









Dossiers de presse sur l'aléa sismique pour 6 régions françaises

Rapport final

BRGM/RP-56448-FR

Juin 2008

Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM 2006 PSP08ARN58

M. Terrier, F. Vermeersch, J. Rey Avec la collaboration de A. Roullé et G. Bertrand

Vérificateur :

Nom : J. Lambert

Date :

Signature :

Approbateur :

Nom : H. Modaressi

Date :

Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique, l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

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., Vermeersch F., Rey J. (avec la collaboration d'A. Roullé et G. Bertrand) (2008) – Dossiers de presse sur l'aléa sismique pour 6 régions françaises. Rapport BRGM/RP-56448-FR, 150 p, 93 fig.

© BRGM, 2008, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Ce rapport s'inscrit dans le cadre du Plan Séisme mis en œuvre par l'Etat français d'une part, dans le cadre des actions de service public du BRGM d'autre part.

Il est structuré en deux parties principales :

Partie 1 : Informations générales :

- Description du phénomène sismique,
- Aléa, vulnérabilité et risque sismique,
- Prise en compte de l'aléa sismique (prévention et réglementation sur le risque sismique),
- Glossaire.

Partie 2 : Dossier d'information sur l'aléa 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 régional présente le contexte sismique et tectonique et fait référence au zonage sismique règlementaire actuel ainsi qu'au zonage associé à l'application des EUROCODE 8.

Ce rapport est accompagné des fichiers numériques ayant permis l'établissement des cartes régionales présentées en partie 2, à savoir : failles, séismes historiques et instrumentaux, topographie, zonages sismiques actuel et associé à l'application des EUROCODE 8. Ces données sont compatibles avec l'échelle 1/1 000 000.

Ce rapport émanant d'une précédente étude (Terrier *et al.*, 2006) a été conçu pour éclairer les Médias sur le phénomène sismique et sur les actions de prévention actuellement menées par l'Etat français et ses collectivités.

Sommaire

1.	Introduction	. 13
	1.1. OBJECTIFS ET STRUCTURE DU RAPPORT	. 13
	1.2. RAPPEL SUR LES GRANDES CATASTROPHES NATURELLES DU XXEMI ET DEBUT XXI EME SIECLE	E . 13
2.	<u>Partie 1</u> : Notions sur le phénomène sismique et sur la prise en compte de l'aléa sismique	. 19
	2.1. DESCRIPTION DU PHENOMENE SISMIQUE	. 22
	2.1.1.Tectonique des plaques	. 22
	2.1.2. Faille	. 24
	2.1.3. Seisme	. 26
	2.1.4. Le cycle sistilique	. 30 31
	2.2. ALEA, VULNERABILITE ET RISQUE SISMIQUE	. 33
	2.2.1. Alea SISMIQUE	.33 ⊿3
	2.2.3. Risque sismique	. 4 3 . 48
	2.2.4. L'évaluation du risque sismique	. 49
	2.3. PRISE EN COMPTE DE L'ALEA SISMIQUE : PREVENTION ET REGLEMENTATION SUR LE RISQUE SISMIQUE	. 51
	ouvrages	. 53
	2.3.2. La construction parasismique	. 63
	2.3.3. L'organisation des secours	. 64
	2.3.4. L'indemnisation	. 67
	2.4. GLOSSAIRE	. 68
	2.5. QUELQUES REFERENCES	. 70
3.	Partie 2 : Aléa sismique : dossiers de presse régionaux	. 75
	3.1. CONTEXTE SISMOTECTONIQUE DE LA FRANCE METROPOLITAINE	. 77
	3.2. CONTEXTE SISMOTECTONIQUE DES CARAÏBES	. 79

3.3. DOSSIER DE PRESSE SUR LES PYRENEES3.3.1.Contexte sismotectonique des Pyrénées3.3.2.Zonages sismiques	
3.4. DOSSIER DE PRESSE SUR LA REGION PROVENCE-ALE3.4.1. Contexte sismotectonique de la région Provence-Alpe3.4.2. Zonages sismiques de la région Provence-Alpes-Côte	PES-COTE D'AZUR93 es-Côte d'Azur 93 e d'Azur 94
3.5. DOSSIER DE PRESSE SUR LA REGION RHONE-ALPES3.5.1. Contexte sismotectonique de la région Rhône–Alpes.3.5.2. Zonages sismiques.	105 105 107
3.6. DOSSIER DE PRESSE SUR LA REGION ALSACE3.6.1. Contexte sismotectonique de la région Alsace3.6.2. Zonages sismiques	117 117 118
3.7. DOSSIER DE PRESSE SUR L'ARCHIPEL GUADELOUPEL3.7.1. Contexte sismotectonique3.7.2. Zonages sismiques	EN127 127 130
3.8. DOSSIER DE PRESSE SUR LA MARTINIQUE3.8.1.Contexte sismotectonique3.8.2.Zonages sismiques	141 141 142

Liste des illustrations

Figure 1 – Les évènements naturels les plus catastrophiques de 1900 à 2006	16
Figure 2 – Le phénomène sismique	20
Figure 3 – La prévention du risque sismique	21
Figure 4 – Tectonique des plaques : Structure interne de la Terre (d'après MEDD, www.prim.net)	22
Figure 5 – Tectonique des plaques : Représentation schématique des trois types principaux de frontières de plaques	23
Figure 6 – Tectonique des plaques : Les principales plaques tectoniques	24
Figure 7 – Faille : Les 3 principaux types de contraintes associées aux failles	25
Figure 8 – Séisme : Représentation schématique de la rupture sismique d'une faille	26
Figure 9 – Séisme : Les plus forts séismes enregistrés depuis 1900 dans le monde	27

Figure 10 – Séisme : Les équivalences de l'échelle de Richter : magnitude, énergie , durée, rejet, longueur du plan de faille rompu, fréquence mondiale annuelle	27
Figure 11 – Séisme : Description de l'échelle d'intensité macrosismique EMS-98	29
Figure 12 – Le cycle sismique : accumulation progressive des contraintes jusqu'à la rupture du plan et l'apparition du séisme	30
Figure 13 – Catalogue de séismes : La base nationale SisFrance, page d'accueil du site http://www.sisfrance.net/	31
Figure 14 – Risque : Quelques séismes parmi les plus catastrophiques du dernier millénaire	32
Figure 15 – Aléa, vulnérabilité, risque : Représentation schématique de l'évaluation du risque sismique	36
Figure 16 – Aléa, vulnérabilité, risque : Les trois étapes d'évaluation de l'aléa sismique régional et local	37
Figure 17 – Aléa, vulnérabilité, risque : Analyse des conditions géologiques te topographiques locales pour le calcul des effets de site	38
Figure 18 – Aléa, vulnérabilité, risque : Types de configuration des effets de site directs d'un séisme	39
Figure 19 – Aléa, vulnérabilité, risque : Effets de site lithologiques. Vue d'un immeuble de plusieurs étages totalement détruit à Mexico en 1985 (@Cdt Fabre- Sécurité civile d'Avignon)	39
Figure 20 – Aléa, vulnérabilité, risque : Représentation schématique du phénomène de liquéfaction des sols (exemple d'un bâtiment à Adapazari lors du séisme de Kocaeli en Turquie, le 17 août 1999)	40
Figure 21 – Aléa, vulnérabilité, risque : Représentation schématique de mouvements de terrain déclenchés par la vibration sismique	40
Figure 22 – Aléa, vulnérabilité, risque : Exemple de mouvements de terrain déclenchés par la vibration sismique : archipel guadeloupéen (Antilles) après le séisme du 21 novembre 2004 (photos BRGM, S. Bès de Berc)	41
Figure 23 – Aléa, vulnérabilité, risque : Représentation schématique de la propagation de la vague tsunamigène d'origine sismique (d'après document MEDD-DPPR)	41
Figure 24 – Aléa, vulnérabilité, risque : Représentation schématique de la propagation de la rupture le long du plan de faille jusqu'à la surface du sol	42
Figure 25 – Aléa, vulnérabilité, risque : Séisme de Fairview Peak, 1954, (Etats Unis, Nevada) ; mouvement en distension d'une faille normale (Photo K. Steinbrugge)	42
Figure 26 – Vulnérabilité : Classification EMS 98 relative à la vulnérabilté des bâtiments en fonction du type de structures et du groupe principal correspondant	45
Figure 27 – Vulnérabilité : Echelle EMS 98, degrés de dommages relatifs aux constructions en maçonnerie	46
Figure 28 – Vulnérabilité : Echelle EMS 98, degrés de dommages relatifs aux constructions en béton armé	47
Figure 29 – Vulnérabilité : exemple de carte macrosismique : le séisme de Rambervillers du 22 février 2003.(BCSF)	48
Figure 30 – Risque : Principes d'évaluation d'un scénario de risque sismique	50

Figure 31 - Risque : Un exemple de scénario de risque sismique (Bouches-du-Rhône)	51
Figure 32 – Rôles du citoyen, du Maire, de l'Etat dans la prévention du risque sismique (d'après BRGM)	52
Figure 33 – Classement des cinq zones de sismicité du territoire national pour le zonage sismique dit « à risque normal »	54
Figure 34 – Prévention : Les principaux zonages sismiques français	59
Figure 35 – Prévention : L'actuel zonage sismique réglementaire de la France (Journal Officiel, décret n°91-461 du 14 mai 1991)	60
Figure 36 – Prévention : Le zonage sismique de la France, associé à l'application des Eurocode 8 (prochainement réglementaire)	61
Figure 37 – Prévention : Schéma illustrant la philosophie de la réglementation sismique française actuelle	62
Figure 38 – Prévention : Valeur de l'accélération nominale aN définit par l'arrêté du 29 mai 1997 pour l'application des Normes parasismiques de construction PS92	62
Figure 39 – Prévention : Quelques principes de base d'une construction parasismique (source MEDD/DPPR)	65
Figure 40 – Prévention : Organisation des secours	66
Figure 41 – Cartographie : légende concernant le tracé des failles	76
Figure 42 – Localisation des épicentres de séismes historiques en France métropolitaine	78
Figure 43 – Epicentres des séismes historiques (d'après BRGM, SisFrance-Antilles, 2007)	80
Figure 44 – Carte sismotectonique des Pyrénées	82
Figure 45 – Pyrénées : Schématisation des grands domaines structuraux constituants la chaîne pyrénéenne sur fond géologique (fond géologique d'après la carte géologique de la France, Edit. BRGM, 1996)	86
Figure 46 – Pyrénées : Localisation des principales failles actives dans les Pyrénées	86
Figure 47 – Pyrénées : Epicentres des séismes historiques dans les Pyrénées (d'après BRGM/EDF/IRSN SisFrance, 2007)	87
Figure 48 – Pyrénées : Magnitudes des séismes enregistrés entre 1981 et 2007 dans les Pyrénées (données BCSF)	87
Figure 49 – Pyrénées : Liste par ordre d'intensité décroissante des séismes dans les Pyrénées ou à proximité ayant atteint ou dépassé l'intensité VII (extrait de BRGM, EDF, IRSN, SisFrance, 2007)	88
Figure 50 – Pyrénées : Liste par ordre de magnitude décroissante des séismes dans les Pyrénées ou à proximité ayant atteint ou dépassé la magnitude 4,0 (extrait du fichier BCSF, période 1981-2007)	89
Figure 51 – Pyrénées : Zonage sismique règlementaire	90
Figure 52 – Pyrénées : Zonage sismique associé à l'application des Eurocode 8 (prochainement réglementaire)	90
Figure 53 – Provence-Alpes-Côte d'Azur : Carte sismotectonique	92

Figure 54 – Provence-Alpes-Côte d'Azur : Localisation des principales failles actives de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur	95
Figure 55 – Provence-Alpes-Côte d'Azur : Epicentres des séismes historiques localisés dans ou à proximité de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (d'après BRGM/EDF/IRSN, SisFrance, 2007)	96
Figure 56 – Provence-Alpes-Côte d'Azur : Magnitudes des séismes enregistrés depuis 1981 dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur ou à proximité (données BCSF)	96
Figure 57 – Provence-Alpes-Côte d'Azur : Liste par ordre d'intensité décroissante des séismes d'intensité épicentrale au moins égale à VII, et dont l'épicentre se trouve dans la région Provence-Alpes – Côte d'Azur (d'après SisFrance, BRGM, EDF, IRSN, 2007)	97
Figure 58 – Provence-Alpes-Côte d'Azur : Liste par ordre de magnitude décroissante des séismes de magnitude au moins égale à 3,5 et dont l'épicentre se trouve dans la région Provence-Alpes – Côte d'Azur (d'après, BCSF, période 1981 à 2006)	98
Figure 59 – Provence-Alpes-Côte d'Azur : 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)	99
Figure 60 – Provence-Alpes-Côte d'Azur : Zonage sismique règlementaire	100
Figure 61 – Provence-Alpes-Côte d'Azur : Zonage sismique associé à l'application des Eurocode 8 (prochainement réglementaire)	101
Figure 62 – Rhône - Alpes : Carte sismotectonique	104
Figure 63 – Rhône – Alpes : Localisation des principales failles actives	108
Figure 64 – Rhône – Alpes : Epicentres des séismes historiques (D'après BRGM/ EDF/IRSN,SisFrance, 2007)	108
Figure 65 – Rhône – Alpes : Magnitudes des séismes enregistrés depuis 1981 (données BCSF)	109
Figure 66 – Rhône – Alpes : Epicentres par orde décroissant d'intensité des séismes historiques localisés dans la région Rhône – Alpes et d'intensité égale ou supérieure à VII (extrait de SisFrance, BRGM, EDF, IRSN, 2007)	110
Figure 67 – Rhône - Alpes : Magnitudes par orde décroissant des séismes localisés dans la région Rhône – Alpes et de magnitude au moins égale à 3,5 (d'après BCSF, période 1981 à 2006)	111
Figure 68 – Rhône – Alpes : Zonage sismique règlementaire	112
Figure 69 – Rhône – Alpes : Zonage sismique associé à l'application des Eurocode 8 (prochainement réglementaire)	113
Figure 70 – Alsace : Carte sismotectonique	116
Figure 71 – Alsace : Localisation des principales failles actives de la région Alsace	119
Figure 72 – Alsace : Epicentres des séismes historiques (d'après BRGM/EDF/IRSN, SisFrance, 2007) de la région Alsace et départements proches	120
Figure 73 – Alsace : Magnitudes des séismes enregistrés depuis 1981 dans la région Alsace et départements proches (données BCSF)	120

Figure 74 – Alsace : Liste des séismes par ordre décroissant d'intensité localisés dans la région Alsace et départements voisins et ayant atteint ou dépassé l'intensité VI (extrait de SisFrance, BRGM, EDF, IRSN, 2007)	121
Figure 75 – Alsace : Liste par ordre décroissant de magnitude des séismes localisés dans la région Alsace et départements voisins et ayant atteint ou dépassé la magnitude 3,5 (d'après BCSF, période 1981 à 2006)	122
Figure 76 – Alsace : Zonage sismique règlementaire	123
Figure 77 – Alsace : Zonage sismique associé à l'application des Eurocode 8 (prochainement réglementaire)	124
Figure 78 – Guadeloupe : carte sismotectonique	126
Figure 79 – Guadeloupe : Localisation des principales failles au nord de l'arc des Petites Antilles (d'après Feuillet et al., 2002, modifié)	131
Figure 80 – Guadeloupe : Localisation des failles principales de l'archipel guadeloupéen (d'après Terrier et al., 2002, Feuillet et al., 2004)	132
Figure 81 – Guadeloupe : Localisation en profondeur des séismes aux environs de la Guadeloupe (d'après Geo-Ter, 2002, modifié)	133
Figure 82 – Guadeloupe : Localisation des épicentres de séismes historiques (d'après BRGM, SisFrance-Antilles, 2007)	134
Figure 83 – Guadeloupe : Magnitudes de séismes enregistrées entre janvier 1981 et décembre 1999 (d'après IPG-P) et séisme du 21/11/2004	135
Figure 84 – Guadeloupe : Liste par ordre décroissant d'intensité des séismes historiques localisés dans un rayon de 150 km environ autours de l'archipel guadeloupéen et d'intensité au moins égale à VI (d'après BRGM, SisFrance-Antilles, 2007)	136
Figure 85 – Guadeloupe : Séismes de magnitude égale ou supérieure à 5.0 enregistés dans un rayon de 200 km environ autour de l'archipel guadeloupéen entre 1994 et 2005 (d'après IPG-P),	137
Figure 86 – Martinique : carte sismotectonique	140
Figure 87 – Martinique : Localisation des principales failles au centre de l'arc des Petites Antilles	143
Figure 88 – Martinique : Localisation des principales failles (d'après Terrier et al., 2002)	144
Figure 89 – Martinique : Localisation en profondeur des séismes aux environs de la Martinique (d'après Geo-Ter, 2002, modifié)	145
Figure 90 – Martinique : Localisation des épicentres des séismes historiques (d'après BRGM, SisFrance-Antilles, 2007)	146
Figure 91 – Martinique : Magnitudes de séismes enregistrées entre janvier 1994 et septembre 2005 (d'après IPG-P)	147
Figure 92 – Martinique : Liste par ordre décroissant d'intensité des séismes historiques d'intensité au moins égale à VI et localisés dans un rayon de 200 km autours de l'île (d'après BRGM,SisFrance-Antilles, 2007)	148

1. Introduction

1.1. OBJECTIFS ET STRUCTURE DU RAPPORT

Ce rapport s'inscrit dans le cadre des études relatives au Plan Séisme résultant de la politique de prévention du risque sismique menée par l'Etat français en association avec ses collectivités territoriales. L'objectif de cette étude est de fournir des informations à caractère général sur le phénomène sismique et de les situer dans le contexte géologique propre à quelques régions françaises.

Par exemple, la Guadeloupe et la Martinique se caractérisent par une sismicité relativement élevée et fréquente. Pour cette raison ces deux départements sont les seuls classés en zone de **forte sismicité** au regard du zonage sismique de la France (cf. 2.3.1).

En revanche, la Métropole connaît une sismicité moins forte mais cependant non négligeable. Les Alpes, les Pyrénées, la Provence, l'Arrière-pays niçois et l'Alsace, se caractérisent par une **sismicité moyenne** tandis que l'Auvergne, la vallée du Rhône, le Grand Ouest (Massif Armoricain) et le Nord se caractérisent par une **sismicité modérée** (cf. 2.3.1).

Deux parties structurent ce rapport :

<u>Partie 1</u> : Explication du phénomène sismique, terminologie usuelle, informations générales d'une part ; Information et formation, aménagement du territoire, constructions parasismiques, organisation des secours d'autre part.

<u>Partie 2</u>: Présentation du contexte sismotectonique et du zonage sismique relatif à 6 régions françaises.

1.2. RAPPEL SUR LES GRANDES CATASTROPHES NATURELLES DU XXEME ET DEBUT XXI EME SIECLE

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 catastrophes naturelles du siècle passé et de ces 6 dernières années, force est de constater que les séismes constituent les phénomènes les plus meurtriers. Dans la dernière décennie, les séismes ont fait plus de 350 000 morts dans le monde (en comptant le tsunami déclenché par le séisme au large de Sumatra en décembre 2004).

8 mai 1902	France: Eruption 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. Avezzano ; 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, Louisane ; 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 Andrah 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	Taïwan: 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. Gujurat ; 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 VItava 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	

Figure 1 – Les évènements naturels les plus catastrophiques de 1900 à 2006

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



Notions sur le phénomène sismique et sur la prise en compte de l'aléa sismique

Dossiers de presse sur l'aléa sismique pour 6 régions françaises

2. <u>Partie 1</u> : Notions sur le phénomène sismique et sur la prise en compte de l'aléa sismique

Cette première partie du rapport est structurée en 5 chapitres :

- 2.1 : Origine tectonique des séismes et description du phénomène sismique ;
- 2.2 : Evaluations de l'aléa, de la vulnérabilité et du risque sismique ;
- 2.3 : Actions conduites en France pour la prévention contre les séismes ;
- 2.4 : Glossaire ;
- 2.5 : Quelques références.

En préalable, deux fiches synthétiques sur le phénomène sismique et la prise en compte de l'aléa sismique sont présentées ci-après (Figure 2, Figure 3).



Figure 2 – Le phénomène sismique

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 prendre des dispositions pour minimiser ses conséquences sur le plan humain et sur le plan économique.

Actuellement, on ne sait pas prévoir quand et où se produiront les prochains séismes. Ainsi, la prévention du risque consiste à éliminer les problèmes avant qu'ils ne se posent en termes de catastrophe et diminuer ainsi le risque en diminuant les dégâts. 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.



Figure 3 – La prévention du risque sismique

2.1. DESCRIPTION DU PHENOMENE SISMIQUE

2.1.1. Tectonique des plaques

La planète est constituée de plusieurs couches superposées qui se distinguent par leur état solide, liquide ou plastique (élasticité), et par leur densité. En partant du centre vers la surface de la Terre, on trouve les 3 entités suivantes : noyau, manteau et croûte (Figure 4).



Figure 4 – Tectonique des plaques : Structure interne de la Terre (d'après MEDD, <u>www.prim.net</u>)

- Le **noyau** est constitué de 2 parties : le noyau interne solide et le noyau externe liquide ; le centre de la Terre se trouve à 6 370 km de profondeur.

- Le manteau est constitué de 2 parties :

- la **lithosphère** (partie solide et supérieure du manteau, entre 70 et 150 km intégrant aussi la croûte terrestre) ;
- **l'asthénosphère** (partie plastique du manteau supérieur et partie solide du manteau inférieur, entre 700 et 2900 km de profondeur).

Dans le manteau, la désintégration radioactive de certains éléments chimiques produit un flux de chaleur à l'origine des « **mouvements de convection** », ces derniers animant des déformations sur la lithosphère rigide. Il en résulte alors un **découpage de la lithosphère en plaques rigides** qui bougent les unes par rapport aux autres en glissant sur l'asthénosphère.

Le glissement de ces plaques lithosphériques sur l'asthénosphère (Figure 5) induit des mouvements en distension ou éloignement (zone de divergence), en compression ou rapprochement (zone de convergence), en coulissage (zone transformante) entre les plaques.



Figure 5 – 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)

A l'échelle mondiale, la lithosphère est ainsi découpée en **12** grandes plaques et d'autres plus petites (Figure 6). C'est à la frontière des plaques que l'activité sismique est la plus intense.



Figure 6 – Tectonique des plaques : Les principales plaques tectoniques (d'après <u>http://www.dinosoria.com/climatique/carte tec gr.jpg</u>)

2.1.2. Faille

Les déplacements des plaques lithosphériques s'effectuent par l'intermédiaire de mouvements le long de plans de faille, là où se concentrent les forces tectoniques.

Les failles sont des <u>cassures</u> de la lithosphère terrestre rigide ; elles se matérialisent par un <u>déplacement</u> relatif de deux blocs le long du plan de faille, selon trois types de contraintes (Figure 7) :

- mouvement en compression résultant d'une faille inverse ou chevauchante ;

- mouvement en distension résultant d'une faille normale ;
- mouvement en coulissage résultant d'une faille décrochante.

Faille inverse ou chevauchante	Faille inverse ; séisme de Spitak, 1988, Arménie, (photo BROM P. Mouroux)	Faille inverse; séisme d'El Asnam, 1959, Algérie. (photo IPG-P, R. Armio)
Faille normale Distension	Faile normale en Guadeloupe (photo BRGM, G. Bertrand)	Faille normale ; séisme d'Edgoumbe, 1988, Nouvelle-Zélande (photo XXX)
Faille décrochante.	Faille décrochante ; séisme de Turquie, 1999 ; rejet d'environ 3.m., à Gălcik, (photo BRGM. P. Meuroux)	Faille décrochante: Séisme de Landers, 1992, Californie. (photo K. Sieh, CALTECH)

Figure 7 – Faille : Les 3 principaux types de contraintes associées aux failles

2.1.3. Séisme

Un séisme (ou tremblement de terre) est provoqué par une rupture brutale des roches le long d'un plan de faille. Cette rupture provoque des ondes sismiques et leur passage à travers le sol entraîne des vibrations qui peuvent être ressenties à la surface (Figure 8).



Figure 8 – 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)

Echelle de magnitude

La puissance d'un tremblement de terre est quantifiable selon deux échelles : la magnitude (Figure 9, Figure 10) et l'intensité (Figure 11).

La **Magnitude** caractérise l'énergie du séisme libérée en **profondeur.** Calculée à partir des ondes enregistrées par les sismographes, il existe plusieurs façons de calculer la magnitude. La magnitude de Richter ou « Echelle de Richter » est la formule la plus connue. A ce jour, le séisme le plus violent enregistré est celui du Chili, en 1960.

Augmenter la magnitude d'une unité équivaut à multiplier par 30 l'énergie libérée : un séisme de magnitude 6 sera 30 fois plus fort qu'un séisme de magnitude 5 ; un séisme de magnitude 7 sera 900 fois plus fort qu'un séisme de magnitude 5. La magnitude permet aussi d'apprécier les dimensions de la faille activée (coulissage moyen ou rejet, et longueur du coulissage) et de comparer les séismes entre eux. Notons qu'en France métropolitaine, fut-

ce à partir des études de sismicité historique, il n'est pas connu de séisme ayant dépassé la magnitude 6.5. En 1909, le séisme de Provence (46 morts, intensité VIII-IX) est estimé avec une magnitude de 6.1 à 6.3.

Figure 9 – Sé	isme : Les plus	forts séismes enregistrés	depuis	1900 dans le monde
0	,	0		

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 x 30 ⁵	250 s		800 km	1 tous les 10 ans
8	E x 304	85 s	5 m	250 km	1
7	E x 30 ³	15 s	1 m	50 km	10
6	E x 30 ²	3 s	20 cm	10 km	100
5	E X 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

Echelle d'intensité

L'**intensité** caractérise les effets du séisme à la <u>surface terrestre</u> : vécu de la population et éventuels dommages associés. Elle est en général maximale à l'aplomb du plan de faille, on parle d'intensité épicentrale.

Les échelles de mesure d'intensité sont dites **macrosismiques**. Le degré de l'intensité correspondant s'exprime généralement en chiffres romains pour le distinguer du degré de magnitude (chiffres arabes). En Europe, les échelles les plus utilisées sont les échelles MSK 1964 (Medvedev, Sponheuer, Karnik) et EMS-98 (European Macroseismic Scale, 1998). L'échelle EMS-98 (Figure 11), plus récente, est mieux adaptée aux constructions actuelles.

1 I	Imperceptible	
	A peine ressenti	Ressenti seulement par quelques rares personnes au repos dans leurs habitations.
ш	Faible	Ressenti par quelques personnes à l'intérieur des bâtiments. Les personnes au repos ressentent une oscillation ou 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, chute 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 construit 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 11 – Séisme : Description de l'échelle d'intensité macrosismique EMS-98

N.B. : Dans la relation Magnitude/Intensité, la profondeur est un paramètre essentiel. Par exemple, un séisme de magnitude 6,0 à 5 km sous la surface terrestre causera des dommages alors qu'un séisme de magnitude 8,0 à 700 km ne sera pas ressenti.

2.1.4. Le cycle sismique



Le plan de faille entre deux compartiments (ou blocs) est une zone "rugueuse" sur laquelle le glissement ne s'effectue pas facilement : cette <u>surface</u> <u>de friction</u> peut provisoirement bloquer le mouvement.

S'ensuit alors une <u>accumulation de</u> <u>déformation élastique</u> entre blocs.

L'accumulation de ces contraintes se poursuit jusqu'à atteindre une valeur critique que les roches ne peuvent plus supporter. Il se produit alors une <u>rupture</u> <u>brutale</u> et les roches se détendent : c'est le **séisme**.

A la fin du tremblement de terre, les contraintes s'accumulent de nouveau le long de la faille jusqu'à atteindre un nouveau seuil provoquant une nouvelle rupture.

Ces successions de phases d'activité et d'accalmie constituent le **cycle sismique** (Figure 12).

Figure 12 – Le cycle sismique : accumulation progressive des contraintes jusqu'à la rupture du plan et l'apparition du séisme

2.1.5. Catalogues de séismes historiques

L'étude et la connaissance des séismes historiques permettent d'apprécier la géographie et les caractéristiques (localisation des épicentres, intensités épicentrales) de la sismicité d'un pays ou d'une région. Ces travaux conduisent à estimer la période de retour ou la probabilité d'occurrence de ces événements pour une intensité donnée. En France, certaines régions (Bassin Parisien, Bassin Aquitain) paraissent quasiment asismiques, c'est-à-dire, que la présence d'épicentres y est absente ; d'autres, au contraire (Pyrénées, Alpes, Fossé Rhénan), ont subi des séismes majeurs (degré VIII et plus).

Le site Internet « SisFrance » développé par le BRGM en partenariat avec Electricité de France et l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) et avec le soutien du Ministère de l'Ecologie, permet la consultation des données historiques et récentes des séismes en France et sur ses marges frontalières. Cette base de données nationale, mise à jour annuellement, est consultable à l'adresse suivante :

<u>http://www.sisfrance.net/</u> (Figure 13). Ce site rassemble pour la Métropole plus de 6 000 séismes associés à 100 000 observations macrosismiques et 10 000 références bibliographiques et ce depuis plus de mille ans.

Les mêmes bases de données sont disponibles pour l'Outre-mer : Antilles, Guyane, Réunion, Mayotte, Nouvelle-Calédonie, Wallis et Futuna. La page d'accueil de Sisfrance conduit à ces sites respectifs.



Figure 13 – Catalogue de séismes : La base nationale SisFrance, page d'accueil du site <u>http://www.sisfrance.net/</u>

Les séismes historiques les plus destructeurs dans le monde

La connaissance des grands séismes mondiaux varie en fonction de la date et du lieu de l'événement. Le dénombrement des victimes est souvent délicat. En Europe, les grands séismes sont décrits par des témoignages, des représentations ou des écrits pouvant dater de 1500 ans ; dans le Nouveau Monde, la description des phénomènes historiques ne commence guères avant le XVe siècle.

Le tableau ci-après (Figure 14) liste quelques séismes catastrophiques. Par ailleurs, le site <u>http://nisee.berkeley.edu/kozak/</u> 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 1908	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 constaté sur tout l'Océan Indien
8 octobre 2005	7,6	Pakistan	Hazara	Plus de 80 000 morts
26 mai 2006	6,3	Indonésie	Yogyakarta	5 700 morts et plus de 38 000 blessés ; tsunami

Figure 14 – Risque : Quelques séismes parmi les plus catastrophiques du dernier millénaire

2.2. ALEA, VULNERABILITE ET RISQUE SISMIQUE

Le risque se caractérise par deux composantes (Figure 15) :

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

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 16).

Identification des sources sismiques et réalisation d'un zonage sismique

L'identification des sources sismiques consiste à localiser les failles actives et à évaluer leur potentiel sismique.

Cette première étape qui requiert une analyse détaillée des données géologiques et sismologiques permet d'aboutir à la réalisation d'un zonage sismique. Il s'agit là d'une 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 une topographie horizontale et des conditions de sol homogènes. Cette seconde étape conduit à définir le mouvement sismique (ou vibration) du sol considéré « au rocher ». Cette définition ne tient pas compte des conditions de site qui pourraient modifier localement le signal. Ce mouvement sismique au rocher dépend à la fois des paramètres du séisme de référence (déduit du zonage sismique) et de l'atténuation des mouvements du sol avec la distance.

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 d'un séisme provient des vibrations associées aux ondes émises par la rupture soudaine des deux lèvres de la faille.

Ces vibrations peuvent être caractérisées par leur fréquence (pouvant aller de 0,01 Hz à 50 Hz) et par leur amplitude ; les ondes qui les propagent sont caractérisées par leur type (par exemple ondes de compression ou ondes de 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 nature des sols et roches : ainsi, la vitesse des ondes de cisaillement varie de 3000 m/s dans du granite sain, à moins de 500 m/s dans du granite fortement altéré, 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. Ainsi, en fonction de la nature des formations superficielles, les amplitudes des vibrations sismiques sont très variables. Cette variabilité liée à la géologie de surface est classiquement appelée "effets de site directs" (Figure 17).

Par ailleurs, la rupture sismique 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 17).

Effets directs ou induits par le séisme

Effets de site directs

Il s'agit d'une amplification des ondes sismiques liée directement à la configuration topographique ou géologique du site ; les ondes sismiques se trouvent piégées dans la structure. On en distingue deux types (Figure 18) :

- <u>Les effets de site topographiques</u> : les sommets de butte, crêtes allongées, rebords de plateaux et de falaises sont le siège d'amplification importante du mouvement sismique.

- <u>Les effets de site liés à la structure et à la nature du sol</u> : les caractéristiques mécaniques (densité, rigidité, compressibilité), la géométrie des formations (empilement, remplissage de fond de vallée) peuvent aggraver les effets du mouvement sismique (Figure 19).
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.

La liquéfaction : Ce phénomène momentané. Il concerne les milieux granulaires (horizons sableux ou limoneux) gorgés d'eau : l'agitation sismique provoque un tassement rapide des sédiments en y expulsant l'eau qu'ils contiennent. Le sol va alors se comporter comme un liquide : c'est le phénomène de liquéfaction. Les constructions reposant sur des sols soumis au phénomène vont être particulièrement instables (Figure 20).

Les 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 21, Figure 22).

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 Huascaran anéantissent plusieurs agglomérations et tuent 54 000 personnes.

Les tsunamis : Les séismes se produisant en mer à plus ou moins grande distance de la côte, peuvent parfois 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 23).

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 280 000 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 24, Figure 25). 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 15 – Aléa, vulnérabilité, risque : Représentation schématique de l'évaluation du risque sismique



Figure 16 – Aléa, vulnérabilité, risque : Les trois étapes d'évaluation de l'aléa sismique régional et local



L'aléa sismique local est évalué sur l'ensemble d'un territoire national, départemental ou communal. L'échelle cartographique considérée est de l'ordre du 1/5 000 ou 1/10 000ème. 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 directs), ou induire d'autres phénomènes naturels dangereux (effets de site induits).

Figure 17 – Aléa, vulnérabilité, risque : Analyse des conditions géologiques te topographiques locales pour le calcul des effets de site



Figure 18 – Aléa, vulnérabilité, risque : Types de configuration des effets de site directs d'un séisme



Figure 19 – Aléa, vulnérabilité, risque : Effets de site lithologiques. Vue d'un immeuble de plusieurs étages totalement détruit à Mexico en 1985 (@Cdt Fabre- Sécurité civile d'Avignon)



Figure 20 – Aléa, vulnérabilité, risque : Représentation schématique du phénomène de liquéfaction des sols (exemple d'un bâtiment à Adapazari lors du séisme de Kocaeli en Turquie, le 17 août 1999)



Figure 21 – Aléa, vulnérabilité, risque : Représentation schématique de mouvements de terrain déclenchés par la vibration sismique



Figure 22 – Aléa, vulnérabilité, risque : Exemple de mouvements de terrain déclenchés par la vibration sismique : archipel guadeloupéen (Antilles) après le séisme du 21 novembre 2004 (photos BRGM, S. Bès de Berc)



Figure 23 – Aléa, vulnérabilité, risque : Représentation schématique de la propagation de la vague tsunamigène d'origine sismique (d'après document MEDD-DPPR)



Figure 24 – Aléa, vulnérabilité, risque : Représentation schématique de la propagation de la rupture le long du plan de faille jusqu'à la surface du sol



Figure 25 – Aléa, vulnérabilité, risque : Séisme de Fairview Peak, 1954, (Etats Unis, Nevada) ; mouvement en distension d'une faille normale (Photo K. Steinbrugge)

2.2.2. Vulnérabilité sismique

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.

<u>La vulnérabilité</u> 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 :

- le séisme de Bam (Iran) de 2003 de magnitude 6,6 qui a causé la mort de plus de 38 000 personnes,

- le séisme de Kobe de 1995, pourtant plus puissant (magnitude 6,9), qui a fait 6 300 victimes environ.

La magnitude des deux séismes étant similaire, c'est surtout la différence de vulnérabilité entre les constructions de ces deux villes densément peuplées qui permet d'expliquer l'écart au niveau des victimes.

Vulnérabilité sismique des constructions

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 :

- la distribution des masses au sein de la structure ;

- la rigidité locale et globale de la structure (influence imagée dans la fable de La Fontaine « Le chêne et le roseau ») ;

- 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 disposés pour jouer ce rôle).

Démarche EMS 98 pour l'évaluation des dégâts des structures aux séismes

Concernant l'appréciation du degré de vulnérabilité initiale des bâtiments, l'échelle EMS 98 propose (Figure 26): une typologie simplifiée des bâtiments et 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.

<u>Les bâtiments sont classés</u> par type et en fonction de leurs groupes principaux: maçonnerie, béton armé, acier et bois. En Europe, à chaque type de bâtiments les plus courants 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.

<u>Six classes de vulnérabilité sont distinguées</u>, 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 chainée 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 <u>5 degrés de dommages</u> aux constructions (Figure 27, Figure 28) :

- 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. L'évaluation de l'intensité du mouvement sismique est ainsi appréhendée selon différentes méthodes (visite du bâtiment et évaluation de la vulnérabilité « à dire d'expert », modélisation numérique d'un bâtiment, …) lors d'une visite post-sismique.

Une évaluation de l'intensité macrosismique d'un séisme (tel que proposée par l'EMS 98) est ensuite présentée sous forme d'une carte d'intensité post-sismique (Figure 29).



Figure 26 – Vulnérabilité : Classification EMS 98 relative à la vulnérabilité des bâtiments en fonction du type de structures et du groupe principal correspondant

Classification des dégâts aux bâtiments en MAÇONNERIE	
(Degré 0 (D0) : dégâts nul)	
	Degré 1 (D1): Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structurel, légers dégâts non structuraux)
	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.
Degré 2 (D2) : Dégâts modérés (dégâts structuraux légers dégâts non structuraux modérés)	
	Fissures dans de nombreux murs. Chutes de grands morceaux de plâtre. Effondrement partiel des cheminées.
	Degré 3 (D3) : Dégâts sensibles à importants (dommages structuraux modérés, dommages non structuraux importants)
	Les tuiles se détachent du toit. Fracture des cheminées à la jonction avec le toit. Défaillance d'éléments non structuraux séparés (cloisons).
	Degré 4 (D4) : Dégâts très importants (Dégâts structuraux importants, dégâts non structuraux très importants)
	Défaillance sérieuse des murs, défaillance structurale partielle des toits et planchers.
	Degré 5 (D5) : Destruction (Dégâts structuraux importants) Effondrement total ou presque total.

Figure 27 – Vulnérabilité : Echelle EMS 98, degrés de dommages relatifs aux constructions en maçonnerie

Classification des dégâts aux bâtiments en BETON ARME	
(Degré 0 (D0) : dégâts nuls)	
	Degré 1 (D1): Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structurel, légers dégâts non structuraux)
	Fissures fines dans le plâtre sur les parties de l'ossature ou sur les murs à la base. Eissures fines dans les cloisons et les remplissages.
	Degré 2 (D2) : Dégâts modérés (dégâts structuraux légers, dégâts non structuraux modérés)
	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.
	Degré 3 (D3) : Dégâts sensibles à importants (dommages structuraux modérés, dommages non structuraux importants)
	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.
	Fissures importantes dans les cloisons et les murs de remplissage, défaillance de certains panneaux de remplissage.
	Degré 4 (D4) : Dégâts très importants (Dégâts structuraux importants, dégâts non structuraux très importants)
	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. Ecroulement de quelques poteaux ou d'un étage supérieur.
	Degré 5 (D5) : Destruction (Dégâts structuraux très importants)
	Effondrement total du rez-de-chaussée ou de parties de bâtiments.

Figure 28 – Vulnérabilité : Echelle EMS 98, degrés de dommages relatifs aux constructions en béton armé

Г



Figure 29 – Vulnérabilité : exemple de carte macrosismique : le séisme de Rambervillers du 22 février 2003.(BCSF)

2.2.3. Risque sismique

Rappelons (§ 2.2) que 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 15).

Les conséquences des séismes sur les enjeux

Les préjudices humains

Les séismes étant 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.

2.2.4. L'évaluation du risque sismique

Actuellement l'approche la plus classique pour évaluer le risque sismique 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 (Figure 30).

A partir d'un scénario, il est possible d'estimer le niveau de dommages des différents bâtiments, les préjudices humains (décès et blessés) ainsi que les pertes économiques directes et indirectes.

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

Un exemple d'une telle étude (scénario départemental de risque sismique pour le département des Bouches-du-Rhône) est présenté (Figure 31).



Figure 30 – Risque : Principes d'évaluation d'un scénario de risque sismique



Figure 31 – Risque : Un exemple de scénario de risque sismique (Bouches-du-Rhône)

2.3. PRISE EN COMPTE DE L'ALEA SISMIQUE : PREVENTION ET REGLEMENTATION SUR LE RISQUE SISMIQUE

« Les citoyens ont un droit à l'information sur les risques majeurs auxquels ils sont soumis... » (Extrait de l'article 125-2 du code de l'environnement). Cette obligation se concrétise au travers des rôles de chacun (Figure 32). Toutefois c'est l'information du citoyen qui est le but à atteindre dans l'ensemble du dispositif d'Information Préventive. Cette information concerne l'ensemble des risques, naturels et technologique.

Le citoyen	Le Maire	L'Etat
<u>Le citoyen doit devenir l'acteur majeur de sa propre sécurité. Pour ce faire il est nécessaire qu'il soit le mieux informé possible. Ses actions :</u>	Le Maire assure le lien entre l'information produite et le citoyen. <u>Ses actions</u> : → Il annexe le Plan de Prévention des Risques (PPR) au Plan Local d'Urbanisme (PLU).	L'Etat fournit l'information de base. Ses actions : → Il réalise le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM). Le DDRM permet :
 → II lit le DDRM, le DICRIM, le PPR (s'il existe). → Les vendeurs ou les bailleurs ont une obligation d'information sur l'existence de risques. → II réalise le Plan Familial de Mise en Sûreté (PFMS). 	 Le PPR permet : De ne plus accroître le nombre de constructions et aménagements nouveaux installés en zone vulnérable; De réduire la vulnérabilité de ceux qui sont déjà réalisés en zone exposée; De ne pas aggraver les risques ni en provoquer de nouveaux. 	 De recense à l'échelle d'un département l'ensemble des risques majeurs par commune. D'expliquer les phénomènes et de présenter les mesures de sauvegarde. → Il réalise le Porter-à-Connaissance sur les Risques (PAC – Risques).
 Ce PFMS lui permettra : D'apprendre les consignes de sauvegarde et les comportements à adopter en cas de survenue d'un évènement exceptionnel; De localiser un endroit de 	→ II élabore le Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM) à partir du Porter-à-Connaissance sur les Risques (PAC-Risques). Le DICRIM contient :	 Le PAC-Risques permet : De communiquer « toute information que le Préfet juge utile à l'élaboration » des documents d'urbanisme (art. L. 123-3. al. 4.C.U.)
 regroupement familial en cas de survenance d'un évènement exceptionnel, et si l'habitation se trouve dans une zone à risque ; De faire effectuer des travaux ou entreprendre des aménagements afin de réduire sa vulnérabilité et celle de ses biens. 	 Des éléments du Porter-à- Connaissance sur les Risques (PAC-Risques); Des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde; Des événements significatifs, Des règles d'urbanisme (PLU). 	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. Ce document est destiné aux élus locaux dans le but de leur permettre d'élaborer les DICRIM.

Figure 32 – Rôles du citoyen, du Maire, de l'Etat dans la prévention du risque sismique (d'après BRGM)

2.3.1. Zonage sismique de la France et classification règlementaire des ouvrages

Les différents types de zonages sismiques nationaux

L'étude des séismes historiques ainsi que les enquêtes macrosismiques sur les séismes actuels permettent de déterminer les niveaux d'intensité maximale observée sur l'ensemble du territoire. A partir de ces données, il est donc possible de définir un zonage sismique national. Celui-ci consiste en une carte représentant plusieurs zones en fonction des niveaux de sismicité attendus. Ce type de document 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 œuvre au niveau du territoire français (Figure 34). Les différents zonages obtenus répondent à des exigences règlementaires spécifiques.

La **démarche empirico-statistique** a été la première évaluation faite sur l'ensemble du territoire national. Elle a été mise en œuvre dans les **années 80** dans le cadre de l'application des règles parasismiques de construction destinées aux <u>ouvrages courants, dits à "risque normal</u>". Au cours des 25 dernières années, de nombreux enregistrements sismiques supplémentaires ont permis d'évoluer vers une méthodologie probabiliste.

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

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

Le zonage sismique règlementaire actuel

Le zonage sismique officiellement reconnu par la législation française est encore celui réalisé dans les années 80. 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 évènements 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.

Ce zonage est devenu le "Zonage sismique officiel de la France" dès sa publication au Journal Officiel (décret n° 91-461 du 14 mai 1991). Il ne s'agit pas d'une carte du

"risque encouru", car la vulnérabilité des constructions n'est pas prise en compte, 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.

Le "Zonage sismique officiel de la France" s'appuie sur la sismicité historique et divise le territoire national en 5 zones de niveau de sismicité croissant : 0, la, lb, II et III (Figure 33).

Type de zone	Niveau	Définitions
Zone III	Sismicité forte	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
Zone II	Sismicité moyenne	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.
Zone b	Sismicité faible	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.
zone <u>la</u>	Sismicité très faible	Pas de séisme d'intensité supérieure ou égale à VIII connu, mais de faibles déformations tectoniques rècentes 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.
Zone 0	Sismicité négligeable	Aucune secousse d'intensité au moins égale à VIII n'y a été observée historiquement ; les régles parasismiques ne sont pas obligatoires.

Figure 33 – Classement des cinq zones de sismicité du territoire national pour le zonage sismique dit « à risque normal ».

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 de la basse-vallée du Rhône sont classées en zones Ib ou la. D'autres petites régions sismiques sont également identifiées en Auvergne, dans les Charentes, la Vendée, le Saumurois et le Calvados.

Le zonage sismique associé à l'application des Eurocode 8

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 d'accélération du sol (m/s²) susceptible d'être atteint pendant une période de temps donnée (Figure 36).

Pourquoi remplacer le zonage sismique règlementaire existant ?

Le zonage officiel en vigueur en France depuis 1991 est basé sur des études qui datent du début des années 80.

Depuis,

1 - la connaissance de la sismicité et des failles actives a nettement 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 évènements 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

L'évaluation probabiliste a conduit à plusieurs cartes d'iso-accélération correspondant à différents niveaux de probabilités annuelles.

Concernant les ouvrages à risque normal, la probabilité d'occurrence de l'événement sismique est de 10% d'ici 50 ans. L'événement sismique de référence est traduit en termes 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, la, lb, 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 du zonage associé à l'application des Eurocode 8

Avec ce 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 d'aléa modéré ont approximativement une probabilité de 10% de subir une accélération du sol comprise entre 1,1 et 1,6 m/s² d'ici à 50 ans.

Les Territoires d'Outre-mer – 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.

La classification règlementaire 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), et dans le code de l'environnement. Deux types d'ouvrage, à "<u>risque normal</u>" et à "<u>risque spécial</u>", sont définis et renvoient à une règlementation parasismique spécifique en fonction de l'une ou l'autre de ces deux catégories (Figure 37).

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. Dans l'article 2 de l'Arrêté du 29 mai 1997 paru au Journal Officiel du 3 juin 1997, quatre classes sont définies :

classe A, classe B, classe C, classe D. Ces quatre classes correspondent respectivement aux catégories d'importances I, II, III et IV de l'Eurocode 8, à l'exception des établissements scolaires de la classe B qui passent en catégorie d'importance III de l'Eurocode 8. Ainsi :

<u>Classe A</u> : 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 4ème et 5^{ème} 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^{ère} à 3^{ème} catégories ;
- autres bâtiments accueillant plus de 300 personnes ;
- établissements sanitaires et sociaux sauf exception ;
- bâtiments de production collective d'énergie.

<u>Classe D</u> : 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 spécialisés en affectations graves recevant du public de santé ;
- 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 37, Figure 38) :

- 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 règlementaire (0, la, lb, 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 règlementaire : possibilité d'une prise en compte d'un mouvement forfaitaire (l'arrêté du 10 mai 1993 fournit en annexe un spectre de réponse correspondant au SMS - séisme majoré de sécurité);
- en zone lb, 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).



Figure 34 – 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 35 – Prévention : L'actuel zonage sismique réglementaire de la France (Journal Officiel, décret n°91-461 du 14 mai 1991)

Des gammes de valeurs d'accélération ont été proposées en 2005. L'accélération nominale relative à chaque niveau d'aléa sera fixée par la nouvelle réglementation.



Figure 36 – Prévention : Le zonage sismique de la France, associé à l'application des Eurocode 8 (prochainement réglementaire)



Figure 37 – Prévention : Schéma illustrant la philosophie de la réglementation sismique française actuelle

Zone	Classe B	Classe C	Classe D
la	1.0	1.5	2.0
<u>lb</u>	1.5	2.0	2.5
	2.5	3.0	3.5
III	3.5	4.0	4.5
La valeur de l'accélération est exprimée en m/s². Elle varie selon la zone sismique et la classe de l'ouvrage concerné			

Figure 38 – Prévention : Valeur de l'accélération nominale aN définit par l'arrêté du 29 mai 1997 pour l'application des Normes parasismiques de construction PS92

2.3.2. La construction parasismique

La construction d'ouvrages à risque normal en zone de sismicité est soumise au respect des règles de construction parasismique, actuellement en cours d'évolution.

Il en est de même dans le cas de travaux sur l'existant.

Les Règles PS 92 (norme NF P 06-013)

La construction d'ouvrages à risque normal, autres que les ponts, en zone de sismicité doit se conformer, en fonction des caractéristiques du projet, 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 PS 92 sous certaines conditions pour les petits bâtiments de classe B en métropole.

L'Eurocode 8 (NF En 1998-1 (2005) – Eurocode 8 – Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 1 : règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments (P06-030-1), AFNOR)

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 dans les zones pour lesquelles les conditions géologiques sont spécifiques, 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.

2.3.3. L'organisation des secours

Avant la crise, une bonne organisation et préparation des secours est essentielle. En cas de phénomène grave, la mise en œuvre rapide et efficace de tous les moyens disponibles dépendra de cette planification préalable des secours. 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 (Figure 40).



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 modifiés 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 39 – Prévention : Quelques principes de base d'une construction parasismique (source MEDD/DPPR)

Avant	Pendant	Après
Consignes générales	Consignes générales	Consignes générales
s'informer en mairie des risques encourus, des consignes de sauvegarde ; (consulter les DDRM, DCS,DICRIM, PPR),	s'informer écouter la radio, les premières consignes étant données par Radio France ;	s'informer écouter et suivre les consignes données par la radio et les autorités ;
organiser le groupe dont on est	informer le groupe dont on est responsable ;	informer les autorités de tout danger observé ;
responsable, discuter en famille des mesures à prendre si une catastrophe survient (protection, évacuation, points de ralliement) ;	ne pas aller chercher les enfants à l'école.	apporter une première aide aux voisins, penser aux personnes âgées et handicapées.
simulations y participer ou les suivre, en tirer les conséquences et enseignements		se mettre à la disposition des secours.
prévoir les équipements minimum; un poste de radio et des piles neuves, une lampe de	Consignes	évaluer les dégâts, les points dangereux et s'en éloigner.
poche puissante, un manuel et une trousse de premiers secours, quelques provisions	<u>« séisme »</u>	<u>« Séisme »</u>
alimentaires, de l'eau potable.	Rester où l'on està l'intérieur se mettre près	méfier des répliques il peut y avoir d'autres secousses ;
<u>« séisme »</u>	d'un mur, une colonne porteuse ou sous des meubles solides, s'éloigner	ne pas prendre les ascenseurs pour quitter un immeuble :
selon le cas, construire en tenant compte des règles parasismiques. repérer les points de coupure du gaz, eau, électricité ;	 des fenêtres ; à l'extérieur ne pas rester sous des fils électriques ou sous ce qui peut s'effondrer (ponts, corniches, 	vérifier l'eau, l'électricité en cas de fuite, ouvrir les fenêtres et les portes, se sauver et prévenir les autorités.
fixer les appareils et les meubles lourds ; Bepérer un endroit où l'on	toitures) ; en voiture s'arrêter et ne pas descendre avant la fin des secousses.	s'éloigner des zones côtières, même longtemps après la fin des secousses, en raison d'éventuel raz-de-marée
pourra se mettre à l'abri.	Se protéger la tête avec les bras	
	Ne pas allumer de flamme.	

Figure 40 – Prévention : Organisation des secours

2.3.4. L'indemnisation

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 125-6 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.

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.

2.4. GLOSSAIRE

accélérogramme	Enregistrement par un accéléromètre de l'accélération du sol pendant un séisme.
accéléromètre	Appareil mesurant les accélérations du sol en fonction du temps.
aléa sismique	Probabilité d'occurrence d'un séisme, dans une région et au cours d'une période de temps données.
échelle MSK 64	Echelle d'intensité des séismes en 12 degrés, mise au point en 1964 par Medvedev, Sponheuer et Karnik et permettant de quantifier les effets et dégâts du séisme sur les personnes et les biens Cette échelle est délaissée au profit de sa remplaçante, l'échelle EMS 98 (European Macroseismic Scale 98).
échelle EMS 98	L'EMS 98 (European Macroseismic Scale) définie 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.
échelle EMS 98 Classes de vulnérabilité	L'EMS 98 (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.
échelle EMS 98 Échelle macrosismique	L'EMS 98 correspond à une échelle d'intensité macrosismique en 12 degrés. L'intensité est évaluée en fonction de la répartition qualitative des dommages (de type : quelque, rares, beaucoup) et cela en fonction des différentes classes de vulnérabilité de bâtiments.
épicentre (d'un séisme)	Point de la surface du globe situé à la verticale du foyer d'un séisme.
faille	Plan de rupture qui divise un volume rocheux en deux compartiments. Les failles peuvent avoir des tailles "continentales" (plus de 1000 km), jusqu'à des tailles d'ordre décamétrique (visibles dans les carrières ou sur le bord des routes).
faille active (ou faille sismogène)	Faille sur laquelle une rupture et un glissement se sont produits à une période récente (géologique).
foyer (ou hypocentre)	Zone sur la faille où s'est initialisée la rupture à l'origine du séisme.
intensité macrosismique	Quantification des effets d'un séisme en un point particulier de la surface du sol à partir d'une estimation statistique des effets engendrés en ce lieu sur les personnes, les constructions et l'environnement. Elle est quantifiée par des échelles d'intensité (MSK 64, EMS 98).
isoséiste	Courbe délimitant des aires d'égale intensité sur une carte macrosismique.

magnitude	Mesure de 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. L'échelle de magnitude la plus connue est celle de Richter.
magnitude de Richter	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).
normes de construction parasismique	Ensemble de règles de construction destinées aux bâtiments afin qu'ils résistent le mieux possible aux séismes.
réplique	Secousse sismique de magnitude plus faible succédant au séisme dit «principal» et dont le foyer se trouve souvent à proximité sur le même plan de faille.
risque	Le risque est le croisement de l'aléa avec les enjeux et leur vulnérabilité. Il peut être exprimé par exemple, 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.
risque majeur	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.
signal vibratoire	Mouvement oscillatoire du sol soumis à un séisme.
sismologie (ou séismologie)	Etude des séismes (tremblements de terre) et plus généralement de la propagation des ondes à l'intérieur de la Terre.
sismomètre	Appareil permettant de mesurer les mouvements du sol à l'aide d'un capteur mécanique.
source sismique	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.
subduction	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.
tectonique des plaques	La tectonique des plaques (d'abord appelée dérive des continents) est le modèle actuel du fonctionnement géologique 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.
tsunami	En japonais, tsunami vient de tsu «port » et nami «vague ». C'est un raz de marée généralement provoqué par un mouvement brutal du fond de la mer, par exemple au cours d'un séisme sous-marin, d'un mouvement de terrain sous marin ou d'une éruption volcanique sous marine.

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*

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*

Site dédié au recensement et à l'information sur les risques naturels majeurs au niveau mondial : Humanitarian Early Warning Service (HEWS) : http://www.hewsweb.org/seismic/ (pour les séismes)
Ouvrages :

Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, DPPR/BICI, 1989, *Procerisq, procédures et règlementations 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 :

Aléa sismique : dossiers régionaux

Dossiers de presse sur l'aléa sismique pour 6 régions françaises

3. <u>Partie 2 :</u> Aléa sismique : dossiers de presse 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, les informations suivantes sont rassemblées sous la forme de documents cartographiques :

- les grands événements sismiques historiques aujourd'hui recensés (date, lieu, dommages enregistrés),
- les principales données de sismicité instrumentales (en fonction des données disponibles date, magnitude, profondeur focale),
- les principales structures sismogènes régionales (localisation, principaux traits géologiques),
- le zonage sismique règlementaire actuellement en vigueur,
- le zonage associé à l'application des Eurocode 8.

Concernant les failles, la légende de tous ces documents est donnée dans la Figure 41.

Les principales données utilisées concernent :

- la base de sismicité historique SisFrance,
- le fichier de sismicité instrumentale BCSF,
- la carte géologique de la France à 1/1 000 000,
- la carte tectonique de la France à 1/1 000 000,
- la carte sismotectonique de la France à 1/1 000 000,
- la publication « Sismotectonique de la France métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique » in 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 caraïbe.

Chaque dossier se veut synthétique. Pour plus de détail, nous renvoyons à la consultation du rapport BRGM/RP-55012-FR.



Figure 41 – Cartographie : légende concernant le tracé des failles

3.1. CONTEXTE SISMOTECTONIQUE DE LA FRANCE METROPOLITAINE

Le bassin méditerranéen est le lieu de rencontre de deux grandes plaques continentales : l'Afrique et l'Eurasie. Ce mouvement de convergence a démarré il y a environ 70 millions d'années et se poursuit aujourd'hui.

En France métropolitaine, cette convergence se traduit par une déformation continentale. La sismicité intraplaque associée à cette déformation est qualifiée de très faible à moyenne. 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 (sismicité interplaque), la situation tectonique de la France ne la met pas à l'abri d'un tremblement de terre violent. En effet, depuis moins de 1000 ans, près d'une vingtaine de tremblements de terre destructeurs ont été recensés en France métropolitaine (Figure 42).



Figure 42 – Localisation des épicentres de séismes historiques en France métropolitaine (d'après SisFrance, 2007) : en encadré ROUGE, séismes destructeurs survenus au cours du XX ème siècle

3.2. CONTEXTE SISMOTECTONIQUE DES CARAÏBES

L'arc des Petites Antilles est constitué d'une vingtaine d'îles principales dont la Guadeloupe et la Martinique. Il dessine une courbe de 850 km de longueur depuis la marge continentale sud-américaine (Venezuela oriental) jusqu'au passage d'Anegada qui marque la limite actuelle avec les Grandes Antilles (plate-forme de Porto Rico et des îles Vierges).

L'arc des Petites Antilles résulte de la subduction des plaques nord et sud américaines sous la plaque Caraïbe.

La convergence actuelle est non seulement marquée par une activité volcanique importante (Soufrière Hills de Montserrat, Soufrière de Guadeloupe, montagne Pelée de Martinique), mais aussi par une intense activité sismique, notamment dans la partie nord de l'arc (Figure 43). Certains séismes se produisent à l'interface de cette zone de subduction (sismicité interplaque). Le séisme du 8 février 1843 est probablement dû à cette tectonique ; il en est de même de celui du 29 novembre 2007 localisé à une vingtaine de kilomètres au nord de la Martinique. D'autres séismes, plus superficiels (foyer à moins de 30 km de profondeur et épicentre localisé à plusieurs kilomètres à l'ouest du front de subduction) ont lieu dans la plaque Caraïbe (sismicité intraplaque). Ils sont dus au mouvement des failles de la plaque Caraïbe elle-même. Le séisme du 21 novembre 2004, de magnitude 6,3, localisé entre l'île de la Dominique et les Saintes dans l'archipel de la Guadeloupe, est lié au mouvement de l'une d'entre elles.



Figure 43 – Epicentres des séismes historiques (d'après BRGM, SisFrance-Antilles, 2007)

Les Pyrénées



Synthèse

Figure 44 – Carte sismotectonique des Pyrénées

La tectonique pyrénéenne est liée à la convergence des plaques Eurasie et Afrique induisant ainsi la collision entre l'Espagne et la France et formant la chaîne des Pyrénées. Ce mouvement est à l'origine des séismes de cette région dont, historiquement, plus d'une vingtaine a atteint ou dépassé l'intensité épicentrale VII (Figure 44).

A l'échelle française, les Pyrénées constituent une zone sismiquement active.

3.3. DOSSIER DE PRESSE SUR LES PYRENEES

3.3.1. Contexte sismotectonique des Pyrénées

Contexte géologique

Les Pyrénées forment une chaîne montagneuse, orientée est-ouest, longue de plus de 420 km, étendue depuis le golfe de Gascogne, dans l'Océan Atlantique, jusqu'au golfe du Lion, en Méditerranée. Il s'agit d'une zone de frontière naturelle qui sépare la France de l'Espagne. Les Pyrénées sont des montagnes "jeunes", qui ont pris naissance dans une mer il y a 40 millions d'années suite à la rencontre et à la collision de deux morceaux de la croûte terrestre, la plaque tectonique européenne et la microplaque Ibérie.

La cinématique récente et actuelle résulte de cette convergence de direction globalement nord-sud. L'amplitude totale du rapprochement depuis le Crétacé supérieur (-65 millions d'années) est d'au moins 150 km.

Antérieurement à cette évolution, d'autres cycles orogéniques¹ ont contribué à la structuration de la chaîne actuelle.

Principales failles

Dans l'état actuel des connaissances, la chaîne pyrénéenne peut être subdivisée en plusieurs grands domaines structuraux caractérisés par une séquence sédimentaire et un style de déformation tectonique spécifique et, eux-mêmes limités par des accidents majeurs (Figure 45, Figure 46) :

■ La zone axiale primaire, dite aussi « Haute chaîne Primaire », car portant les plus hauts massifs. Cette zone est limitée au Nord par la faille nord pyrénéenne (FNP), accident de direction est-ouest qui affecte sur plusieurs kilomètres de profondeur la croûte continentale. La FNP sépare la croûte continentale européenne au Nord, de la croûte continentale ibérique, au Sud. Cette faille est bien individualisée dans les Pyrénées centrales et orientales ; en revanche, elle est plus difficilement identifiable dans la partie occidentale, où elle apparaît segmentée.

■ La zone des chevauchements nord pyrénéens se trouve au nord de la zone axiale, et est limitée par deux accidents majeurs la faille nord pyrénéenne (FNP), au sud, et le chevauchement frontal nord pyrénéen (CFNP), au nord.

■ La zone des chevauchements sud pyrénéens est limitée au nord par la zone axiale et au sud par le chevauchement frontal sud pyrénéen (CFSP).

¹ cycle orogénique : période tectonique qui donne lieu à la formation de chaîne de montagne.

Plusieurs indices de déformation tectonique récente ont été décrits dans les Pyrénées. Ils montrent le caractère actif des grands accidents pyrénéens.

Sismicité

Dans l'état actuel des connaissances, l'activité la plus importante se situe au Nord de la zone axiale dans la **partie centrale et occidentale de la chaîne**, le long de la faille nord pyrénéenne (Figure 47, Figure 48, Figure 49, Figure 50). Cette activité apparaît assez régulière dans le temps. Plus d'une trentaine de séismes historiques d'intensité épicentrale supérieure ou égale à VII et 4 séismes d'intensité supérieure ou égale à VIII sont dénombrés. Les séismes réputés les plus forts dans cette partie des Pyrénées sont les séismes :

- du 21 juin 1660 (Io=VIII-IX, région de Bigorre, Bagnères-de-Bigorre),
- du 24 mai 1750 (lo=VIII, région de Bigorre, Lourdes),
- du 19 novembre 1923 (Io=VIII, région du Val d'Aran, Espagne),
- du 13 Août 1967 (Io=VIII, région du Béarn, Arette).

Vers le nord et vers le sud, dans les avant-pays chevauchants, l'activité sismique s'atténue très rapidement, bien qu'elle soit ponctuée par quelques séismes historiques marquant, comme le séisme du 13 Août 1923 (Io=VII-VIII, M=5.4) des Pyrénées aragonaises.

Dans la région de Pampelune, les données instrumentales révèlent l'existence d'un foyer sismique aux alentours d'Estella avec deux séismes ayant dépassés la magnitude 4,5 (22 mai et 22 juin 1982, 4.6 et 4.5 respectivement). Ce foyer est situé à l'extrémité occidentale du chevauchement frontal Sud pyrénéen.

Les **Pyrénées orientales** montrent une sismicité nettement plus modérée et diffuse que dans les Pyrénées occidentales, tant par le nombre d'évènements que par leur magnitude. La distribution de cette sismicité indique que la majeure partie des séismes se localise dans la zone axiale de la chaîne et au voisinage de la faille Nord pyrénéenne. Néanmoins, les données macrosismiques sont marquées par une crise sismique importante durant le XV^{ème} siècle, notamment en 1427 (séismes du 13 et du 19 mars, avec, respectivement, lo = VII-VIII et VIII) suivie du grand tremblement de terre catalan du 2 février 1428 (Io=IX, région d'Olot). Cette activité particulière semble indiquer que des périodes de faible activité peuvent être interrompues par des séismes destructeurs avec probablement de longues périodes de retour.

3.3.2. Zonages sismiques

Le zonage sismique réglementaire s'appuie sur la sismicité historique et divise le territoire national en 5 zones de niveau de sismicité croissant : 0, la, lb, II et III. Ce zonage est basé sur des données de 1984.

Actuellement, ce zonage est en cours d'actualisation. En effet, il est important de le mettre à jour grâce à l'exploitation des nouvelles données concernant la sismicité et les failles, acquises depuis le début des années 80.

De plus, l'application des futures normes européennes Eurocode 8, permettant une harmonisation des législations parasismiques des différents états membres, fait appel à une description probabiliste de l'aléa sismique. C'est le cas de ce zonage qui sera prochainement réglementaire (Figure 52).

Zonage sismique règlementaire

Une partie des Pyrénées nord-occidentales et centrales ainsi qu'une partie des Pyrénées orientales sont classées en zone II du zonage sismique règlementaire (Figure 51).

D'un point de vue géologie structurale, il s'agit d'une partie de la zone axiale pyrénéenne. Concernant la sismicité historique, au nord des Pyrénées occidentales et centrales, la base SisFrance répertorie une vingtaine d'épicentres de séismes d'intensité au moins égale à VII (dont les séismes du 21 juin 1660 et du 24 mai 1750).

A l'Est, il s'agit en particulier de la Cerdagne, siège du grand tremblement de terre de 1428.

Les départements concernés par la classification en zone II d'une partie de leurs cantons sont donc ceux des Pyrénées-Atlantiques (64) et des Hautes-Pyrénées (65), d'une part, et le département des Pyrénées-Orientales (66) d'autre part (Figure 51).

Zonage sismique associé à l'application des Eurocode 8 (prochainement réglementaire)

Cette nouvelle carte reflète de façon plus satisfaisante les différentes zones structurales et failles actives identifiées au niveau de la chaîne des Pyrénées (Figure 52).

Le niveau d'aléa sismique est plus important dans la partie centrale de la chaîne, et diminue progressivement lorsque l'on s'en éloigne. Les départements qui présentent un aléa le plus élevé c'est-à-dire des zones d'aléa modéré (les accélérations du sol ayant une probabilité de dépassement de 10% en 50 ans vont de 1,1 m/s² à 1,6 m/s²) ou moyen (les accélérations du sol ayant une probabilité de dépassement de 10% en 50 ans vont de 1,6 m/s² à 3 m/s²) restent les Pyrénées-Atlantiques (64), les Hautes-Pyrénées (65), et les Pyrénées-Orientales (66), mais certaines communes des départements de l'Ariège (09) et de la Haute-Garonne (31), situées dans la partie centrale de la chaîne pyrénéenne sont classées elles-aussi en zone d'aléa modéré ou moyen (Figure 52).



Figure 45 – Pyrénées : Schématisation des grands domaines structuraux constituants la chaîne pyrénéenne sur fond géologique (fond géologique d'après la carte géologique de la France, Edit. BRGM, 1996)



Figure 46 – Pyrénées : Localisation des principales failles actives dans les Pyrénées



Figure 47 – Pyrénées : Epicentres des séismes historiques dans les Pyrénées (d'après BRGM/EDF/IRSN SisFrance, 2007)



Figure 48 – Pyrénées : Magnitudes des séismes enregistrés entre 1981 et 2007 dans les Pyrénées (données BCSF)

année	mois	jour	APPELLATION	numéro du département	intensité épicentrale	longitude	latitude		
1428	2	2	CERDAGNE (PUIGCERDA)		2°18'	42°16'			
Tout est détruit entre Olot et Puigcerda (Espagne) sur environ 500 km2. Les victimes sont									
1660	6	21	BIGORRE (BAGNERES-DE-	euses.		0.001,	40%50'		
1000	IOOU 0 21 BIGORRE) 65 VIII-IX 0.04 42.9 Nambroucco destructions entre Regnères de Disease luis Caint Saureur et Assalés Caint								
1017	Nombreuses destructions entre Bagneres-de-Bigorre, Luz-Saint-Sauveur et Argelès-Gazost								
1017	3	10			V III-IA	-2-10	42-11		
1427	3	19				236	42.01		
1448	5	25		05		2°24	41 38		
1/50	5	24	BIGORRE (JUNCALAS)	65		-0.02	43 04		
1923	11	19	VAL D'ARAN (VIELLA)		VIII	0°50'	42°42		
1967	8	13	BEARN (ARETTE)	64		-0°47'	43°05'		
1427	3	13			VII-VIII	2°36'	42°01'		
1854	7	20	GAZOST)	65	VII-VIII	-0°03'	43°02'		
1923	7	10	NAVARRE (BERDUN)		VII-VIII	-0°55'	42°38'		
1980	2	29	OSSAU (ARUDY)	64	VII-VIII	-0°20'	43 <i>°</i> 04'		
1750	6	15	BIGORRE (JUNCALAS)	65	VII	0°00'	43 <i>°</i> 03'		
1778	6	7	BIGORRE (ST-PE-DE- BIGORRE)	65	VII	-0°10'	43 <i>°</i> 06'		
1783	2	2	VALLESPIR (PRATS-DE- MOLLO)	66	VII	2°29'	42°24'		
1814	5	22	OSSAU (ARUDY)	64	VII	-0°24'	43 <i>°</i> 08'		
1850	11	17	BIGORRE (ST-PE-DE- BIGORRE)	65	VII	-0°10'	43 <i>°</i> 06'		
1855	12	5	HAUT-COMMINGES (NESTE- D'OUEIL)	31	VII	0 <i>°</i> 30'	42°50'		
1870	1	15	HAUT-COMMINGES (LUCHON)	31	VII	0°33'	42°52'		
1873	11	26	BIGORRE (BAGNERES-DE- BIGORRE)	65	VII	0°09'	43 <i>°</i> 02'		
1888	2	15	NAVARRE (BURGUETE)		VII	-1 <i>°</i> 20'	42°59'		
1902	9	8	BEARN (OLORON-SAINTE- MARIE)	64	VII	-0°36'	43°11'		
1902	5	6	BEARN (LURBÉ-SAINT- CHRISTAU)	64	VII	-0°40'	43 <i>°</i> 06'		
1904	7	13	BIGORRE (BAGNERES-DE- BIGORRE)	65	VII	0°07'	43°04'		
1911	7	24	BEARN (BENEJACQ- COARRAZE)	64	VII	-0°14'	43°11'		
1924	2	22	BEARN (S. ARTHEZ- D'ASSON)	64	VII	-0°17'	43°03'		
1950	1	31	BIGORRE (CAMPAN)	65	VII	0°10'	42°58'		

Figure 49 – Pyrénées : Liste par ordre d'intensité décroissante des séismes dans les Pyrénées ou à proximité ayant atteint ou dépassé l'intensité VII (extrait de BRGM, EDF, IRSN, SisFrance, 2007)

année	mois	jour	heure	minute	latitude	longitude	Prof.foc.	magnitude	zone géographique de l'épicentre	
1996	2	18	1	45	42.75	2.50	5	5.6	WNW PERPIGNAN(66)	
2004	9	18	12	52	42.90	-1.43	5	5.3	S BIARRITZ(64)	
2004	9	30	13	9	42.84	-1.45	5	5.2	ESPAGNE (EST DE PAMPELONE)	
1980	2	29	20	40	43.09	-0.38	5	5.1	S PAU(64)	
1989	1	6	19	33	42.97	0.16	10	5.0	NW VIELLE-AURE(65)	
1998	10	27	23	23	42.95	-2.09	5	4.9	ESPAGNE (OUEST DE PAMPELONE)	
2006	11	17	18	19	43.08	0.01	11	4.9	ARGELES-GAZOST (65)	
1982	1	6	16	32	43.15	-0.90	10	4.8	W ARAMITS(64)	
1999	10	4	18	14	42.94	0.62	15	4.8	WNW SAINT-BEAT(31)	
2002	5	16	14	56	42.94	-0.16	10	4.8	SSE AUCUN(65)	
2004	9	21	15	48	42.31	2.11	5	4.8	ESPAGNE (REGION DE GERONE)	
1984	2	25	2	3	43.12	-1.18	10	4.7	SE SAINT-JEAN-PIED-DE-PORT(64)	
1996	2	25	10	10	42.95	-1.51	5	4.7	S BIARRITZ(64)	
2002	12	12	17	59	43.11	-0.28	10	4.6	SSE PAU(64)	
1981	4	23	15	53	43.02	2.14	5	4.5	SW CARCASSONNE(11)	
1984	2	23	5	51	43.06	0.12	5	4.5	S TARBES(65)	
1980	3	2	2	22	43.06	-0.09	5	4.4	SSW TARBES(65)	
1981	2	5	21	56	43.41	-0.58	5	4.4	NW PAU(64)	
1984	9	26	4	54	42.50	2.22	5	4.4	S AXAT(11)	
2002	12	11	20	9	43.04	-0.33	5	4.4	S PAU(64)	
2003	1	21	18	0	43.05	-0.36	10	4.4	S PAU(64)	
2003	1	21	18	0	43.05	-0.36	10	4.4	S PAU(64)	
1980	4	16	13	10	43.06	-0.41	5	4.3	S PAU(64)	
1982	6	12	9	59	43.14	-0.34	5	4.3	S PAU(64)	
1982	8	25	20	59	43.06	-0.26	5	4.3	SSE PAU(64)	
1999	2	16	1	50	43.06	-1.26	5	4.3	S SAINT-JEAN-PIED-DE-PORT(64)	
2003	2	26	3	32	42.38	2.12	10	4.3	ESPAGNE (REGION DE GERONE)	
1989	5	30	6	28	43.08	-0.34	5	4.2	S PAU(64)	
1994	6	19	19	38	43.66	-3.02	10	4.2	LARGE DE BILBAO	
1997	8	30	4	1	43.00	-2.15	5	4.2	ESPAGNE (REGION DE ST SEBASTIEN)	
2000	3	13	4	16	43.51	-0.56	13	4.2	NW PAU(64)	
2002	2	21	10	21	42.95	-1.97	5	4.2	ESPAGNE (REGION DE PAMPELONE)	
2002	5	16	15	14	42.82	-0.15	10	4.2	S AUCUN(65)	
1982	6	12	17	23	43.15	-0.32	5	4.1	SSE PAU(64)	
1982	12	23	14	48	43.05	3.81	5	4.1	S FRONTIGNAN(34)	
1994	9	17	22	48	41.85	2.54	5	4.1	ESPAGNE (REGION DE GERONE)	
1999	8	23	22	30	42.63	0.48	5	4.1	SSE VIELLE-AURE(65)	
2002	9	5	20	42	43.05	-0.40	10	4.1	S PAU(64)	
2004	6	1	16	50	42.30	2.21	5	4.1	ESPAGNE (REGION DE GERONE)	
2004	8	22	10	12	41.20	1.56	10	4.1	ESPAGNE (OUEST DE BARCELONE)	
2006	12	16	8	17	42.99	-0.13	5	4.1	REGION DE LOURDES (65)	
1980	3	10	9	24	43.13	-0.31	5	4.0	SSE PAU(64)	
1981	9	28	1	41	43.09	-0.07	10	4.0	SW TARBES(65)	
1985	2	8	1	31	42.93	0.20	5	4.0	NW VIELLE-AURE(65)	
1996	2	18	2	27	42.75	2.52	5	4.0	W PERPIGNAN(66)	
1998	9	20	6	10	42.11	-2.16	5	4.0	ESPAGNE (REGION DE LOGRONO)	
2004	9	18	12	55	43.00	-1.31	5	4.0	SSW SAINT-JEAN-PIED-DE-PORT(64)	

Figure 50 – Pyrénées : Liste par ordre de magnitude décroissante des séismes dans les Pyrénées ou à proximité ayant atteint ou dépassé la magnitude 4,0 (extrait du fichier BCSF, période 1981-2007)



Figure 51 – Pyrénées : Zonage sismique règlementaire



Figure 52 – Pyrénées : Zonage sismique associé à l'application des Eurocode 8 (prochainement réglementaire)

Provence – Alpes – Côte d'Azur



Synthèse

Figure 53 – Provence-Alpes-Côte d'Azur : Carte sismotectonique

L'affrontement entre les deux grandes plaques Afrique et Eurasie induit une poussée de la microplaque Adriatique sur l'Ouest de l'Europe. Dans le sud-est de la France, **la chaîne alpine est le résultat de cette collision continentale**.

Cette activité tectonique peut occasionnellement donner lieu à des séismes de forte intensité. Ainsi depuis le XVème siècle, la base SisFrance recense **13 séismes d'intensité épicentrale supérieure à VII** pour lesquels l'épicentre est localisé sur la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur (Figure 53).

A l'échelle française, la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur constitue une zone sismiquement active.

3.4. DOSSIER DE PRESSE SUR LA REGION PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR

3.4.1. Contexte sismotectonique de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Contexte géologique et tectonique

La Provence et les Alpes telles qu'elles nous apparaissent aujourd'hui sont le résultat d'une suite de dépôts de sédiments plusieurs fois érodés, plusieurs fois reconstitués et repris par les mouvements extrêmement lents de l'écorce terrestre. Tous ces phénomènes pratiquement insensibles à l'échelle humaine (d'ordre infra millimétrique à quelques centimètres par an) se sont poursuivis pendant des millions d'années pour aboutir au paysage actuel.

Plusieurs indices de déformation tectonique récente ont été décrits au niveau de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Ils montrent le caractère actif des grands accidents régionaux (Figure 54).

Sismicité

Au cours des 5 derniers siècles, plusieurs secousses sismiques ont fortement secoué la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (Figure 55, Figure 56, Figure 57, Figure 58). Les données historiques montrent une concentration d'évènements sismiques dans la partie alpine et subalpine de la région tandis qu'à l'Ouest, la répartition épicentrale des séismes est relativement plus diffuse.

Parmi les évènements sismiques décrits dans les archives historiques et d'intensité épicentrale (Io) au moins égale à VII, on recense :

- Dans les Hautes-Alpes, les séismes de 1884 (lo = VII), 1904 (lo = VII), 1935 (lo = VII), 1959 (lo = VII-VIII)
- Dans les Alpes Maritimes, secteur de la Vésubie, les séismes de 1494 (lo = VIII), 1564 (lo = VIII), 1618 (lo=VIII), 1644 (lo = VIII).
- Dans les Alpes Ligures et au large de la côte d'Azur, les séismes de 1831 (lo = VIII), 1854 (lo = VII-VIII), 1887 (lo = IX), 1896 (lo = VII).
- Dans la région de Digne et Barcelonnette, les séismes de 1863 (lo = VII), 1866 (lo = VII-VIII).
- Dans la région de Castellane, le séisme de 1855 (lo = VIII).
- Dans la vallée de la Moyenne Durance les séismes de 1509 (lo = VIII), 1678 (lo = VIII), 1708 (lo = VII-VIII), 1812 (lo = VII-VIII), 1913 (lo = VII-VIII).
- Dans la région de la Trévaresse et des Costes, le séisme de 1909 (lo = VIII-IX).

Concernant le séisme du 11 juin 1909 (Figure 59), il s'agit du séisme le plus fort ressenti en France métropolitaine au cours du dernier siècle. Les résultats de travaux de recherche publiés très récemment ont démontré que ce séisme avait atteint une magnitude de 6,0, la rupture s'étant initiée entre 5 km et 6 km de profondeur. Par ailleurs, la rupture de 1909 s'est vraisemblablement propagée jusqu'en surface du sol.

Toutefois, la magnitude des séismes enregistrés ces quatre dernières décennies en région Provence-Alpes-Côte d'Azur reste inférieure à 5,0, Figure 56. Les zones alpines (Briançonnais, Embrunnais, Ubaye, Mercantour), des Alpes maritimes, au large de la côte d'Azur (Mer Ligure), ainsi que des environs de Digne et de Castellane correspondent à des secteurs où la sismicité est plus fréquente ou de magnitude généralement plus élevée que dans le reste de la région PACA. La profondeur focale est en général comprise entre 5 km et 20 km. Il s'agit donc d'une sismicité superficielle, l'essentiel des ruptures sismiques étant initié dans la partie supérieure de la lithosphère.

3.4.2. Zonages sismiques de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Le zonage sismique réglementaire s'appuie sur la sismicité historique et divise le territoire national en 5 zones de niveau de sismicité croissant : 0, la, lb, II et III. Ce zonage est basé sur des données de 1984.

Actuellement, ce zonage est en cours d'actualisation. En effet, il est important de le mettre à jour grâce à l'exploitation des nouvelles données concernant la sismicité et les failles, acquises depuis le début des années 80.

De plus, l'application des futures normes européennes Eurocode 8, permettant une harmonisation des législations parasismiques des différents états membres, fait appel à une description probabiliste de l'aléa sismique. C'est le cas de ce zonage qui sera prochainement réglementaire (Figure 61).

Zonage sismique règlementaire

La région Provence-Alpes-Côte d'Azur correspond à l'une des régions les plus sismiques de la métropole française. La moitié de son territoire correspond à des zones de sismicité lb ou II (Figure 60).

Les départements concernés par la classification en zone II d'une partie de leurs cantons sont les Alpes maritimes, qui ont subit les séismes de l'Arrière pays niçois (séismes de 1494, 1564, 1618, 1644) notamment, les Alpes de Haute Provence (vallée de la Moyenne Durance, séismes de Manosque et Beaumont-de-Pertuis, 1509, 1708, 1812, 1913 en particulier), les Bouches-du-Rhône (communes plus particulièrement affectées par le séisme de 1909).

La zone lb est caractérisée par une période de retour de séisme d'intensité au moins égale à VIII considérée inférieure à 250 ans, et une période de retour de séisme d'intensité VII inférieure à 75 ans. La zone lb concerne tous les départements de la région Provence – Alpes – Côte d'Azur.

Zonage sismique associé à l'application des Eurocode 8 (prochainement réglementaire)

Cette nouvelle carte reflète ainsi de façon plus satisfaisante les différentes zones structurales et failles actives identifiées au niveau de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Ainsi il est mieux tenu compte de la sismicité et de l'activité des failles des Alpes internes d'une part mais aussi des chevauchements subalpins (arc de Digne, failles du Lubéron des Costes, par exemple) (Figure 61).

Le département des Alpes Maritimes reste le département qui présente le niveau d'aléa le plus élevé pour la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Néanmoins, tous les départements sont concernés, pour une partie de leur territoire, par la zone d'aléa moyen (les accélérations du sol ayant une probabilité de dépassement de 10% en 50 ans vont de 1,6 m/s² à 3 m/s²) (Figure 61).



Figure 54 – Provence-Alpes-Côte d'Azur : Localisation des principales failles actives de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur



Figure 55 – Provence-Alpes-Côte d'Azur : Epicentres des séismes historiques localisés dans ou à proximité de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (d'après BRGM/EDF/IRSN, SisFrance, 2007)



Figure 56 – Provence-Alpes-Côte d'Azur : Magnitudes des séismes enregistrés depuis 1981 dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur ou à proximité (données BCSF)

année	mois	jour	APPELLATION	numéro du département	longitude	latitude		
1909	6	11	TREVARESSE (LAMBESC)	13	VIII-IX	5°19'	43 <i>°</i> 39'	
46 mort	s, 250 b	lessés	et environ 2000 destructions principaleme Lambesc	nt localisées dans	les villes de Rog	nes, Saint-C	annat et	
1494	6	23	ALPES NICOISES (ROQUEBILLIERE)	6	VIII	7°19'	43 <i>°</i> 59'	
1509	12	13	MOYENNE-DURANCE (MANOSQUE)	4	VIII 5°47'			
1564	7	20	ALPES NICOISES (LA BOLLENE- VESUBIE)	6	VIII	7°19'	44 <i>°</i> 00'	
1618	1	18	ALPES NICOISES (COARAZE)	6	VIII	7°17'	43 <i>°</i> 53'	
1644	2	15	ALPES NICOISES (ROQUEBILLIERE)	6	VIII	7°13'	43°57'	
1708	8	14	MOYENNE-DURANCE (MANOSQUE)	4	VIII	5°46'	43°49'	
1855	12	12	HAUT-VERDON (CHASTEUIL)	4	VIII	6 <i>°</i> 26'	43°51'	
1812	3	20	BASSE-DURANCE (BEAUMONT-DE- PERTUIS)	84	VII-VIII	5°42'	43°45'	
1866	5	19	LARAGNE (LA MOTTE-DU-CAIRE)	4	VII-VIII	6°02'	44°21'	
1913	5	14	MOYENNE-DURANCE (VOLX)	4	VII-VIII	5°51'	43 <i>°</i> 53'	
1951	11	30	HAUT-VERDON (CHASTEUIL)	4	VII-VIII	6 <i>°</i> 25'	43°49'	
1959	4	5	UBAYE (ST-PAUL)	4	VII-VIII	6°49'	44 <i>°</i> 32'	
1708	8	20	MOYENNE-DURANCE (MANOSQUE)	4	VII	5°47'	43 <i>°</i> 50'	
1769	11	18	COMTAT (BEDARRIDES)	84	VII	4 <i>°</i> 50'	44 <i>°</i> 03'	
1769	12	21	COMTAT (BEDARRIDES)	84	VII	4 <i>°</i> 50'	44 <i>°</i> 03'	
1812	3	26	BASSE-DURANCE (BEAUMONT-DE- PERTUIS)	84 VII 5°42'			43°45'	
1863	6	9	MOYENNE-DURANCE (BEYNES)	4	VII	6°13'	43 <i>°</i> 59'	
1884	11	27	QUEYRAS (GUILLESTRE)	5	VII	6°40'	44°47'	
1904	7	12	BRIANCONNAIS (BRIANCON)	5	5 VII 6°40'		44 <i>°</i> 55'	
1905	4	10	BARONNIES (VAISON-LA-ROMAINE)	84	VII	5°00'	44°17'	
1927	7	24	BARONNIES (MALAUCENE)	84	VII	5°12'	44°12'	
1935	3	19	EMBRUNAIS (ST-CLEMENT)	5	VII	6 <i>°</i> 38'	44 <i>°</i> 35'	

Figure 57 – Provence-Alpes-Côte d'Azur : Liste par ordre d'intensité décroissante des séismes d'intensité épicentrale au moins égale à VII, et dont l'épicentre se trouve dans la région Provence-Alpes – Côte d'Azur (d'après SisFrance, BRGM, EDF, IRSN, 2007)

année	mois	jour	heure	minute	latitude	longitude	profondeur focale	magnitude	zone géographique de l'épicentre
1997	10	31	4	23	44.26	6.56	5	4.8	SSW BARCELONNETTE(04)
1991	2	11	15	43	44.81	6.38	5	4.6	WSW BRIANCON(05)
1984	2	19	21	14	43.42	5.51	1	4.5	SE GARDANNE(13)
1984	6	19	11	40	44.02	6.13	5	4.1	SW DIGNE(04)
1996	2	18	4	16	44.76	6.76	5	4.0	SSE BRIANCON(05)
1997	10	3	15	3	44.33	6.44	5	4.0	WSW BARCELONNETTE(04)
2006	09	02	01	21	43.92	7.59	10	4.0	NNE MENTON (06
1983	3	20	16	1	44.17	6.12	5	3.9	NW DIGNE(04)
1985	5	28	0	49	43.42	5.46	1	3.9	S GARDANNE(13)
1994	6	27	17	48	44.49	6.44	5	3.9	WNW BARCELONNETTE(04)
1995	10	13	22	7	44.50	6.85	5	3.9	NE BARCELONNETTE(04)
1980	3	15	8	0	44.26	6.27	15	3.8	N DIGNE(04)
1984	6	30	19	34	44.00	6.13	5	3.8	SW DIGNE(04)
1994	11	24	21	17	43.80	6.44	5	3.8	E RIEZ(04)
1996	12	29	10	18	44.05	7.60	5	3.8	SSE TENDE(06)
1997	11	6	12	39	44.42	6.50	5	3.7	WNW BARCELONNETTE(04)
1986	3	23	13	59	44.31	6.43	5	3.6	WSW BARCELONNETTE(04)
1989	2	12	3	52	44.26	6.46	10	3.6	SW BARCELONNETTE(04)
1991	2	13	15	49	44.86	6.70	5	3.6	SE BRIANCON(05)
1991	2	13	12	54	44.87	6.75	5	3.6	ESE BRIANCON(05)
1993	12	11	13	50	44.05	7.67	5	3.6	ESE TENDE(06)
1994	9	24	4	18	44.56	6.90	5	3.6	NE BARCELONNETTE(04)
1997	10	31	7	15	44.28	6.54	5	3.6	SW BARCELONNETTE(04)
1997	6	26	6	8	43.97	7.30	4	3.6	N NICE(06)
1998	10	30	8	42	43.42	5.45	1	3.6	SSW GARDANNE(13)
2006	10	24	17	31	43.92	7.59	5	3.6	NNE MENTON (06)
1984	5	11	18	8	43.41	5.54	1	3.5	SE GARDANNE(13)
1987	2	5	9	59	43.68	4.62	5	3.5	SE NIMES(30)
1996	11	24	0	27	44.08	7.71	5	3.5	E TENDE(06)
1996	10	17	15	21	43.98	7.51	10	3.5	N MENTON(06)
1998	8	3	14	44	43.40	5.44	1	3.5	SSW GARDANNE(13)
2005	03	25	23	19	44.48	7.27	5	3.5	NNE SAINT-SAUVEUR-SUR-TINET (06)
2005	12	20	23	57	44.10	6.99	5	3.5	SE BARCELONNETTE(04)

Figure 58 – Provence-Alpes-Côte d'Azur : Liste par ordre de magnitude décroissante des séismes de magnitude au moins égale à 3,5 et dont l'épicentre se trouve dans la région Provence-Alpes – Côte d'Azur (d'après, BCSF, période 1981 à 2006) Dossiers de presse sur l'aléa sismique pour 6 régions françaises



Figure 59 – Provence-Alpes-Côte d'Azur : 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)



Figure 60 – Provence-Alpes-Côte d'Azur : Zonage sismique règlementaire



Figure 61 – Provence-Alpes-Côte d'Azur : Zonage sismique associé à l'application des Eurocode 8 (prochainement réglementaire)

Rhône - Alpes





Figure 62 – Rhône - Alpes : Carte sismotectonique

L'affrontement entre les deux grandes plaques Afrique et Eurasie induit une poussée de la microplaque Adriatique sur l'Ouest de l'Europe. Dans le sud-est de la France, la chaîne alpine est le résultat de cette collision continentale.

Cette activité tectonique alpine ou des Limagnes peut, occasionnellement, donner lieu à des séismes de forte intensité. Ainsi depuis le XVème siècle, près d'une vingtaine de séismes d'intensité épicentrale au moins égale à VII et dont l'épicentre se trouve au niveau de la région Rhône Alpes ont été recensés, avec 5 séismes d'intensité VII-VIII. Par ailleurs, proche de la région Rhône Alpes, plusieurs épicentres ont atteint une intensité au moins égale à VII (Figure 62).

3.5. DOSSIER DE PRESSE SUR LA REGION RHONE-ALPES

3.5.1. Contexte sismotectonique de la région Rhône–Alpes

Contexte géologique et tectonique

La région Rhône-Alpes s'étend sur deux domaines tectoniques majeurs :

- à l'ouest, le Massif Central et les fossés d'effondrement des Limagnes d'Allier, et des vallées du Rhône et de la Saône (Bresse),
- l'est, une partie des Alpes occidentales et la terminaison sud du Jura.

Plusieurs indices de déformation tectonique récente ont été décrits en particulier au niveau de la partie alpine de la région Rhône-Alpes. Ils montrent le caractère actif des grands accidents régionaux (Figure 63).

Sismicité

En s'appuyant sur les données de sismicité instrumentale et historique (Figure 64, Figure 65, Figure 66, Figure 67), on peut recenser en moyenne un épicentre de séisme de magnitude supérieure à 3,5 par an et un séisme de magnitude supérieure à 4,5 tous les dix ans dans le sud-est de la France.

Dans l'état actuel des connaissances, la zone la plus active se situe à la fois dans les Alpes internes et le long du Front Pennique où l'activité sismique est quasi quotidienne. Ainsi :

- la région du Valais, Alpes internes septentrionales, comporte des séismes dont l'intensité peut dépasser VIII, « séisme de Brigg » du 9 décembre 1755, lo = VIII-IX, et « séisme de Visp », du 25 juillet 1855, lo = IX.

- les Alpes internes en bordure ouest de la plaine du Pô, notamment dans leurs parties médianes et méridionales recensent près d'une dizaine de séismes d'intensité au moins égale à VII. Parmi eux, le séisme du 2 avril 1808, épicentre situé au sud-ouest de Turin, a atteint l'intensité VIII.

Au sud-est de la région Rhône Alpes, le Briançonnais et l'Ubaye ont aussi une sismicité marquée, avec notamment, des séismes d'intensité épicentrale comprise entre VII et VIII : séismes de 1884 (Guillestre, Io= VII), 1904 (Briançon, Io = VII), 1935 (Saint Clément, Io=VII), 1959 (Saint Paul-sur-Ubaye, Io VII-VIII). L'activité sismique de cette zone est principalement attribuée aux failles subparallèles au Front Pennique et à mouvement normal, failles de la Haute Durance et de Serenne.

A l'ouest, le système de failles « bordières de Belledonne » (parce qu'il s'appuie sur le flanc ouest du massif du même nom) présente une activité sismique notable, la

magnitude des séismes qui s'y produisent peut dépasser 4. Ainsi, durant ces dix dernières années y ont été enregistrés au Nord, le séisme du 11 janvier 1999 (M 4,1) et au sud, celui du 8 septembre 2005 (M 4,9). A l'extrémité Nord-Est du système de failles « bordières de Belledonne », les séismes du 11 mars 1811, 13 août 1905, 19 mai 1954, d'intensité épicentrale VII, et celui du 29 avril 1905 (Lac d'Emosson, massif du Mont Blanc), d'intensité épicentrale VII-VIII sont probablement dûs au rejeu de ce système faillé. L'extrémité sud-est par contre marquée par le séisme du 25 avril 1962 (Corrençon en Vercors), d'intensité épicentrale VII-VIII.

Le sud du Jura, secteur du Bugey, présente une sismicité développée à proximité du Rhône au sud-ouest du lac Léman. Parmi les principales secousses, il s'agit de celles du 18 février 1822 (lo = VII-VIII), du 11 août 1839 (lo = VII, du 17 avril 1936 (lo = VII), du 21 juin 1971 (lo = VII) et, plus récemment, le séisme d'Epagny (épicentre près d'Annecy), du 15 juillet 1996.

Le séisme d'Epagny de 1996 a atteint la magnitude de 5,3, et une intensité épicentrale VII. C'est le rejeu de la faille du Vuache qui est à l'origine du séisme de 1996. La faille du Vuache tient son nom du chaînon qui, au nord-ouest d'Annecy, relie le Jura au massif des Bornes. L'étude des répliques a permis d'établir qu'il s'agissait d'un mouvement en décrochement de la faille, les foyers du séisme de 1996 et de ses répliques étant situés à moins de 5 km de la surface du sol. Le séisme d'Epagny est le plus important séisme qui se soit produit dans les Alpes françaises depuis le séisme de Corrençon (Isère), en 1962. Il a provoqué 400 millions de francs de dégâts, principalement en raison de la faible profondeur du foyer, de sa localisation dans une zone habitée, et surtout d'effets de site (entrée en résonance des couches alluvionnaires peu consolidées de la Plaine d'Épagny). Il a généré une très grande quantité de répliques (plus d'un millier) durant les années qui ont suivi.

Plusieurs séismes d'intensité épicentrale au moins égale à VII sont localisés, en Auvergne, à l'intersection des failles bordières des Limagnes d'Allier et d'Aigueperse – Le Creuzot, ou le long des Limagnes d'Allier ; parmi eux, il s'agit en particulier du séisme du 1^{er} mars 1490 (lo VIII).

Le Sud de la région Rhône – Alpes se trouve à l'extrémité nord des systèmes de failles des Cévennes et de Nîmes et englobe une partie du système de failles chevauchantes du Ventoux. Plusieurs secousses d'intensité épicentrale égale à VII ou VII-VIII y sont localisées ; parmi celles-ci :

- les séismes du Tricastin, lo = VII-VIII, de 1773 et 1873,
- les séismes de 1905, 1927, lo = VII, situés au niveau des failles du Ventoux
- les séismes de 1769, 1952, lo = VII, situés au niveau du système faillé de Nîmes.

Au niveau de la région Rhône Alpes, certains secteurs paraissent peu sismiques, il s'agit notamment de la Bresse, et de la bordure Est et Sud-Est du Massif Central avec le Vivarais et les Cévennes.
3.5.2. Zonages sismiques

Le zonage sismique réglementaire s'appuie sur la sismicité historique et divise le territoire national en 5 zones de niveau de sismicité croissant : 0, la, lb, II et III. Ce zonage est basé sur des données de 1984.

Actuellement, ce zonage est en cours d'actualisation. En effet, il est important de le mettre à jour grâce à l'exploitation des nouvelles données concernant la sismicité et les failles, acquises depuis le début des années 80.

De plus, l'application des futures normes européennes Eurocode 8, permettant une harmonisation des législations parasismiques des différents états membres, fait appel à une description probabiliste de l'aléa sismique. C'est le cas de ce zonage qui sera prochainement réglementaire (Figure 69).

Zonage sismique règlementaire

Aucune commune de la région ne se trouve en zone II. Mais les départements de Haute-Savoie et de Savoie correspondent dans leur totalité à des zones la ou lb du zonage national. A l'inverse, les départements de la Loire et du Rhône sont entièrement situés en zone 0 (Figure 68).

La zone sismique lb correspond pour partie aux Alpes internes et externes, ainsi qu'au Tricastin, zone d'intersection entre le système faillé de Nîmes et la faille du Ventoux.

Zonage sismique associé à l'application des Eurocode 8 (prochainement réglementaire)

Toutes les communes de la région Rhône-Alpes se trouvent en zone d'aléa faible à moyen (Figure 69).

Il n'y a aucune commune en zone d'aléa très faible. Les départements de la Loire et du Rhône restent cependant avec plus de 80% de leurs communes classées en zone d'aléa faible (les accélérations du sol ayant une probabilité de dépassement de 10% en 50 ans vont de 0,7 à 1,1 m/s²). Tandis que les départements de Savoie et de Haute-Savoie ont plus de 70 % des communes classées en zone d'aléa moyen (les accélérations du sol ayant une probabilité de dépassement de 10% en 50 ans vont de 1,6 à 3 m/s².

Les Alpes externes sont entièrement classées en zone d'aléa modéré (les accélérations du sol ayant une probabilité de dépassement de 10% en 50 ans vont de 1,1 à 1,6 m/s²).La zone d'aléa moyen correspond à l'axe constitué par les massifs cristallins de Belledonne et du Mont Blanc, et marqué par le système de failles bordières de Belledonne.



Figure 63 – Rhône – Alpes : Localisation des principales failles actives



Figure 64 – Rhône – Alpes : Epicentres des séismes historiques (D'après BRGM/ EDF/IRSN,SisFrance, 2007)



Figure 65 – Rhône – Alpes : Magnitudes des séismes enregistrés depuis 1981 (données BCSF)

année	mois	jour	appellation	dépar- tement	intensité épicentrale	longitude	latitude
1773	1	23	TRICASTIN (CLANSAYES)	26	VII-VIII	4°48'	44°22'
1822	2	19	BUGEY (BELLEY)	1	VII-VIII	5°49'	45°49'
1873	7	19	TRICASTIN (CHATEAUNEUF-DU-RHONE)	26	VII-VIII	4°43'	44 <i>°</i> 29'
1873	8	8	TRICASTIN (CHATEAUNEUF-DU-RHONE)	26	VII-VIII	4°45'	44°27'
1962	4	25	VERCORS (CORRENCON-EN-VERCORS)	38	VII-VIII	5°34'	45 <i>°</i> 00'
1817	3	11	MASSIF DU MONT-BLANC (CHAMONIX)	74	VII	6°50'	45°54'
1839	8	11	AVANT-PAYS SAVOYARD (ANNECY) 74 VII		6°08'	45°54'	
1877	10	8	FAUCIGNY (LA ROCHE-SUR-FORON) 74 VII		6°19'	46°04'	
1879	12	30	CHABLAIS (ST-JEAN-D'AULPS) 74 VII		6°39'	46°12'	
1881	7	22	BELLEDONNE-PELVOUX 73 VII		6°16'	45°19'	
1901	5	13	BAS-PLATEAUX DAUPHINOIS (MANAS) 26 VII		5°00'	44 <i>°</i> 36'	
1905	8	13	MASSIF DU MONT-BLANC (CHAMONIX)	MASSIF DU MONT-BLANC (CHAMONIX) 74 VII		7°01'	45°59'
1934	5	12	TRICASTIN (VALAURIE)	26	VII	4°47'	44°24'
1936	4	17	AVANT-PAYS SAVOYARD (FRANGY)	74	VII	5°56'	46°03'
1952	6	8	BARONNIES (PIERRELONGUE) 26 VII		VII	5°13'	44°15'
1963	4	25	VERCORS (MONTEYNARD) 38 VII		5°40'	44 °56'	
1963	4	27	VERCORS (MONTEYNARD)	38	VII	5°39'	44 °56'
1968	8	19	CHABLAIS (ABONDANCE)	74	VII	6°46'	46°18'
1996	7	15	AVANT-PAYS SAVOYARD (EPAGNY- ANNECY)	74	VII	6°05'	45°55'

Figure 66 – Rhône – Alpes : Epicentres par orde décroissant d'intensité des séismes historiques localisés dans la région Rhône – Alpes et d'intensité égale ou supérieure à VII (extrait de SisFrance, BRGM, EDF, IRSN, 2007)

année	mois	jour	heure	minute	latitude	longitude	profondeur focale	magnitude	zone géographique de l'épicentre	
1996	7	15	0	13	45.92	6.11	5	5.2	NW ANNECY(74)	
2005	9	8	11	27	46.01	6.87	10	4.9	SE THONON-LES-BAINS(74)	
1980	12	2	5	58	45.76	6.33	8	4.7	NNW ALBERTVILLE(73)	
1994	12	14	8	55	45.97	6.36	5	4.7	ENE ANNECY(74)	
1984	4	17	8	53	44.96	5.03	5	4.4	ENE VALENCE(26)	
1996	7	23	4	8	45.96	6.16	5	4.3	NNE ANNECY(74)	
1984	4	19	20	41	44.94	5.04	5	4.2	E VALENCE(26)	
1984	11	5	7	55	45.26	6.49	5	4.2	WNW MODANE(73)	
1984	5	3	8	56	46.08	6.50	5	4.2	S THONON-LES-BAINS(74)	
1999	1	11	3	36	45.05	5.78	5	4.1	SSE GRENOBLE(38)	
1982	11	8	13	2	46.11	6.31	5	4.1	SE ANNEMASSE(74)	
1997	5	15	0	24	45.23	6.63	5	4.1	NW MODANE(73)	
1995	9	4	21	1	45.73	6.16	5	4.0	WNW ALBERTVILLE(73)	
1985	1	4	23	59	45.29	6.55	5	3.9	NW MODANE(73)	
1988	6	5	18	39	45.59	5.46	5	3.8	SE CREMIEU(38)	
1992	12	28	3	14	45.81	5.46	5	3.8	ENE CREMIEU(38)	
1995	9	4	17	2	45.70	6.24	5	3.8	WNW ALBERTVILLE(73)	
1989	3	11	18	42	45.66	6.68	5	3.8	ESE BEAUFORT(73)	
2006	1	11	10	32	45.92	5.41	5	3.7	NNE CREMIEU(38)	
1994	9	1	6	2	45.47	5.69	5	3.7	WSW CHAMBERY(73)	
1996	7	15	5	46	45.99	6.25	5	3.7	NE ANNECY(74)	
1988	6	11	22	44	45.91	6.82	5	3.7	NE BEAUFORT(73)	
2005	9	8	11	29	46.01	6.87	10	3.7	SE THONON-LES-BAINS(74)	
2006	01	11	10	32	45.92	5.41	5	3.7	NNE CREMIEU (38)	
1994	2	3	3	46	45.54	5.71	5	3.6	WSW CHAMBERY(73)	
2005	10	31	3	39	45.68	6.40	5	3.6	NNE ALBERTVILLE(73)	
1990	2	14	15	55	46.31	6.69	5	3.6	ESE THONON-LES-BAINS(74)	
2003	5	25	23	3	45.12	6.50	5	3.6	SW MODANE(73)	
1999	9	13	23	27	45.42	5.42	5	3.5	NE ROYBON(38)	
1995	9	8	16	46	45.24	6.02	5	3.5	ENE GRENOBLE(38)	
1980	12	2	6	14	45.73	6.29	5	3.5	NW ALBERTVILLE(73)	
1983	11	11	21	10	45.48	6.97	5	3.5	NE MODANE(73)	
1996	9	14	22	54	46.05	6.76	5	3.5	SSE THONON-LES-BAINS(74)	
2000	8	19	8	37	46.05	6.76	5	3.5	SSE THONON-LES-BAINS(74)	

Figure 67 – Rhône - Alpes : Magnitudes par orde décroissant des séismes localisés dans	la
région Rhône – Alpes et de magnitude au moins égale à 3,5 (d'après BCSF, période 1981	l à
2006)	

r



Figure 68 – Rhône – Alpes : Zonage sismique règlementaire



Figure 69 – Rhône – Alpes : Zonage sismique associé à l'application des Eurocode 8 (prochainement réglementaire)

Alsace



Figure 70 – Alsace : Carte sismotectonique

Les mouvements tectoniques qui affectent aujourd'hui l'Alsace, et plus globalement le fossé Rhénan supérieur, résultent des contraintes générées en avant de la collision alpine. La microplaque Adriatique, qui correspond approximativement à l'actuelle Italie, pousse le continent Européen. Ce mouvement induit dans le fossé Rhénan une compression.

Le plus fort séisme ressenti en Alsace au XXème siècle est celui dit de Sierentz (Habsheim, région de Mulhouse) du 15 juillet 1980 (M=4.9). La base de données SisFrance répertorie 14 séismes d'intensité épicentrale supérieure ou égale à VI dans le Haut-Rhin et le Bas-Rhin depuis 1239, auxquels il convient d'ajouter de nombreux évènements, dans les régions limitrophes, qui ont affecté plus ou moins sévèrement l'Alsace. Parmi ceux-ci, le séisme de Bâle du 18 octobre 1356 (intensité épicentrale de VIII-IX) est un des plus violents tremblements de terre décrit en Europe de l'ouest (Figure 70).

3.6. DOSSIER DE PRESSE SUR LA REGION ALSACE

3.6.1. Contexte sismotectonique de la région Alsace

Contexte géologique et tectonique

Le fossé Rhénan supérieur est un bassin sédimentaire, d'origine tectonique (graben du Rhin), qui s'étend sur plus de 300 km, entre Bâle (Suisse) et Frankfurt (Allemagne) pour une largeur moyenne de 40 km environ. Ses épaulements, qui le bordent à l'ouest et à l'est, forment les massifs des Vosges et de la Forêt Noire respectivement.

Les principales failles qui constituent le fossé Rhénan et dont certaines traversent l'Alsace sont (Figure 71) :

- Les failles bordières du graben. Elles séparent le graben, à l'ouest et à l'est, des massifs qui le bordent (Vosges et Forêt Noire respectivement);
- Des failles à l'intérieur du fossé Rhénan et qui lui sont globalement parallèles ;
- Les chevauchements frontaux du Jura, qui forment les reliefs du Sundgau et se propagent jusqu'au sud de Mulhouse.

Il faut noter que le graben du Rhin présente une structure asymétrique, qui s'inverse entre sa partie nord et sa partie sud, de part et d'autre d'un accident ancien prolongement est probable de la faille de Vittel. Au sud, la faille bordière principale du graben est celle qui borde aussi les Vosges ; elle se trouve donc à l'ouest du graben ; elle s'étend en profondeur jusqu'à 20 à 25 km, à la base de la croûte. Au nord, la faille bordière principale est celle qui borde la Forêt Noire ; il s'agit donc de la faille orientale du graben, elle s'étend elle-aussi jusqu'à la base de la croûte.

Plusieurs indices d'activité tectonique récente sont décrits en Alsace et dans les régions limitrophes dans la base de données NéoPal (<u>http//www.neopal.net</u>). Ils attestent de l'activité tectonique quaternaire à actuelle de cette région.

Sismicité

Dans l'état actuel des connaissances, la zone la plus active sur le plan sismique en Alsace est le <u>Sundgau</u> dans le sud du Haut-Rhin, tant par le nombre que par l'intensité des séismes qui l'ont touché, (Figure 72, Figure 73, Figure 74, Figure 75). La région bâloise, à cheval sur la frontière franco-suisse, a connu plusieurs séismes historiques d'intensité VI ou plus. Notons celui de Bâle (Suisse) du 18 octobre 1356 (intensité épicentrale VIII-IX) qui est un des plus forts événements rapportés en Europe de l'ouest.

Concernant le séisme du 18 octobre 1356, il s'agit de la secousse principale d'une crise sismique qui a débuté en octobre 1356 et s'est poursuivie jusqu'au début de l'année 1357. Les effets du choc principal du 18 octobre 1356 ont touché jusqu'à Berne, Soleure, Zürich et Lucerne en Suisse, Constance en Allemagne, et jusqu'à

Metz, Besançon, Dijon, Montbard, Reims, Vitry-le-François, Troyes et Paris en France. Les dernières études attribuent la cause de ce séisme à une faille située au sud de la ville de Bâle. L'analyse détaillée des données macrosismiques a permis une estimation de 6,2 de magnitude concernant la secousse principale du 18 octobre.

Bien que moins soutenue, l'activité sismique du <u>fossé Rhénan</u> est significative et apparaît plus forte que celle des régions voisines. Ceci est confirmé par sa sismicité historique qui dénombre plus d'une dizaine de séismes d'intensité VI à VI-VII et 4 séismes d'intensité VII.

Le séisme le plus récent (Sierentz, 15 juillet 1980) est à l'origine d'une crise sismique qui s'est poursuivie jusqu'au 19 septembre de la même année. Il causa quelques dommages légers (fissuration de murs, chute de tuiles et de cheminées) dans la région de Heschentzwiller, Habsheim et Zimmersheim. Il a été ressenti jusqu'à Bischwiller (Bas-Rhin), Toul (Meurthe-et-Moselle), Lamarche (Vosges) ou encore Pont-à-Mousson (Meurthe-et-Moselle), à 170 km de l'épicentre.

Le <u>massif Vosgien</u> ne montre qu'une activité sismique diffuse et peu intense. Toutefois, il a subi plusieurs séismes historiques, d'intensité V-VI à VI. Enfin, il convient de noter que l'ouest du massif est le siège d'une sismicité non négligeable, avec notamment le séisme de Remiremont, du 12 mai 1682 (intensité VIII) ressenti jusqu'en Allemagne (Francfort, Stuttgart, Nürnberg), en Suisse (Genève, Zürich) et dans plusieurs régions de France (Bresse, Lyonnais, Savoie, Dauphiné, Flandres, Ile de France, Centre).

3.6.2. Zonages sismiques

Le zonage sismique réglementaire s'appuie sur la sismicité historique et divise le territoire national en 5 zones de niveau de sismicité croissant : 0, la, lb, II et III. Ce zonage est basé sur des données de 1984.

Actuellement, ce zonage est en cours d'actualisation. En effet, il est important de le mettre à jour grâce à l'exploitation des nouvelles données concernant la sismicité et les failles, acquises depuis le début des années 80.

De plus, l'application des futures normes européennes Eurocode 8, permettant une harmonisation des législations parasismiques des différents états membres, fait appel à une description probabiliste de l'aléa sismique. C'est le cas de ce zonage qui sera prochainement réglementaire (Figure 77).

Zonage sismique réglementaire

Aucune portion du département du Haut-Rhin n'est classée en zone de sismicité négligeable (zone 0) et seule une petite portion (extrémité nord du département) est classée en zone de sismicité très faible (zone la) (Figure 76). La plus grande partie du département est classée en zone de sismicité faible (zone lb) mais le tiers sud du département (sud de Mulhouse) est classé en zone de sismicité moyenne (zone II).

Du point de vue sismotectonique, cette zone correspond à une région transfrontalière de forte activité sismique où s'est produit, notamment le séisme de Bâle du 18 octobre 1356.

La sismicité dans le Bas-Rhin est considérée comme plus faible et le département est classé approximativement à parts égales en zones de sismicité négligeable (zone 0, ouest du département), de sismicité très faible (zone la, centre du département) et de sismicité faible (zone lb, est du département).

Zonage sismique associé à l'application des Eurocode 8 (prochainement réglementaire)

Ce zonage propose une classification plus homogène en Alsace (Figure 77).

Ainsi, le sud du Haut-Rhin est classé en zone d'aléa moyen (les accélérations du sol ayant une probabilité de dépassement de 10% en 50 ans vont de 1,6 à 3,0 m/s²) tandis que tout le reste du département est classé en zone d'aléa modéré (les accélérations du sol ayant une probabilité de dépassement de 10% en 50 ans vont de 1,1 à 1,6 m/s²).

Le Bas-Rhin est classé en zone d'aléa modéré pour la quasi-totalité du département, hormis son extrémité ouest qui est classée en zone d'aléa faible (les accélérations du sol ayant une probabilité de dépassement de 10% en 50 ans vont de 0,7 à 1,1 m/s²).



Figure 71 – Alsace : Localisation des principales failles actives de la région Alsace



Figure 72 – Alsace : Epicentres des séismes historiques (d'après BRGM/EDF/IRSN, SisFrance, 2007) de la région Alsace et départements proches



Figure 73 – Alsace : Magnitudes des séismes enregistrés depuis 1981 dans la région Alsace et départements proches (données BCSF)

année	mois	jour	appellation	Numéro de dépar- tement	intensité épicentrale	longitude	latitude
1356	10	18	JURA SUISSE (BALE) - SUISSE	-	IX	7°36'	47°29'
Destru	ction d	e la vi	lle de Bâle (Suisse), environ 300 morts à Bâle. Nombreuses à la France et à l'Allemagne. Ressenti jusqu'en 2	destructions ile de Franc	s sur une vaste	e région s'é	tendant
1682	5	12	HAUTES-VOSGES (REMIREMONT)	88	VIII	6°31'	47°58'
1952	10	8	OUTRE-FORET (WISSEMBOURG)	67	VII	7°59'	48°57'
1952	9	29	OUTRE-FORET (WISSEMBOURG)	67	VI-VII	7°58'	48°50'
1980	7	15	PLAINE DE HAUTE-ALSACE (HABSHEIM)	68	VI-VII	7°24'	47°43'
2003	2	22	PAYS FORESTIER SOUS-VOSGIEN (RAMBERVILLERS)	88	VI-VII	6°42'	48°20'
1669	10	10	PLAINE DE BASSE-ALSACE (STRASBOURG)	67	VI	7°45'	48 <i>°</i> 35'
1757	1	18	VOSGES COMTOISES (PLANCHER-LES-MINES)	70	VI	6°44'	47°46'
1763	9	4	OUTRE-FORET (LAUTERBOURG)	67	VI	8°11'	48°58'
1784	11	29	SUNDGAU (ALTKIRCH ?)	68	VI	7°15'	47°37'
1901	5	22	PLAINE DE HAUTE-ALSACE (ST-LOUIS)	68	VI	7°30'	47 <i>°</i> 34'
1955	11	23	AVANT-PAYS JURASSIEN (MONTARLOT-LES-RIOZ)	70	VI	5°59'	47 <i>°</i> 25'
1955	11	3	AVANT-PAYS JURASSIEN (MONTARLOT-LES-RIOZ)	70	VI	6°00'	47°25'
1959	9	4	PLAINE DE BASSE-ALSACE (ERSTEIN)	67	VI	7 <i>°</i> 38'	48°21'
1984	12	29	HAUTES-VOSGES (ELOYES-REMIREMONT)	88	VI	6°36'	48°04'

Figure 74 – Alsace : Liste des séismes par ordre décroissant d'intensité localisés dans la région Alsace et départements voisins et ayant atteint ou dépassé l'intensité VI (extrait de SisFrance, BRGM, EDF, IRSN, 2007)

année	mois	jour	heure	minute	latitude	longitude	profondeur focale	magnitude	zone géographique de l'épicentre	
2003	2	22	20	41	48.31	6.66	10	5.4	NE EPINAL(88)	
1980	7	15	12	17	47.67	7.45	5	4.9	SE MULHOUSE(68)	
1984	12	29	11	2	48.06	6.54	5	4.8	SSE EPINAL(88)	
1984	12	29	11	3	47.96	6.53	5	4.5	SSE EPINAL(88)	
1984	12	29	14	2	48.01	6.54	5	4.3	SSE EPINAL(88)	
1984	12	29	14	54	48.13	6.61	5	4.2	ESE EPINAL(88)	
1984	12	24	16	44	48.03	6.54	5	4.1	SSE EPINAL(88)	
1984	12	31	23	26	48.04	6.56	5	4.1	SSE EPINAL(88)	
1984	12	22	2	18	48.09	6.56	5	4.1	SE EPINAL(88)	
1985	1	2	18	39	48.06	6.55	5	4.0	SSE EPINAL(88)	
1985	2	28	21	33	47.64	7.40	5	4.0	SSE MULHOUSE(68)	
1980	7	16	15	0	47.68	7.48	10	4.0	SE MULHOUSE(68)	
1980	7	15	12	54	47.71	7.45	5	3.9	ESE MULHOUSE(68)	
1980	7	22	22	46	47.69	7.46	5	3.9	ESE MULHOUSE(68)	
2005	05	12	01	38	47.29	7.63	10	3.9	SSE MULHOUSE(68)	
2005	11	12	19	31	47.52	8.14	10	3.8	ESE MULHOUSE(68)	
1984	12	29	15	50	48.08	6.56	5	3.8	SE EPINAL(88)	
1984	12	29	14	1	48.09	6.58	5	3.8	SE EPINAL(88)	
1984	12	31	16	44	48.12	6.60	5	3.8	ESE EPINAL(88)	
1986	5	1	13	25	49.12	6.71	1	3.8	WSW FREYMING-MERLEBACH(57)	
1992	5	19	14	25	49.08	6.86	1	3.8	SSE MERLEBACH(57)	
1980	9	19	1	54	47.69	7.47	5	3.8	ESE MULHOUSE(68)	
1981	7	21	21	50	47.67	7.47	5	3.8	SE MULHOUSE(68)	
1980	7	16	3	38	47.68	7.48	5	3.7	ESE MULHOUSE(68)	
2001	6	21	19	55	49.14	6.84	1	3.7	ESE MERLEBACH(57)	
2005	09	22	19	43	49.37	6.83	1	3.7	N MERLEBACH(57)	
2006	12	08	16	48	47.6	7.59	10	3.6	SE MULHOUSE(68)	
2000	6	14	2	25	49.19	6.58	1	3.6	WNW FREYMING-MERLEBACH(57)	
1993	8	3	9	1	49.12	6.72	1	3.6	WSW FREYMING-MERLEBACH(57)	
1997	2	1	14	1	47.67	7.42	10	3.6	SE MULHOUSE(68)	
1982	3	21	12	20	47.73	6.12	5	3.5	NNW VESOUL(70)	
1982	11	2	23	56	48.01	6.56	5	3.5	SSE EPINAL(88)	
1989	9	3	15	9	47.75	7.06	5	3.5	NE BELFORT(90)	
1984	12	29	11	9	48.04	6.54	5	3.5	SSE EPINAL(88)	
1998	1	5	4	47	49.15	6.80	1	3.5	MERLEBACH(57)	
2005	07	20	01	27	49.34	6.82	1	3.5	N MERLEBACH(57)	

Figure 75 – Alsace : Liste par ordre décroissant de magnitude des séismes localisés dans la région Alsace et départements voisins et ayant atteint ou dépassé la magnitude 3,5 (d'après BCSF, période 1981 à 2006)



Figure 76 – Alsace : Zonage sismique règlementaire



Figure 77 – Alsace : Zonage sismique associé à l'application des Eurocode 8 (prochainement réglementaire)

Archipel Guadeloupéen

Synthèse

La plaque Caraïbe se déplace, de manière relative, par rapport au front de subduction matérialisé par les limites de plaques Nord Amérique et Sud Amérique qui la bordent au nord, à l'est et au sud. Ce mouvement se traduit, dans la région des Petites Antilles par une convergence entre la plaque Caraïbe et le plancher océanique Atlantique à une vitesse d'environ 2 cm/an. Une grande partie de cette convergence est absorbée dans la zone de subduction (enfoncement de la lithosphère atlantique sous l'arc des Petites Antilles) mais une fraction résiduelle entraîne des déformations à l'intérieur même de la plaque Caraïbe.

L'archipel guadeloupéen correspond à un niveau élevé de sismicité. Ceci est dû non seulement aux séismes lointains de la zone de subduction Amérique /Caraïbe, mais aussi à l'activité sismique intraplaque Caraïbe. Parmi les principaux séismes historiques qui ont affecté l'archipel de la Guadeloupe, le séisme du 8 février 1843 (Intensité IX-X) correspond à un séisme profond de la zone de subduction, tandis que les séismes du 29 avril 1897 (Intensité VIII) et celui, plus récent, du 21 novembre 2004 (Intensité VIII) sont dus à des déformations au sein de la plaque Caraïbe (Figure 78).



Figure 78 – Guadeloupe : carte sismotectonique

3.7. DOSSIER DE PRESSE SUR L'ARCHIPEL GUADELOUPEEN

3.7.1. Contexte sismotectonique

Contexte géologique et principales failles

La plaque tectonique des Caraïbes s'étend d'ouest en est depuis la côte pacifique d'Amérique centrale jusqu'à la fosse océanique à l'est des Petites Antilles, et du nord au sud depuis les Grandes Antilles jusqu'aux côtes du Venezuela et de Colombie. La Guadeloupe fait partie de l'arc des Petites Antilles qui constitue la bordure orientale de la plaque Caraïbe.

Au nord de la Martinique, l'arc des Petites Antilles est double. Il est constitué d'un arc externe ancien et d'un arc interne volcanique récent. Le socle volcanique de l'arc ancien, d'âge Paléocène supérieur à Miocène inférieur (-50 à -20 millions d'années), a été érodé et forme aujourd'hui une série d'îles basses, recouvertes de platiers coralliens plio-quaternaires. L'arc interne est actif depuis le Miocène supérieur. Les volcans de Montserrat, de la Guadeloupe et de la Martinique, connus pour leurs violentes éruptions, sont alignés le long de cet arc.

Grande-Terre, Marie-Galante et la Désirade se trouvent au niveau de l'arc externe. Une épaisse formation de calcaires récifaux recouvre le substratum volcanique ancien. L'île de Basse Terre correspond par contre à une île plus jeune. Il s'agit d'une île volcanique de l'arc interne, les formations volcaniques les plus récentes de l'île étant par ailleurs situées dans sa partie sud.

En raison de la difficulté liée à l'étude des structures tectoniques sous-marines et au contexte volcanique d'une part et tropical humide d'autre part, les connaissances des failles actives aux Antilles contiennent encore de nombreuses incertitudes. Les descriptions ci-après concernent les principales failles connues ou supposées de l'archipel de la Guadeloupe (Figure 79, Figure 80).

Basse-Terre

L'île de Basse-Terre en Guadeloupe est constituée de plusieurs épisodes volcaniques qui se sont mis en place au cours des 3,5 derniers millions d'années.

La partie sud de l'île bénéficie d'une meilleure connaissance des failles que pour ce qui concerne la partie nord. La faille principale est celle de Capesterre, elle rejoint à l'est le système de faille de Morne Piton – banc de Colombie, et à l'Ouest, le système faillé Montserrat – Bouillante. Par ailleurs, plusieurs failles, a priori d'importance moindre sont présentes.

• Grande-Terre

L'île de Grande-Terre peut être divisée en plusieurs zones présentant des géométries de failles distinctes.

La partie nord de l'île est recoupée par deux failles principales (Failles de la Pointe de la Vigie et de la Montagne Vercinot) qui forment des marches dans la topographie.

La partie sud de l'île est recoupée par plusieurs failles. Ces failles, dont la plus importante est celle de Gosier, forment un réseau complexe entre Pointe-à-Pitre et la Pointe-des-Châteaux.

Enfin, la plaine de Grippon, au centre de l'île, est bordée par des failles subparallèles (failles de Nord Grippon et Sud Grippon).

Marie-Galante

L'île de Marie-Galante est constituée par un plateau calcaire, très nettement décalé dans sa partie nord par la faille de Morne Piton. Cette faille a généré dans la topographie un escarpement de plus de 60 m de dénivelé. Elle correspond à une des failles bordières du fossé de Marie Galante. Dans son prolongement ouest se trouve la faille du banc de Colombie puis, au niveau de Basse Terre, le système faillé de Capesterre, et enfin au nord-ouest de l'île de Basse terre, celui de Montserrat-Bouillante.

• La Désirade

Le contexte tectonique de l'île de la Désirade est mal connu. Néanmoins il semble que l'île soit découpée en deux par une faille dont le jeu paraît très récent (moins de 150 000 ans).

Les Saintes

Les Saintes sont constituées par la partie émergée d'édifices volcaniques. Elles se trouvent dans le prolongement d'un ensemble de failles localisées en mer entre les îles des Saintes et la Dominique. La faille du Roseau constituerait une des principales failles de ce système. Mais c'est la faille du Souffleur qui serait à l'origine du séisme du 21 novembre 2004.

• Failles en mer

L'observation des cartes bathymétriques de l'archipel permet d'identifier plusieurs structures actives, parmi celles-ci, il s'agit notamment :

 du système de failles de Montserrat - Bouillante qui relie la côte ouest de Basse-Terre à l'île de Montserrat ;

- du fossé de la Désirade longue de 80 et large de 30 km environ, bordée de part et d'autre par des failles normales ;
- du graben de Marie-Galante : fossé long de plus de 120 km et bordé de part et d'autre par des systèmes de failles normales dont fait partie la faille de Morne-Piton à Marie-Galante.

Enfin, il convient de rappeler que la subduction à l'est des Petites Antilles constitue une structure active majeure, susceptible de générer des séismes dont, même si ils sont relativement lointains, la magnitude peut être très élevée.

Tectonique récente

C'est au niveau des îles coralliennes de l'arc externe que l'identification et la caractérisation des failles actives est la plus simple. En effet, le plateau corallien qui coiffe ces îles, marqueur géologique récent, présente aujourd'hui des escarpements notables (parfois de plusieurs dizaines de mètres), formant des marches dans la topographie actuelle ; ces escarpements correspondent pour la plupart à la trace en surface de failles actives à jeu normal. Parmi les principaux escarpements de failles actives, il s'agit de ceux liés aux failles de Morne-Piton à Marie-Galante et de Gosier, Vercinot, la Grande Vigie à Grande-Terre.

Les relevés bathymétriques indiquent aussi d'importants escarpements sous-marins, dont la plupart sont eux-aussi assimilés à des escarpements de failles actives. Parmi ces failles sous-marines majeures, il s'agit notamment :

- au large de Basse Terre, de la faille du Banc de Colombie, du système de failles de Montserrat-Bouillante ;

- entre les Saintes et la Dominique, des failles telles que celles du Roseau, Souffleur, Rodrigues, Marigot ;

- au large de Grande Terre, des failles bordières du fossé de la Désirade.

D'autres indices de ruptures en surface ont été décrits en Guadeloupe, tant dans les formations calcaires que volcaniques. Ces déformations sont généralement associées à des mouvements distensifs. Les failles qui présentent ces indices de ruptures quaternaires sont notamment : la faille de Capesterre ainsi que les failles de Basse Terre, la faille de Morne-Piton à Marie-Galante.

Sismicité

La distribution dans l'espace de la sismicité instrumentale permet d'imager la géométrie du plan de subduction qui s'enfonce jusque sous l'archipel guadeloupéen. (Figure 81, Figure 82, Figure 83, Figure 84, Figure 85).

L'épaisseur de la croûte continentale Caraïbe est en moyenne de 30 km. La sismicité qui y est enregistrée est donc plus superficielle. Elle met en évidence l'activité

tectonique des structures intraplaque, en particulier dans le sud de Basse Terre et dans le graben de Marie-Galante.

Au niveau ou à proximité des îles de la Guadeloupe, les principaux séismes historiques ressentis sont les suivants :

- Le séisme du 8 février 1843, d'intensité lo estimée à IX-X, est le plus important ressenti dans l'archipel. Il causa la mort de 1500 personnes environ et la destruction de Pointe-à-Pitre. Ce séisme est probablement lié à la subduction de la lithosphère atlantique sous l'arc Antillais.
- Le séisme du 16 mai 1851, d'intensité épicentrale égale à VII, épicentre proche de la ville de Capesterre. Cet événement est probablement à relier au système de faille qui borde le graben de Marie-Galante au sud, faille du banc de Colombie.
- Le séisme du 29 avril 1897, d'intensité épicentrale VIII, dont l'épicentre est situé dans la baie de Pointe-à-Pitre. Cet événement est probablement associé au système de faille de Gosier.

Le 3 août 1992 un séisme de magnitude 5,6 a été enregistré à 40 km à l'est de l'île de Marie-Galante et le 1^{er} novembre 1983, un séisme enregistré à moins de 20 km à l'est de la même île avait atteint la magnitude 4,8. Ces deux secousses sont attribuées au rejeu des failles bordières du bassin de Marie Galante.

Très récemment, le tremblement de terre du 21 novembre 2004, localisé à environ 15 km au sud-est des Saintes, a atteint la magnitude 6,3. Il est dû à l'une des failles normales (faille du Souffleur) qui structurent le plateau continental entre les Saintes et la Dominique.

Entre 1981 et 1994, trois séismes de magnitude 4,6 à 4,8 ont été enregistrés le long de la faille bordière sud du fossé de la Désirade.

3.7.2. Zonages sismiques

Le zonage sismique réglementaire s'appuie sur la sismicité historique et divise le territoire national en 5 zones de niveau de sismicité croissant : 0, la, lb, ll et III. Ce zonage est basé sur des données de 1984.

Actuellement, ce zonage est en cours d'actualisation. En effet, il est important de le mettre à jour grâce à l'exploitation des nouvelles données concernant la sismicité et les failles, acquises depuis le début des années 80.

De plus, l'application des futures normes européennes Eurocode 8, permettant une harmonisation des législations parasismiques des différents états membres, fait appel à une description probabiliste de l'aléa sismique. C'est le cas de ce zonage qui sera prochainement réglementaire.

Zonage sismique réglementaire

En raison de la forte activité sismique de l'arc des Petites Antilles, lié au contexte de frontière de plaques tectonique, l'intégralité du territoire de la Guadeloupe est classée en zone de sismicité forte (zone III). La Guadeloupe et la Martinique sont d'ailleurs les deux seules zones de sismicité forte du zonage sismique réglementaire de la France.

Zonage sismique associé à l'application des Eurocode 8 (prochainement réglementaire)

Cette évaluation ne change pas fondamentalement le zonage sismique aux Antilles puisque l'intégralité du territoire de la Guadeloupe, comme la Martinique, est classé en zone d'aléa fort. Les accélérations du sol ayant une probabilité de dépassement de 10% en 50 ans sont supérieures à 3 m/s².



Figure 79 – Guadeloupe : Localisation des principales failles au nord de l'arc des Petites Antilles (d'après Feuillet et al., 2002, modifié)



Figure 80 – Guadeloupe : Localisation des failles principales de l'archipel guadeloupéen (d'après Terrier et al., 2002, Feuillet et al., 2004)



Figure 81 – Guadeloupe : Localisation en profondeur des séismes aux environs de la Guadeloupe (d'après Geo-Ter, 2002 , modifié)



Figure 82 – Guadeloupe : Localisation des épicentres de séismes historiques (d'après BRGM, SisFrance-Antilles, 2007)



Figure 83 – Guadeloupe : Magnitudes de séismes enregistrées entre janvier 1981 et décembre 1999 (d'après IPG-P) et séisme du 21/11/2004

année	mois	jour	intensité épicentrale	longitude	latitude	appellation		
1843	2	8	IX-X	-61.17	17.15	NORD-EST GUADELOUPE		
Ville de Pointe-à-Pitre sévèrement touchée et quasiment détruite par l'incendie qui se déclenche après le séisme. Environ 3000 morts. La secousse est ressentie dans toutes les îles des Petites Antilles.								
1839 1 11 IX -60.50 14.50 SUD-EST MARTINIQUE								
Destruction quasi-totale des habitations de Fort-de-France (alors appelée Fort-Royal). Environ 300 morts (sans								
Compter les nombreux esclaves non-comptabilises)								
1690	4	16	VIII	-62.33	17.20			
1950	12	29	VIII	-62.65	17.02	SAINT-KITTS NEVIS		
1935	11	10	VIII	-62.10	16.83	MONTSEBBAT		
1897	4	29	VIII	-61.53	16.20			
2004	11	21	VIII	-61.53	15.75	SUD-EST LES SAINTES		
1727	11	7	VIII	-60.75	14.98	NORD-EST MARTINIQUE		
1895	5	20	VII-VIII	-62.03	17.50	BARBUDA		
1735	7	27	VII-VIII	-61.80	16.65	NORD GUADELOUPE		
1946	5	21	VII-VIII	-60.47	14.80	MARTINIQUE		
1802	6	16	VII-VIII	-61.07	14.60	MARTINIQUE (FORT-DE-FRANCE)		
1969	12	25	VII	-60.58	15.37	DOMINIQUE		
1950	12	27	VII	-62.65	17.20	SAINT-KITTS, NEVIS		
1950	12	31	VII	-62.67	17.22	SAINT-KITTS, NEVIS		
1851	5	16	VII	-61.47	16.03	GUADELOUPE (CAPESTERRE)		
1999	6	8	VII	-60.70	14.97	MARTINIQUE (EST CARAVELLE)		
1827	11	30	VII	-60.82	14.98	NORD-EST MARTINIQUE		
1961	11	7	VI-VII	-62.65	17.18	SAINT-KITTS, NEVIS		
1961	11	2	VI-VII	-62.65	17.18	SAINT-KITTS, NEVIS		
1754	4	8	VI-VII	-62.23	17.52	OUEST ANTIGUA		
1914	10	3	VI-VII	-61.00	16.00	GUADELOUPE		
1771	2	16	VI-VII	-60.63	14.77	OUEST MARTINIQUE		
1935	12	29	VI	-62.33	17.15	MONTSERRAT		
1925	11	20	VI	-62.33	17.15	MONTSERRAT		
1911	3	2	VI	-61.82	16.93	ANTIGUA		
1749	7	17	VI	-62.20	17.15	ANTIGUA, NEVIS		
1985	3	16	VI	-62.28	16.98	GUADELOUPE		
1976	3	10	VI	-61.68	16.72	GUADELOUPE		
1951	5	3	VI	-61.07	15.77	GUADELOUPE		
1885	7	25	VI	-61.70	16.68	GUADELOUPE, ANTIGUA		
2005	2	14	VI	-61.58	15.80	SUD-EST LES SAINTES		
1939	3	17	VI	-61.00	14.75	CENTRE MARTINIQUE		
1875	9	17	VI	-61.05	14.65	MARTINIQUE		
1862	12	19	VI	-61.03	14.72	CENTRE MARTINIQUE		
1735	3	30	VI	-61.25	14.63	CRISE MARTINIQUAISE		
2004	3	1	VI	-60.75	15.03	NORD-EST MARTINIQUE		
2005	8	30	VI	-60.65	14.82	EST MARTINIQUE		

Figure 84 – Guadeloupe : Liste par ordre décroissant d'intensité des séismes historiques localisés dans un rayon de 150 km environ autours de l'archipel guadeloupéen et d'intensité au moins égale à VI (d'après BRGM, SisFrance-Antilles, 2007)

date	latitude	longitude	profondeur focale	magnitude
21 novembre 2004	15.75	-61.54	15	6.4
8 mars 1995	16.60	-59.47	30	6.2
14 février 2005	15.81	-61.58	12	5.7
21 novembre 2004	15.83	-61.57	14	5.5
14 janvier 1997	17.20	-61.59	11	5.4
26 novembre 2004	15.71	-61.50	14	5.2
25 juin 1998	17.59	-61.61	30	5.1
8 juin 1999	15.02	-60.42	31	5.1
24 septembre 1996	15.24	-61.17	139	5.1
30 juin 2003	17.37	-61.17	2	5.1
21 novembre 2004	15.78	-61.47	8	5.1
25 septembre 2001	17.05	-61.31	19	5.1
25 janvier 1997	17.34	-61.64	13	5.0
30 juin 1995	17.83	-61.58	30	5.0
22 novembre 2004	15.84	-61.61	17	5.0
30 août 2005	14.97	-60.63	54	5.0

Figure 85 – Guadeloupe : Séismes de magnitude égale ou supérieure à 5.0 enregistés dans un rayon de 200 km environ autour de l'archipel guadeloupéen entre 1994 et 2005 (d'après IPG-P),

Martinique

Synthèse

La plaque Caraïbe se déplace, de manière relative, par rapport aux plaques Nord Amérique et Sud Amérique. Ce mouvement se traduit, dans la région des Petites Antilles par une convergence entre la plaque Caraïbe et le plancher océanique Atlantique (plaques Nord Amérique et Sud Amérique) à une vitesse d'environ 2 cm/an. Une grande partie de cette convergence est absorbée dans la zone de subduction (enfoncement de la lithosphère atlantique sous l'arc des Petites Antilles) qui marque la frontière entre la plaque Caraïbe et les plaques Amérique, mais une fraction résiduelle entraine des déformations à l'intérieur de la plaque Caraïbe et les plaque Caraïbe etles.

Parmi les principaux séismes historiques qui ont affecté la Martinique, les plus importants sont ceux du 11 janvier 1839 (intensité IX), du 7 novembre 1727 (intensité VIII), du 21 mai 1946 (intensité VII-VIII). Par ailleurs, le 8 juin 1999, une secousse de magnitude 5,1 a été localisée au large de la Martinique. A cet endroit, plusieurs séismes de magnitude au moins égale à 4 y ont été enregistrés durant cette dernière décennie (Figure 86).

Notons aussi le séisme du 29 novembre 2007 de magnitude 7,4 qui s'est produit dans la zone de subduction de l'arc antillais, une vingtaine de kilomètres au nord de la Martinique.



Figure 86 – Martinique : carte sismotectonique

3.8. DOSSIER DE PRESSE SUR LA MARTINIQUE

3.8.1. Contexte sismotectonique

Contexte géologique et principales failles

La plaque tectonique des Caraïbes s'étend, d'ouest en est, depuis la côte pacifique d'Amérique centrale jusqu'à la fosse océanique à l'est des Petites Antilles, et du nord au sud, depuis les Grandes Antilles jusqu'aux côtes du Venezuela et de Colombie. La Martinique fait partie de l'arc des Petites Antilles qui constitue la bordure orientale de la plaque Caraïbe.

La Martinique se trouve au niveau de la jonction entre l'arc externe inactif et l'arc interne actif. Le nord-ouest de l'île se trouve au niveau de l'arc interne actif. Le volcan de la montagne Pelée appartient à cet arc volcanique actuel. Tandis que le sud-est de l'île se trouve au niveau de l'arc externe. Les formations calcaires, discontinues sont intercalées ou coiffent les dépôts volcaniques anciens.

La Martinique et ses abords sont traversés par de nombreuses failles (Figure 87, Figure 88). Cependant, les auteurs de la carte géologique au 1/50 000 de la Martinique soulignent que « l'identification des failles assez importantes pour pouvoir être reportées sur une carte géologique à 1/50 000, est difficile dans une région comme la Martinique :

- ✓ le climat tropical humide favorise l'érosion et l'altération des formations à l'affleurement, et leur recouvrement par une forêt dense en altitude ;
- l'activité humaine contribue, avec le climat, à la modification des morphologies originelles, donc à l'effacement des traces des failles en surface ;
- le critère fondamental d'horizontalité et de superposition initiale des couches géologiques est peu applicable en région volcanique car l'extension d'une formation y est souvent limitée et les inversions de relief fréquentes.

Ainsi ce n'est qu'exceptionnellement qu'on a pu identifier des failles directement au cours des levers géologiques. »

Parmi les principales failles, il s'agit en particulier de celle de Saint Pierre. Celle-ci limite l'actuel dôme volcanique de la montagne Pelée et d'après les données bathymétriques semble se poursuivre en mer. Au centre de l'île ; les failles du Lamentin et des Trois Ilets limiteraient une dépression. La connaissance sur ces deux failles reste néanmoins très hypothétique.

La faille de Bellefontaine longe sur plusieurs kilomètres la côte NW-SE de la Martinique.

Enfin, il convient de rappeler que la subduction à l'est des Petites Antilles constitue une structure active majeure, susceptible de générer des séismes de magnitude élévée

même si ces séismes sont éloignés de cette île. Néanmoins à l'aplomb de la Martinique, le plan de subduction se trouve à plus de 100 km de profondeur (Figure 89).

Sismicité

Au niveau ou à proximité de la Martinique, les principaux séismes historiques ressentis sont les suivants (Figure 90, Figure 91, Figure 92, Figure 93) :

- au large de la côte atlantique martiniquaise, séismes du : 11 janvier 1839 (intensité IX), 7 novembre 1727 (intensité VIII), 21 mai 1946 (intensité VII-VIII), ainsi que les 3 séismes d'intensité VII, du 30 novembre 1827, 25 décembre 1969, 8 juin 1999 et très récemment, 29 novembre 2007.
- Au niveau de l'île, plaine du Lamentin, séisme du 16 juin 1802, d'intensité VII-VIII.

A cette liste il convient d'ajouter un fort séisme qui s'est produit le 16 février 1906 entre le sud de la Martinique et Sainte Lucie et qui aurait atteint l'intensité VII-VIII.

Les séismes ressentis en Martinique sont non seulement liés à la subduction de la croûte océanique atlantique sous les Antilles, mais aussi, probablement, à des déformations de la bordure orientale de la plaque Caraïbe.

La distribution dans l'espace de la sismicité instrumentale permet d'imager la géométrie du plan de subduction qui s'enfonce jusque sous l'arc Antillais. Au niveau de l'île de la Martinique, la plaque Amérique s'enfonce sous la plaque Caraïbe à plus de 100 km de profondeur. L'épaisseur de la croûte Caraïbe étant de l'ordre d'une trentaine de kilomètres, la sismicité qui y est enregistrée est donc beaucoup plus superficielle. Elle met en évidence l'activité tectonique des structures intraplaques.

Hormis au large des côtes nord-est de la Martinique, les enregistrements sismiques ne montrent cependant pas une activité aussi soutenue que pour la partie nord l'arc Caraïbe.

3.8.2. Zonages sismiques

Le zonage sismique réglementaire s'appuie sur la sismicité historique et divise le territoire national en 5 zones de niveau de sismicité croissant : 0, la, lb, ll et III. Ce zonage est basé sur des données de 1984.

Actuellement, ce zonage est en cours d'actualisation. En effet, il est important de le mettre à jour grâce à l'exploitation des nouvelles données concernant la sismicité et les failles, acquises depuis le début des années 80.

De plus, l'application des futures normes européennes Eurocode 8, permettant une harmonisation des législations parasismiques des différents états membres, fait appel à une description probabiliste de l'aléa sismique. C'est le cas de ce zonage qui sera prochainement réglementaire.
Zonage sismique réglementaire

En raison de la forte activité sismique de l'arc des Petites Antilles, liée au contexte de frontière de plaques tectonique, l'intégralité de l'île de la Martinique est classée en zone de sismicité forte (zone III). La Guadeloupe et la Martinique sont d'ailleurs les deux seules zones de sismicité forte du zonage sismique réglementaire de la France.

Zonage sismique associé à l'application des Eurocode 8 (prochainement réglementaire)

Cette évaluation ne change pas fondamentalement le zonage sismique aux Antilles puisque l'intégralité du territoire de la Martinique, comme la Guadeloupe, est classé en zone de sismicité forte. Les accélérations du sol ayant une probabilité de dépassement de 10% en 50 ans sont supérieures à 3 m/s².



Figure 87 – Martinique : Localisation des principales failles au centre de l'arc des Petites Antilles



Figure 88 – Martinique : Localisation des principales failles (d'après Terrier et al., 2002)



Figure 89 – Martinique : Localisation en profondeur des séismes aux environs de la Martinique (d'après Geo-Ter, 2002, modifié)



Figure 90 – Martinique : Localisation des épicentres des séismes historiques (d'après BRGM, SisFrance-Antilles, 2007)



Figure 91 – Martinique : Magnitudes de séismes enregistrées entre janvier 1994 et septembre 2005 (d'après IPG-P)

année	mois	jour	intensité épicentrale	longitude	latitude	appellation			
1839	1	11	IX	14.50	-60.50	SUD-EST MARTINIQUE			
Destruction quasi-totale des habitations de Fort-de-France (alors appelée Fort-Royal). Environ 300 morts (sans compter les nombreux esclaves non-comptabilisés)									
1897	4	29	VIII	16.20	-61.53	GUADELOUPE (PETIT CUL DE SAC MARIN)			
2004	11	21	VIII	15.75	-61.53	SUD-EST LES SAINTES			
1727	11	7	VIII	14.98	-60.75	NORD-EST MARTINIQUE			
1946	5	21	VII-VIII	14.80	-60.47	MARTINIQUE			
1906	2	16	VII-VIII	14.18	-61.03	SAINTE-LUCIE			
1802	6	16	VII-VIII	14.60	-61.07	MARTINIQUE (FORT-DE-FRANCE)			
1969	12	25	VII	15.37	-60.58	DOMINIQUE			
1844	8	30	VII	13.60	-61.08	SAINT-VINCENT			
1851	5	16	VII	16.03	-61.47	GUADELOUPE (CAPESTERRE)			
1999	6	8	VII	14.97	-60.70	MARTINIQUE (EST CARAVELLE)			
1827	11	30	VII	14.98	-60.82	NORD-EST MARTINIQUE			
1914	10	3	VI-VII	16.00	-61.00	GUADELOUPE			
1771	2	16	VI-VII	14.77	-60.63	OUEST MARTINIQUE			
1951	5	3	VI	15.77	-61.07	GUADELOUPE			
2005	2	14	VI	15.80	-61.58	SUD-EST LES SAINTES			
1939	3	17	VI	14.75	-61.00	CENTRE MARTINIQUE			
1875	9	17	VI	14.65	-61.05	MARTINIQUE			
1862	12	19	VI	14.72	-61.03	CENTRE MARTINIQUE			
1735	3	30	VI	14.63	-61.25	CRISE MARTINIQUAISE			
2004	3	1	VI	15.03	-60.75	NORD-EST MARTINIQUE			
2005	8	30	VI	14.82	-60.65	EST MARTINIQUE			

Figure 92 – Martinique : Liste par ordre décroissant d'intensité des séismes historiques d'intensité au moins égale à VI et localisés dans un rayon de 200 km autours de l'île (d'après BRGM,SisFrance-Antilles, 2007)

date	latitude	longitude	profondeur focale	magnitude
21 novembre 2004	15.75	-61.54	15	6.4
14 février 2005	15.81	-61.58	12	5.7
21 novembre 2004	15.83	-61.57	14	5.5
26 novembre 2004	15.71	-61.50	14	5.2
8 juin 1999	15.02	-60.42	31	5.1
21 novembre 2004	15.78	-61.47	8	5.1
22 novembre 2004	15.84	-61.61	17	5.0
23 juillet 1994	16.65	-61.21	30	4.9
26 novembre 2004	15.84	-61.60	11	4.9
27 novembre 2004	15.70	-61.53	11	4.9
2 décembre 2004	15.75	-61.53	13	4.9
15 août 1994	16.45	-60.92	25	4.8
21 novembre 2004	15.76	-61.48	13	4.8
8 janvier 2000	14.57	-60.24	30	4.7
29 décembre 1995	14.41	-59.88	30	4.7
22 novembre 2004	15.83	-61.61	10	4.7
5 janvier 2001	15.96	-60.95	27	4.6
1 mars 2004	15.26	-60.72	23	4.6
29 novembre 2004	15.76	-61.50	12	4.6
27 décembre 2004	15.83	-61.60	10	4.6
6 juin 2005	15.81	-61.53	14	4.5

Figure 93 – Martinique : Séismes de magnitude égale ou supérieure à 4.5 enregistrés dans un rayon de 200 km autour de la Martinique entre janvier 1994 et septembre 2005 (d'après IPG-P)



Centre scientifique et technique Service Aménagement et Risques Naturels 3, avenue Claude-Guillemin BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34