à moteur. Cette garantie est étendue aux pertes d'exploitation, si elles sont couvertes par le contrat de l'assuré.

L'état de catastrophe naturelle, ouvrant droit à la garantie, est constaté par un arrêté interministériel (des ministères de l'Intérieur et de l'Économie et des Finances) qui détermine les zones et les périodes où s'est située la catastrophe, ainsi que la nature des dommages résultant de celle-ci et couverts par la garantie (article L 125-1 du Code des assurances).

Les TOM, dont la Polynésie française, demeurent hors du champ d'application de la loi de 1982.

### 2.3.5.2 *Le fonds de prévention des risques naturels majeurs (Fonds Barnier)*

A l'origine, le fonds de prévention des risques majeurs ou Fonds Barnier a été créé par la loi du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement et avait pour but de financer l'expropriation de biens exposés à certains risques naturels menaçant gravement des vies humaines. Il est principalement alimenté par une part des primes pour la couverture du risque de catastrophes naturelles figurant dans les contrats d'assurances.

Le décret du 12 janvier 2005 a élargi les conditions d'utilisation du Fonds Barnier. Il est désormais possible d'avoir recours au fonds pour contribuer au financement des mesures suivantes

- l'acquisition amiable par l'Etat, une commune ou un groupement de communes de biens **fortement sinistrés** par une catastrophe naturelle,
- l'acquisition amiable par l'Etat, une commune ou un groupement de communes de biens **exposés à certains risques** naturels majeurs menaçant gravement des vies humaines,

- les **mesures de réduction de la vulnérabilité** prescrites par un plan de prévention des risques (PPR) pour des biens existants en zone à risque,
- **les études et les travaux de prévention contre les risques** naturels à maîtrise d'ouvrage des collectivités territoriales dotées d'un PPR.

Pour les collectivités territoriales, ces subventions s'élèvent à 50% pour les études et 20% pour les travaux. Pour les propriétaires, le financement des études et travaux de prévention s'effectue à hauteur de 40 % des dépenses éligibles pour les biens à usage d'habitation ou à usage mixte et de 20% pour les biens à usage professionnel.



## 2.4. GLOSSAIRE

accélération maximale	<i>Pour un site donné, valeur maximale de l'accélération mesurée sur les composantes horizontales de l'accélérogramme en un point donné. Son unité de mesure est le m/s<sup>2</sup>.</i>
accélération nominale	<i>Valeur d'accélération servant à caler les spectres de réponse dans la réglementation française (aN). Elle n'a pas de signification physique directe. Son unité de mesure est le m/s<sup>2</sup>.</i>
accélérogramme	<i>Enregistrement par un accéléromètre de l'accélération du sol pendant un séisme.</i>
accéléromètre	<i>Sismomètre qui mesure les accélérations du sol en fonction du temps.</i>
affleurement	<i>Lieu où les roches qui forment le sous-sol affleurent à la surface sans être masquées par des formations superficielles de type éboulis, alluvions, sables éoliens, etc.</i>
aléa	<i>Evènement menaçant ou probabilité d'occurrence, dans une région et au cours d'une période données, d'un phénomène pouvant engendrer des dommages.</i>
aléa sismique	<i>Possibilité pour une région ou un site d'être exposés à une secousse sismique de caractéristiques données, exprimées autant que possible sous forme de paramètres tels que intensité macrosismique, accélération, vitesse, déplacement, spectre du signal temporel.</i>
anthropique	<i>Terme employé pour tout ce qui est relatif à l'espèce humaine.</i>
asthénosphère	<i>Couche du globe terrestre située sous la lithosphère, c'est la partie du manteau supérieur compris entre 70 (à 150 km) et 700 km de profondeur. Il s'agit de la partie plastique du manteau supérieur. Du grec asthenos, sans résistance.</i>
coefficient d'amplification	<i>Coefficient multiplicateur appliqué dans la définition de l'action sismique pour tenir compte de l'effet topographique.</i>
croûte terrestre	<i>Partie la plus superficielle du globe terrestre. Elle comprend la croûte continentale (épaisse de 30 à 70 km) et la croûte océanique (épaisse de 10 km en moyenne). Elle recouvre le manteau supérieur. La limite entre la base de la croûte et la partie rigide du manteau supérieur correspond au Moho.</i>
domaine sismotectonique	<i>Le plus souvent délimité par des accidents tectoniques, il correspond à un domaine structural caractérisé par un type de déformation et un niveau de sismicité considéré homogène en tout point.</i>
échelle de Richter	<i>Echelle de magnitude des séismes, mise au point en 1930 par C.F. Richter. Elle n'a pas, de par sa définition, de limite théorique supérieure, ni inférieure. On estime cependant qu'une valeur limite doit exister. La magnitude des plus forts séismes connus à ce jour ne dépasse pas 9,5 (séisme du Chili en 1960).</i>
échelle MSK	<i>Echelle d'intensité des séismes, mise au point en 1964 par Medvedev, Sponheuer et Karnik. L'échelle d'intensité qui est utilisée actuellement en Europe est l'échelle EMS 98 (European Macroseismic Scale 98).</i>

effet de site	<i>Amplification (cas général) ou atténuation du mouvement du sol, causée par les caractéristiques locales du site (topographie, géologie...).</i>
effet induit	<i>Grand mouvement du sol ou de l'eau déclenché du fait de la vibration sismique.</i>
éléments exposés	<i>Personnes, biens, activités, moyens, patrimoines susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel.</i>
EMS 98 Degrés de dommages	<i>L'EMS98 (European Macroseismic Scale) définit 5 degrés de dommages aux constructions 1 -dégâts négligeables, 2 -dégâts modérés, 3 -dégâts sensibles à importants, 4 -dégâts très importants, 5 –effondrement partiel ou total.</i>
EMS 98 Classes de vulnérabilité	<i>L'EMS98 (European Macroseismic Scale) classe les bâtiments en 6 niveaux (A, B, C, D, E et F) en fonction de leur vulnérabilité, avec classe A, la plus vulnérable, à classe F, la moins vulnérable.</i>
EMS 98 Échelle macrosismique	<i>L'EMS98 correspond à une nouvelle échelle d'intensité macrosismique. L'intensité est évaluée en fonction de la répartition qualitative des dommages (de type : quelques , rares, beaucoup) et cela en fonction des différentes classes de vulnérabilité de bâtiments.</i>
enjeux	<i>Éléments exposés et leur valeur.</i>
épicentre (d'un séisme)	<i>Point de la surface du globe situé à la verticale du foyer d'un séisme.</i>
évaluation déterministe de l'aléa sismique	<i>Détermination des caractéristiques de la secousse sismique maximale plausible en un site (intensité macrosismique, paramètres de mouvements du sol, spectre de réponse...)</i>
évaluation probabiliste de l'aléa sismique	<i>Détermination des probabilités de dépassement ou non dépassement en un site et au cours d'une période de référence (probabilités annuelles, par exemple), de valeurs de caractéristiques de l'intensité d'une secousse sismique (intensité macrosismique ou paramètres de mouvements du sol accélération, vitesse, déplacement).</i>
faille	<i>Plan de rupture qui divise un volume rocheux en deux compartiments et le long duquel les deux compartiments ont glissé l'un par rapport à l'autre. Les failles peuvent avoir des tailles "continentales" (plus de 1000 km), jusqu'à des tailles d'ordre décimétrique (visibles dans les carrières ou sur le bord des routes).</i>
faille active (ou faille sismogène)	<i>Faille sur laquelle une rupture et un glissement se sont produits à une période récente (géologique) et dont on présume qu'elle pourrait engendrer un séisme au cours d'une nouvelle et future rupture.</i>
foyer (ou hypocentre) du séisme	<i>Zone où s'est initialisée la rupture de la croûte à l'origine du séisme.</i>
intensité d'un séisme (ou intensité macrosismique)	<i>Caractérise la force d'un séisme par cotation des effets d'un séisme sur les hommes, les structures et l'environnement et cela en un lieu donné à la surface. L'intensité en un point dépend non seulement de la taille du séisme (magnitude) mais aussi de la distance au foyer, de la géologie locale et de la topographie.</i>
isoséiste	<i>Courbe reliant les lieux ayant la même intensité macrosismique..</i>



liquéfaction	<i>Transformation momentanée sous l'effet d'une secousse sismique des sols (généralement sables ou vases) saturés en eau en un fluide sans capacité portante.</i>
lithosphère	<i>Ensemble formé de la croûte et de la partie supérieure rigide du manteau, la lithosphère est découpée en plaques tectoniques qui sont en mouvement sur l'asthénosphère (partie plastique du manteau supérieur).</i>
magnitude	<i>Permet d'estimer l'énergie libérée par un séisme à partir des enregistrements sur les sismographes. La magnitude peut être corrélée avec des grandeurs physiques associées à la source, comme la taille du plan de faille ou l'énergie libérée sous forme d'ondes sismiques.</i>
manteau	<i>Couche terrestre située sous la croûte terrestre, constituée, du sommet vers la base, d'un manteau supérieur avec une couche rigide et puis plastique (asthénosphère), et d'un manteau inférieur solide. Sous le manteau se trouve le noyau terrestre.</i>
microzonage sismique	<i>Zonage sismique établi généralement aux échelles 1/5 000 à 1/15 000, sur l'ensemble ou une partie d'un territoire communal. Le microzonage sismique tient compte du mouvement sismique au rocher (aléa régional) et des modifications de ce mouvement en fonction des conditions locales (effets de site et effets induits). Les techniques mises en œuvre pour cette cartographie peuvent être plus ou moins complexes selon les moyens impartis, les connaissances géologiques et sismiques initiales et les enjeux.</i>
moment sismique	<i>Concept récent introduit par les sismologues pour décrire un séisme de façon mécanique, le moment sismique (<math>M_0</math>) correspond au produit d'une constante élastique (module élastique de cisaillement, <math>\mu</math>), par le glissement moyen qui s'est produit sur la faille (<math>D</math>), et par la surface de la faille (<math>S</math>). Il est mesuré en Newton mètres. La magnitude est une mesure logarithmique du moment sismique.</i>
néotectonique	<i>Discipline de la géologie qui vise plus particulièrement à étudier les déformations tectoniques des terrains ayant eu lieu ces deux derniers millions d'années (période Quaternaire).</i>
normes de construction parasismique	<i>Ensemble de règles de construction destinées aux bâtiments afin qu'ils résistent le mieux possible aux séismes.</i>
paléosismicité	<i>Discipline qui concerne la recherche des traces dans le sol de séismes anciens et leur analyse. Il s'agit généralement de travaux menés de pairs avec ceux de la néotectonique.</i>
pendage d'une faille	<i>Représente l'inclinaison du plan de faille par rapport à l'horizontale.</i>
période de retour	<i>Intervalle de temps moyen entre deux occurrences successives d'un phénomène. Dans le cas d'un modèle probabiliste de Poisson, on utilise souvent pour les séismes et les bâtiments courants une période de retour de 475 ans, ce qui correspond à une probabilité d'occurrence de 10% en 50 ans.</i>
plaque tectonique	<i>La couche supérieure rigide (lithosphère) de notre planète est découpée en une douzaine de grandes plaques et de nombreuses petites. Ce sont ces entités qui sont mobiles et entraînent les continents dans leur déplacement.</i>
rejet d'une faille	<i>Mesure du décalage qui s'est produit entre les deux compartiments séparés par la faille. Il peut avoir une composante soit verticale, soit horizontale, soit les deux (mouvement composite).</i>

réplique	<i>Secousse sismique de magnitude plus faible succédant au séisme dit «principal» et dont le foyer se trouve à proximité sur le même plan de faille.</i>
risque	<i>Le risque est le croisement de l'aléa avec les enjeux et leur vulnérabilité. Il peut être exprimé sous la forme de a) pourcentage de pertes en vies humaines et blessés, b) pourcentage de dommages aux biens et, c) atteintes à l'activité économique de la zone analysée.</i>
risque majeur	<i>Menace d'une agression d'origine naturelle ou technologique dont les conséquences pour la population sont dans tous les cas tragiques en raison du déséquilibre brutal entre besoins et moyens de secours disponibles.</i>
scénario de risque sismique	<i>Analyse globale des conséquences (dommages corporels et matériels) d'un évènement sismique d'intensité donnée sur une zone d'étude prédéfinie.</i>
séisme de référence	<i>Séisme dont les caractéristiques (magnitude, intensité, profondeur focale, mécanisme) seront celles utilisées pour la prise en compte de l'aléa dans le calcul du risque sismique d'une zone donnée (site ou région).</i>
signal vibratoire	<i>Mouvement oscillatoire du sol soumis à un séisme.</i>
sismologie (ou seismologie)	<i>Etude des séismes (tremblements de terre) et plus généralement la propagation des ondes à l'intérieur de la Terre.</i>
sismomètre	<i>Appareil permettant de mesurer les mouvements du sol à l'aide d'un capteur mécanique.</i>
sismotectonique	<i>Analyse des relations entre les structures géologiques actives et la sismicité. Elle conduit à identifier des failles actives ou sismogènes et des domaines sismotectoniques.</i>
source sismique	<i>Caractérise le mécanisme physique à l'origine du séisme, c'est-à-dire la rupture sur le plan de faille au niveau du foyer sismique.</i>
spectre de réponse	<i>Utilisé par les ingénieurs pour caractériser le système de forces (ou action sismique) qui s'applique à une structure lors d'un séisme. Il s'exprime par un graphe qui donne la réponse, en terme d'accélération, de vitesse ou de déplacement, d'un oscillateur simple en fonction de la période T, ou de son inverse, la fréquence f.</i>
subduction	<i>Processus d'enfoncement d'une plaque tectonique sous une autre plaque de densité plus faible, en général une plaque océanique sous une plaque continentale ou sous une plaque océanique plus récente</i>
système de structures sismogènes	<i>Ensemble de failles sismogènes localement proches et à comportement dynamique et niveau de sismicité comparables.</i>
tectonique des plaques	<i>La tectonique des plaques (d'abord appelée dérive des continents) est le modèle actuel du fonctionnement interne de la Terre, c'est le déplacement en surface des plaques lithosphériques sous l'effet des cellules de convection qui animent l'asthénosphère, c'est-à-dire des mouvements ascendants et descendants produits sous la lithosphère dans le manteau plastique du fait de la chaleur dégagée par la désintégration radioactive de certains éléments chimiques. Alfred Wegener (1880 –1930) est le premier inventeur de cette théorie.</i>

tsunami	<i>En japonais, tsunami vient de tsu «port » et nami «vague ». C'est une onde provoquée par un rapide mouvement d'un grand volume d'eau. Au niveau de la côte, le tsunami peut générer un raz de marée. Un tsunami peut être déclenché par la brusque dénivellation du fond de la mer du fait de la rupture sismique d'une faille, ou bien par un mouvement de terrain sous marin ou côtier ou encore une éruption volcanique sous marine.</i>
vulnérabilité	<i>Caractérise la fragilité d'un élément exposé au phénomène sismique. On l'exprime par une relation entre des niveaux de dommages et des niveaux d'agression sismique (courbe de vulnérabilité). On peut distinguer une vulnérabilité physique (ou structurelle), humaine, fonctionnelle, économique, sociale, ...</i>
zonage sismique	<i>Division d'un territoire en zones supposées homogènes s'agissant de leur niveau d'aléa sismique (séisme de référence et, selon le cas, période de retour correspondante).</i>

## 2.5. QUELQUES REFERENCES

### Sites internet :

Ecole et Observatoire des sciences de la Terre : <http://eost.u-strasbg.fr>

Institut de Physique du Globe : <http://www.ipgp.jussieu.fr>

INSU-CNRS : <http://www.insu.cnrs.fr>

USGS, séismes : <http://pubs.usgs.gov/gip/earthq1/index.html>

BRGM : <http://www.brgm.fr/>

Sisfrance : <http://www.sisfrance.net/>

Azurséisme : <http://www.azurseisme.com/>

Neopal (Néotectonique et paléosismicité) : <http://www.neopal.net/>

Réseau sismologique des Alpes : <http://sismalp.obs.ujf-grenoble.fr/>

Réseau Nationale de Surveillance Sismique : <http://renass.u-strasbg.fr/>

Bureau central sismologique français (BCSF) : <http://www.seisme.prd.fr/>

Centre sismologique Euro-Méditerranéen : <http://www.emsc-csem.org/>

Echelle EMS98, dossier Europe : [http://www.gfz-potsdam.de/pb5/pb53/projects/ems/fr/index\\_fr.htm#Table%20des%20matières](http://www.gfz-potsdam.de/pb5/pb53/projects/ems/fr/index_fr.htm#Table%20des%20matières)

Site du ministère de l'Environnement et du Développement Durable sur les risques majeurs : <http://www.prim.net>

Association française du génie parasismique : <http://www.afps-seisme.org>

Mise à disposition par le Gouvernement des principales normes juridiques et données de la jurisprudence françaises : <http://www.legifrance.gouv.fr/>

Site dédié à l'appui des communes pour la prévention des risques :  
<http://www.securite-commune-info.fr/index.php>

### Ouvrages :

Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, DPPR/BICI, 1989, *Procerisq, procédures et réglementations applicables aux risques technologiques et naturels majeurs*.

Ministère de l'Intérieur et de l'Aménagement du Territoire, direction de la Sécurité civile, 1994, *Organisation-prévention et planification, Services de secours, volume 1 et 2*, Journal officiel de la République française, 934 pages.

*Guide méthodologique relatif aux Plans de Prévention des Risques naturels (PPR) – Risques sismiques - 2002-* Ed. La Documentation française.

*Guide de la conception parasismique des bâtiments*, Association Française de Génie Parasismique, Ouvrage collectif, Paris, Ed. Eyrolles, 2004.

Ministère de l'Écologie et du Développement durable, juin 2004, *Les séismes - dossier d'information*.

BRGM-EDF-IPSN, 1996, *Mille ans de séismes en France – Catalogue d'épicentres*, Ouest Editions, 75 pages,

*Les Tremblements de terre en France*, 1997, Ed. BRGM, 196 pages. (épuisé)

Revue sur les risques telluriques, BRGM, *Les risques telluriques*, n°4 de la Revue Géosciences, septembre 2006, Ed. BRGM.

Classeur « Le risque sismique en Provence – Alpes – Côte d'Azur », Co-édition Région-PACA, BRGM, DIREN-PACA avec la collaboration du CETE-Méditerranée, décembre 2006-12-04

## **Partie 2 :**

# **Dossiers régionaux**





### **3. Partie 2 : Dossiers régionaux**

Dans le cadre de ce rapport nous présentons le contexte sismique et tectonique de 6 régions françaises Guadeloupe, Martinique, Pyrénées (partie sud des régions Aquitaine, Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon), Alsace (ou Fossé rhénan), Provence-Alpes-Côte d'Azur et Rhône-Alpes.

Pour chacune de ces 6 régions, il est décrit

- les grands évènements sismiques historiques aujourd'hui recensés (date, lieu, dommages enregistrés),
- Les principales données de sismicité instrumentales (en fonction des données disponibles date, magnitude, profondeur focale, mécanisme au foyer),
- Le type de déformation tectonique actuel (normal, décrochant, inverse, composite),
- les principales structures sismogènes régionales (localisation, principaux traits géologiques).

De plus, il est fait état du zonage sismique règlementaire actuel et du futur zonage probabiliste au niveau de chacune de ces six régions.

Ces informations sont rassemblées sous la forme de documents cartographiques.

Les principales données utilisées concernent :

- la base de sismicité historique SisFrance, (BRGM, EDF, IRSN, 2005)
- le fichier de sismicité instrumentale BCSF,
- la carte géologique de la France à 1/1 000 000 (Edit, BRGM, 1996),
- la carte tectonique de la France à 1/1 000 000 (Edit. BRGM, 1980),
- La carte sismotectonique de la France à 1/1 000 000 (Edit. BRGM, 1981),
- La publication « Sismotectonique de la France métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique » aux Mémoires de la Société Géologique de France, 1993,
- le zonage sismique de la France métropolitaine pour l'application des règles parasismiques aux installations classées (Edit. BRGM, 1996),

- les études sismotectoniques régionales réalisées par le BRGM dans le cadre de ces actions de service public.

En préalable aux dossiers régionaux, nous présentons la situation de la métropole française dans le contexte sismotectonique méditerranéen, ainsi que celle des Antilles françaises dans le contexte caraïbes.

### **3.1. CONTEXTE SISMOTECTONIQUE DE LA FRANCE METROPOLITAINE**

Le bassin méditerranéen est le lieu de rencontre de deux grandes plaques continentales Afrique et Eurasie (Figure 52). Ce mouvement de convergence entre les 2 plaques a démarré il y a environ 70 millions d'années et se poursuit aujourd'hui. Il se traduit par des zones

- a) de subduction en Méditerranée centrale (arcs égéen et tyrrhénien),
- b) de collision en Méditerranée occidentale (chaîne de l'Atlas et chaînes alpines) et, plus localement,
- c) de décrochement (faille nord anatolienne) ou de distension (mer Égée).

Ce mouvement général de convergence augmente d'Ouest en Est, passant de 0,4 à 1 cm/an en Méditerranée occidentale à 3 à 4 cm/an en Méditerranée orientale. Ceci se traduit par une activité sismique plus soutenue et plus intense à l'Est du bassin méditerranéen.

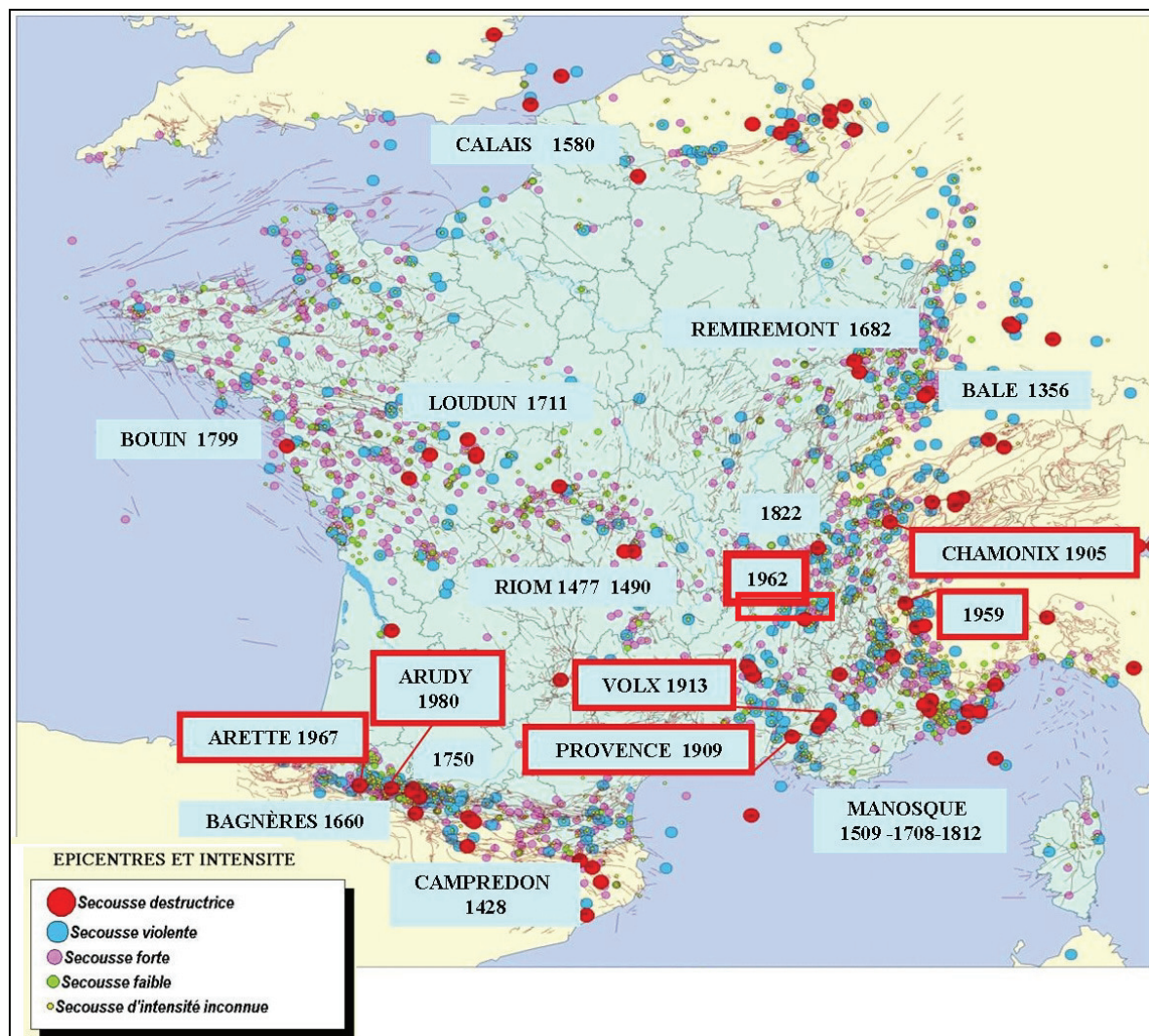
Concernant la métropole française, celle-ci est soumise à une déformation intraplaque continentale. Avec une sismicité qualifiée de faible à modérée. On y dénombre en moyenne chaque année une vingtaine de séismes de magnitude supérieure à 3,5 alors que plusieurs milliers sont ressentis dans de nombreux pays du bassin méditerranéen.

Néanmoins, même si la sismicité française métropolitaine, par les magnitudes attendues, ne peut être comparée à celle observée dans les zones plus sensibles de la planète, situées notamment en limite de frontières de plaques, la situation tectonique de la France ne la met pas à l'abri d'un tremblement de terre destructeur. En effet, depuis moins de 1000 ans, près d'une vingtaine de tremblements de terre destructeurs ont été recensés en France métropolitaine (Figure 53).



Figure 52 - Partie 2 - Schéma sismotectonique de la Méditerranée (d'après Terrier, 2006 – Rapport BRGM 53930-FR)





En encadré ROUGE, séismes destructeurs survenus au cours du XX ème siècle

Figure 53 - Partie 2 - Localisation des épicentres de séismes historiques en France métropolitaine

(d'après BRGM, EDF, IRSN, SisFrance, 2005)

Date	Localisation épacentrale	Région de l'épicentre	Intensité épacentrale	
18 octobre 1356	Jura suisse	Alsace	IX	
2 février 1428	Cerdagne (Puigcerda)	Espagne, Pyrénées Orientales		
18 février 1887	Ligurie (Riviera di Ponente)	Italie, Alpes maritimes		
21 juin 1660	Bigorre (Bagnères-de-Bigorre)	Pyrénées Centrales	VIII-IX	
11 juin 1909	Trévaresse (Lambesc)	Provence	VIII	
1 mars 1490	Limagne (Riom)	Auvergne		
23 juin 1494	Alpes niçoises (Roquebillière)	Alpes maritimes		
13 décembre 1509	Moyenne Durance (Manosque)	Alpes provençales		
20 juillet 1564	Alpes niçoises (La Bollène-Vésubie)	Alpes maritimes		
18 janvier 1618	Alpes niçoises (Coaraze)	Alpes maritimes		
15 février 1644	Alpes niçoises (Roquebillière)	Alpes maritimes		
12 mai 1682	Hautes Vosges (Remiremont)	Vosges		
14 août 1708	Moyenne Durance (Manosque)	Alpes provençales		
24 mai 1750	Bigorre (Juncalas)	Pyrénées centrales		
12 décembre 1855	Haut Verdon (Chasteuil)	Alpes provençales		
13 août 1967	Béarn (Arette)	Pyrénées occidentales		
21 novembre 2004	Guadeloupe (les Saintes)	Antilles		
29 juin 1477	Limagne (Riom)	Auvergne		VII-VIII
15 février 1657	Plateau de Sainte-Maure (Sainte-Maure)	Touraine		
6 octobre 1711	Loudunois (Loudun)	Poitou		
10 août 1759	Entre-deux-Mers	Bordelais, Guyenne		
9 janvier 1772	Gâtine (Parthenay)	Poitou		
23 janvier 1773	Tricastin (Clansayes)	Dauphiné		
25 janvier 1799	Marais breton (Bouin)	Pays nantais et vendéen		
20 mars 1812	Basse Durance (Beaumont-de-Pertuis)	Vaucluse		
19 février 1822	Bugey (Belley)	Bresse et Jura bressan		
20 juillet 1854	Lavedan (Argelès-Gazost)	Pyrénées centrales		
19 mai 1866	Laragne (La Motte-du-Caire)	Alpes provençales		
19 juillet et 8 août 1873	Tricastin (Châteauneuf-du-Rhône)	Dauphiné		
14 mai 1913	Moyenne Durance (Volx)	Alpes provençales		
30 novembre 1951	Haut Verdon (Chasteuil)	Alpes provençales		
5 avril 1959	Ubaye (Saint-Paul)	Alpes provençales		
25 avril 1962	Vercors (Corrençon-en-Vercors)	Dauphiné		
29 février 1980	Ossau (Arudy)	Pyrénées occidentales		

Figure 54 - Partie 2 - Liste des séismes historiques répertoriés en France métropolitaine et d'intensité épacentrale au moins égale à VII-VIII

(extrait de SisFrance, BRGM, EDF, IRSN, 2005)