

N° 2017

N° 261

ASSEMBLÉE NATIONALE

SÉNAT

CONSTITUTION DU 4 OCTOBRE 1958

DEUXIÈME SESSION ORDINAIRE DE 1994-1995

DIXIÈME LÉGISLATURE

Enregistré à la Présidence de l'Assemblée nationale
le 20 avril 1995.

Rattaché pour ordre au procès verbal de la séance du 5 avril 1995.
Enregistré à la Présidence du Sénat le 21 avril 1995.

OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION
DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES

RAPPORT

sur

Les **TECHNIQUES de PRÉVISION et de PRÉVENTION**
des RISQUES NATURELS :
SÉISMES et MOUVEMENTS de TERRAIN

par M. Christian KERT,
Député

Tome I : Conclusions du Rapporteur

Déposé sur le Bureau de l'Assemblée nationale
par M. Robert GALLEY,
Vice-Président de l'Office.

Déposé sur le Bureau du Sénat
par M. Jacques MOSSION,
Président de l'Office.

risques naturels.

*C'est une société d'êtres vivants.
Nous ne connaissons que
l'anatomie de ces belles choses
vivantes, aussi humaines que
nous, et si les mystères nous
limitent de toutes parts, c'est que
nous n'avons jamais tenu compte
des psychologies telluriques,
végétales, fluviales et marines.*

*Jean GIONO
Le chant du monde*

La préparation de ce rapport m'a conduit à recueillir un grand nombre d'informations lors des entretiens que j'ai pu avoir, tant en France qu'à l'étranger, avec de nombreuses personnalités.

Par les renseignements qu'elles ont bien voulu me communiquer, elles ont toutes contribué à l'élaboration de ce rapport. Qu'elles veuillent bien trouver ici l'expression de mes plus vifs remerciements.

SOMMAIRE

Les SÉISMES et MOUVEMENTS de TERRAIN

TOME 1 : CONCLUSIONS du RAPPORTEUR

SAISINE	7
AVANT PROPOS	9
INTRODUCTION	11
TITRE I - LES SEISMES ET LE RISQUE SISMIQUE.....	23
1 - DEFINITION DES SEISMES ET CONNAISSANCE DES PHENOMENES.....	23
1-1 - LA TECTONIQUE DES PLAQUES.....	24
1-1-1 - Les zones de divergence	26
1-1-2 - Les failles transformantes	26
1-1-3 - Les zones de subduction	27
1-1-4 - Les zones de collision continentale	27
1-1-5 - Les chaînes intra-continentales, obduction et sutures ophiolitiques.....	28
1-2 - LES SEISMES NON TECTONIQUES.....	29
1-2-1 - Les séismes volcaniques	29
1-2-2 - Les séismes provoqués.....	29
1-2-3 - Les séismes induits	29
2 - LE RISQUE SISMIQUE EN FRANCE METROPOLITAINE	
ET DANS LES DOM-TOM.....	31
2.1 - LA FRANCE METROPOLITAINE	31
2.2 - LES PETITES ANTILLES : DEPARTEMENTS DE GUADELOUPE ET DE MARTINIQUE	35
2.3 - AUTRES DEPARTEMENTS ET TERRITOIRES D'OUTRE-MER	38

3 - LA PREVISION DES SEISMES EST-ELLE POSSIBLE ?	41
3-1 - LA PREVISION A LONG TERME	41
3-2 - LA PREVISION A MOYEN TERME	41
3-3 - LA PREVISION A COURT TERME OU PREDICTION	42
3-3-1 - Les phénomènes précurseurs	42
3-3-2 - La méthode VAN	44
3-3-3 - La recherche dans des pays à forte sismicité	48
3-3-4 - La recherche en France	60
4 - L'OBSERVATION DE L'ALEA SISMIQUE	65
4-1 - LES RESEAUX DE SURVEILLANCE	68
4-1-1 - Les réseaux nationaux	68
4-1-1-1 - le réseau national du CEA/LDG	68
4-1-1-2 - le réseau national RéNaSS	79
4-1-2 - Les réseaux régionaux métropolitains	83
4-1-2-1 - les réseaux du BERSIN/IPSN	83
4-1-2-2 - le réseau régional SISMALP	89
4-1-3 - Réseaux de surveillance dans les DOM-TOM	97
4-2 - LES RESEAUX ACCELEROMETRIQUES	100
5 - LA PREVENTION DES SEISMES	103
5-1 - LE ZONAGE SISMIQUE : AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET OCCUPATION DES SOLS	107
5-2 - LA CONSTRUCTION PARASISMIQUE	111
5-2-1 - Le neuf : la réglementation	114
5-2-1-1 - la réglementation technique	114
5-2-1-2 - l'historique des règles parasismiques	125
5-2-1-3 - les règles D. T. U. PS69 et addenda 1982	126
5-2-1-4 - le décret du 14 mai 1991	130
5-2-1-4-1 - les ouvrages à risque spécial	130
5-2-1-4-2 - les ouvrages à risque normal	137
5-2-1-5 - la réglementation parasismique française en cours d'agrément	139
5-2-1-6 - la situation à l'étranger	144
5-2-2 - Vulnérabilité du bâti existant : problème du confortement	152
5-2-2-1 - les grands axes du colloque franco-suisse de 1992	152
5-2-2-2 - les grands axes du colloque franco-italien de 1994	162
5-2-2-3 - les politiques de confortement aux Etats-Unis et au Japon	163
5-2-2-4 - quelques grandes réalisations dans le monde	165
5-2-2-5 - les balbutiements en France	169
5-3 - L'EFFICACITE DES CONSTRUCTIONS PARASISMIQUES ET LE CONTROLE DE L'EXECUTION DES CHANTIERS	173
5-4 - LE CAS SPECIFIQUE DES PETITES ANTILLES	176

6 - LA FORMATION ET L'INFORMATION, OU COMMENT ETRE CREDIBLE SUR UN RISQUE AUSSI ALEATOIRE ?	177
6-1 - FORMATION : CURSUS EN GENIE PARASISMIQUE	177
6-2 - INFORMATION :.....	179
6-2-1 - Sensibilisation des enseignants et des enfants	182
6-2-2 - Information grand public	202
6-3 - FORMATION ET INFORMATION : LE ROLE DES CARIP, L'EXEMPLE PEGAS A WICKERSCHWIHR ET LE PLAN PLATON A LAMBESC	209
6-3-1 - La Cellule d'Analyse des Risques et de l'Information Préventive de Martinique.....	209
6-3-2 - Le plan PEGAS à Wickerschwihr.....	214
6-3-3 - Le plan PLATON à Lambesc.....	215
7 - LA GESTION DE CRISE EN CAS DE SEISME : NECESSITE OU NON D'UN PLAN D'EVACUATION ET DE SECOURS PROPRE AU RISQUE SISMIQUE ?	217
7-1 - LA GESTION DES CRISES LORS DES SEISMES DE NORTHRIDGE ET DE KOBE	217
7-1-1 - La gestion de crise lors du séisme de Northridge.....	217
7-1-2 - La gestion de crise lors du séisme de Kobe.....	223
7-2 - L'ORGANISATION DES SECOURS.....	227
7-3 - L'ORGANISATION DES SECOURS EN FRANCE.....	232
7-3-1 - L'alerte	233
7-3-2 - La mobilisation.....	233
7-3-3 - La coordination	234
7-3-4 - Les actions prioritaires.....	235
7-3-5 - Les unités spécialisée.....	235
7-4 - Y A-T-IL NECESSITE OU NON D'UN PLAN D'EVACUATION ET DE SECOURS PROPRE AU RISQUE SISMIQUE ?	237
 TITRE II - LES GLISSEMENTS DE TERRAIN ET LES EBOULEMENTS	239
1 - CONNAISSANCE DU PHENOMENE	241
2 - L'INVENTAIRE	245
2-1 - LES TRAVAUX DU CENTRE EUROPEEN SUR LES RISQUES GEOMORPHOLOGIQUES	245
2-2 - L'INVENTAIRE EN FRANCE METROPOLITAINE	249
2-3 - L'INVENTAIRE DANS LES DOM-TOM	250
3 - L'EVALUATION ET LA CARTOGRAPHIE	253
4 - LA PREVISION ET LA SURVEILLANCE	257
5 - LA PREVENTION ET LA PROTECTION	259
6 - LA REGLEMENTATION	277

7 - L'INFORMATION	279
8 - L'ORGANISATION DES SECOURS	279
CONCLUSIONS	281
RECOMMANDATIONS	287
ADOPTION DU RAPPORT PAR L'OFFICE PARLEMENTAIRE	291
ANNEXES	293
ANNEXE 1 : LISTE DES PERSONNALITES ENTENDUES	295
ANNEXE 2 : LISTE DES CANTONS EN ZONE SISMIQUE	311
ANNEXE 3 : ATLAS COMMUNAL DES RISQUES NATURELS COMMUNE DE BOUILLANTE GUADELOUPE	321
ANNEXE 4 : LISTE DES PERSONNES PRESENTES A L'AUDITION PUBLIQUE DU JEUDI 16 FEVRIER 1995	347

TOME 2 :
COMPTE-RENDU de l'AUDITION PUBLIQUE
du JEUDI 16 FEVRIER 1995

SAISINE**ASSEMBLÉE NATIONALE**Commission de la Production
et des EchangesLe Président
— — —**RÉPUBLIQUE FRANÇAISE**

LIBERTÉ - ÉGALITÉ - FRATERNITÉ

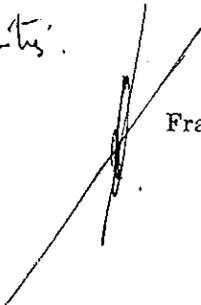
Paris, le 1er juin 1994

Monsieur le Président,

Dans sa réunion du 31 mai 1994, la Commission de la Production et des Echanges a décidé de saisir l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques sur les techniques de prévision et de prévention des risques naturels.

Je vous prie de croire, Monsieur le Président, à l'assurance de mes sentiments les meilleurs.

A-tis.


François-Michel GONNOT
Député de l'OiseMonsieur Jacques MOSSION
Président de l'Office parlementaire d'évaluation
des choix scientifiques et technologiques

AVANT PROPOS

Ce 11 juin 1909 ressemblait à tous les autres soirs de l'été provençal.

A peine pouvait-on noter ça et là quelques signes étranges.

L'un se rappela :

"A l'écurie, depuis six heures du soir, les chevaux ne cessaient de piaffer et de taper du sabot ; si on les approchait, ils se calmaient ; dès qu'on les laissait, ils paraissaient comme fous".

L'autre raconte :

"Depuis deux jours, il fallait que je rallonge dix bons mètres de ma corde pour aller puiser de l'eau au puits. On aurait dit qu'il était vide".

Puis arriva la nuit. Les uns avaient tiré la chaise sur le pas de la porte, les autres rentraient à peine :

"Revenant des champs, j'ai entendu un grondement sourd, un peu comme un roulement de tambour. A tel point que je me suis retourné pour vérifier qu'aucun charroi ne me suivait. J'ai eu ensuite l'impression que le bruit sortait de la terre".

Il est 21 h 16, aux horloges de Salon, de Lambesc, de Vernègues, de Péliissanne, Lançon et Saint-Cannat. Les aiguilles vont se figer à cette heure-là.

Une formidable secousse... comme une détonation :

"Nous nous sentions progressivement secoués ; on aurait dit qu'on pressait fortement sur nos épaules pour nous affaïsser. Après cette masse verticale survint un mouvement beaucoup plus fort de latéralité, les chaises, les tables, les verres, les carafes sont renversés, une cloison dégringole dans le bar, la lumière s'éteint...".

A 21 h 16, la terre de Provence vient de s'offrir une "grosse colère", un tremblement de terre de 6.2 sur l'échelle de Richter. Il y aura 46 morts, 250 blessés et des millions de dégâts.

Plus de 80 ans se sont écoulés.

La mémoire collective de la Provence conserve, toutes fraîches, les images de la catastrophe.

Certains relisent Nostradamus pour déceler une date, une indication sur la prochaine colère tectonique.

D'autres, plus réalistes, relisent Haroun Tazieff citant Plutarque :

"Où la terre a tremblé, elle tremblera à nouveau".

Où exactement et quand ? Mystère !

Devenu député au coeur de la Provence en 1988, j'ai voulu répondre à nos muettes interrogations : peut-on prévoir ? peut-on se préparer ?

En me confiant au mois de juin 1994 le rapport sur la prévention des catastrophes naturelles en France, l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques m'a donné les moyens de tenter de répondre, du moins pour le compte des quatre grandes régions sismiques de France : Bassin rhénan, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Pyrénées et Antilles, aux questions que nous nous posons. Certaines d'entre elles ne trouveront ici que des réponses partielles car la science, en cette fin de XXème siècle, n'est pas encore arrivée au coeur de tous les mystères de la planète.

Christian KERT

INTRODUCTION

La Commission de la Production et des Echanges de l'Assemblée nationale a saisi le 31 mai 1994 l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques d'une étude sur "**les techniques de prévision et de prévention des risques naturels**".

Lors de la présentation de l'étude de faisabilité devant l'Office le 8 juin 1994, votre Rapporteur a proposé une définition des termes de la saisine, et une limitation de l'étude à deux aléas : **risque sismique et mouvements de terrain**.

Votre Rapporteur se propose de reprendre succinctement les grandes lignes de cette proposition, qui a été adoptée à l'unanimité, et de délimiter le champ des **risques naturels** : ce sont les risques d'atteinte aux personnes ou aux biens qui résultent principalement d'une disposition exceptionnelle des agents naturels. Il ne peut s'agir que d'un risque collectif, événement à fréquence faible et de grande gravité, que l'on qualifie de majeur. En les citant rapidement, on peut distinguer :

- les inondations,
- les séismes,
- les éruptions volcaniques,
- les raz de marée, les tsunamis,
- les typhons, les ouragans, les cyclones,
- les glissements et effondrements de terrain, le phénomène de subsidence (mouvement d'affaissement sous le poids des dépôts sédimentaires),
- les masses de glace ou de neige en mouvement, les avalanches,
- les ruissellements d'eau, de boue et de lave,
- les sécheresses,
- les incendies de forêt.

La **prévention** est l'ensemble des dispositions qui permettent de réduire les conséquences des aléas naturels, et de gérer les crises.

Ces dispositions consistent à :

- connaître les aléas naturels et la vulnérabilité des biens et des personnes exposées, et traduire ces connaissances sous forme cartographique ;
- faire connaître ces aléas naturels par la publication de cartes de risques, former, éduquer ;
- réduire les conséquences sur les personnes et les biens installés dans la zone dangereuse grâce :
 - aux réseaux de surveillance,
 - aux dispositifs d'alerte,
 - à la préparation des secours ;
- réduire la vulnérabilité et notamment ne pas créer de nouveaux risques en respectant plus strictement les réglementations en vigueur ;
- exécuter des travaux pour réduire les phénomènes.

La **prévision** des aléas est la détermination du risque à quelque temps de son déclenchement et donc de la mise en place opérationnelle de la gestion de la crise. Toute la difficulté vient de la précision de cette détermination, et de la mise en place d'un dispositif de crise qui peut être très lourd. A partir de quel moment faut-il faire évacuer les populations ? Vers quel abri faut-il les diriger ? Comment éviter que ces mesures ne provoquent des désordres importants dans la population ? Voilà des questions primordiales qu'il faut résoudre.

La concentration des personnes, des biens, d'infrastructures, de services, de moyens de production, le développement économique et technologique qu'elles abritent, rendent les grandes villes particulièrement exposées aux catastrophes naturelles. L'impact de leur croissance désordonnée sur un milieu naturel fragile accroît le nombre et l'intensité des aléas naturels. Le dépeuplement rural débouche quant à lui bien souvent sur l'érosion, la dégradation des bassins versants et la multiplication des inondations et des instabilités de pentes.

L'Assemblée générale des Nations Unies, par les résolutions 42-169 (11 décembre 1987) et 44-236 (22 décembre 1989), a proclamé la Décennie internationale de la prévention des catastrophes naturelles (DIPCN) dont les objectifs sont la réduction des pertes en vies humaines, la réduction des dégâts matériels et des perturbations sociales et économiques.

Une estimation des sept premières années d'application de la loi du 13 juillet 1982 sur l'indemnisation des catastrophes naturelles en France métropolitaine fait apparaître que les sociétés d'assurances et de réassurances ont déboursé, pour la seule couverture des événements naturels, plus de 25 milliards

de francs. L'extension de la loi de 1982 aux départements d'outre-mer, beaucoup plus menacés que la France métropolitaine, ne peut qu'amplifier l'alourdissement des indemnités versées. Ces charges pourraient dépasser les 10 milliards de francs par an avant la fin de la décennie.

En France, les estimations sont les suivantes :

- 7 500 communes menacées par les inondations,
- 400 communes menacées par les avalanches,
- 3 000 communes menacées par les mouvements de terrain,
- 1 400 communes menacées par les séismes,
- 4,2 millions d'hectares de secteur naturel sensible à l'incendie en zone méditerranéenne.

Par rapport à ces communes exposées, pour la prise en compte du risque dans l'aménagement, on recense des communes prioritaires :

- 941 communes pour les inondations,
- 98 communes pour les avalanches,
- 433 communes pour les mouvements de terrain,
- 210 communes pour les séismes.

Suivant les arrêtés de catastrophes naturelles pris d'août 1982 à juillet 1986, on dénombre :

- 5 195 communes sinistrées par inondations,
- 19 communes sinistrées par avalanches,
- 146 communes sinistrées par mouvements de terrain,
- 31 communes sinistrées par séisme.

Le coût moyen par événement tel que communiqué par la Caisse Centrale de Réassurance est de :

- 3,3 MF par inondation,
- 1,3 MF par avalanche,
- de 0,8 à 1,1 MF pour un mouvement de terrain.

Le coût d'un séisme n'est pas estimé, on verra cependant avec la simulation de Lambesc de 1982 qu'il peut être très important.

Reprenons les différents aléas naturels et essayons d'évaluer la vulnérabilité connue pour notre territoire.

En France métropolitaine, les **inondations**, qui concernent un million d'habitants répartis sur les 4,2 % du territoire national inondable, sont certainement le risque le plus fréquent. Et tout le monde a encore en mémoire le souvenir des inondations de l'automne dernier dans notre pays, des pertes humaines et des dégâts énormes provoqués. L'Assemblée nationale a d'ailleurs décidé de se saisir de ce problème en créant une commission d'enquête sur "les causes des inondations et les moyens d'y remédier", commission dont votre Rapporteur a tenu à être membre et dont le rapport a été rendu public le 4 novembre 1994.

Bien que cet aléa soit considéré comme le risque le plus fréquent pour la France métropolitaine, et compte tenu justement de l'excellent travail conduit par nos collègues Philippe Mathot et Thierry Mariani, votre Rapporteur a exclu les inondations des risques étudiés.

Le risque volcanique existe en France essentiellement aux Antilles et à la Réunion. Depuis le début du siècle, l'intérêt des études du risque volcanique a été reconnu. Des programmes de recherche dans le domaine du volcanisme sont entrepris dans presque tous les pays où existent des zones volcaniques actives habitées. C'est le cas de l'Italie avec l'Etna et le Vésuve, du Japon, de la Nouvelle-Zélande, de la Papouasie, des Açores, des Canaries, de l'Equateur. C'est aussi le cas aux Etats-Unis où un programme est développé depuis 1967 par l'US Geological Survey aux îles Hawaii et dans le Sud de la Californie.

Le risque volcanique s'appréhende à deux niveaux : prévision à court terme et prévision générale. La prévision à court terme est d'abord liée à la surveillance, avec comme objectif de prévoir le réveil du volcan, de déterminer le scénario éruptif imminent le plus probable, et de suivre le déroulement de l'éruption. La prévision générale s'établit en période de calme éruptif, et consiste en l'élaboration de scénarios éruptifs possibles, déterminant ainsi la répartition des produits émis ainsi que leurs effets sur l'environnement. Le principe de base de la prévision en matière d'aléa volcanique est : *"le passé est la clef du futur"*. Chaque volcan a un comportement propre, ce qui fait que l'expérience acquise sur un volcan n'est transposable à un autre volcan que dans la mesure où les paramètres significatifs du mode d'éruption du premier (produits, morphologie, fractures, ...) sont ceux que l'on observe au second. Pour chaque volcan, il est possible de déterminer le type de risque, le type de réseaux de surveillance à installer sur le site et le système d'alerte et de protection des populations à mettre en place.

Les typhons, les ouragans, les cyclones, suivant leurs localisations géographiques, sont catastrophiques pour deux raisons principales qui peuvent conjuguer leurs effets :

- les vents extrêmes, supérieurs à 200 km/h, abattant les structures et la végétation,
- les précipitations diluviennes engendrant crues et glissements de terrain.

Les mesures marégraphiques sur les îles des Antilles, couplées avec des moyens satellitaires, pour permettre une prévision des "ondes de tempête" accompagnant les cyclones, sont très importantes pour la prévention.

Les avalanches concernent le déplacement rapide, soit à plus de 3 km/h, de grandes masses de neige. Cette appellation générique recouvre des origines et des manifestations qui peuvent revêtir des aspects notablement différents.

Si l'on se réfère à la classification phénoménologique établie par Gaston Rebuffat dans son article du *Monde* du 12 février 1970, la qualité de la neige en mouvement mobilisée par les avalanches relève de six catégories distinctes :

- *les avalanches de neige poudreuse, très rapides et accompagnées d'un bruit assourdissant, qui se produisent en hiver après une chute de neige fraîche ;*
- *les avalanches de neige fraîche humide, caractéristiques des périodes de redoux. Moins rapides que les précédentes elles roulent au lieu de voler en tourbillons ;*
- *les avalanches de neige mouillée, surtout fréquentes au printemps et volontiers avalanches de fond. C'est l'un des types les plus prévisibles car elles empruntent généralement les mêmes couloirs. Leur vitesse est relativement réduite mais leur force de destruction considérable ;*
- *les avalanches dites de planche ou de plaques, dues au déplacement de masses de neige consolidées en surface mais non adhérentes à la couche sous-jacente ;*
- *les avalanches de corniche, surtout fréquentes en hiver et au printemps à l'époque où la neige n'est pas consolidée ;*
- *les avalanches de séracs, qui correspondent à un tout autre phénomène -des chutes de blocs au front d'un glacier- et physiquement plus proches des éboulements de rochers que des avalanches proprement dites.*

D'un point de vue dynamique, on peut réduire cette classification, hors des avalanches de séracs qui s'apparentent plus à des chutes de rochers, à deux grandes catégories :

- les avalanches de neige dense. Elles suivent approximativement les lois d'un écoulement hydraulique torrentiel comme il peut s'en produire à la suite de la rupture d'un barrage. La vague de neige se propage avec une densité voisine de sa densité originelle jusqu'à un point d'arrêt où elle aura converti une partie de son énergie potentielle en énergie cinétique ;
- les avalanches de neige poudreuse. Elles prennent en général naissance à partir d'avalanches présentant les caractéristiques précédentes mais sont constituées de précipitations très froides, peu denses et qui se développent à partir de zones de départ importantes, sur de larges trajectoires d'écoulement affectées d'accidents de terrain. A partir d'une vitesse de l'ordre de 70 km/h, le frottement écoulement-air exerce une fonction d'émulsion sur la neige : l'incorporation d'air ambiant dans le matériau en mouvement crée un effet de nuage qui allège le cortège et lui permet d'atteindre, sous forme d'aérosols fins, des vitesses supérieures à 300 km/h.

Au point d'impact et au long des trajectoires, les avalanches de poudreuse cumulent les effets de masse et les effets de souffle sur les infrastructures. Elles contribuent de plus à noyer, par infiltration de particules dans le système respiratoire, les victimes qu'elles n'écrasent pas.

Les sécheresses sont un véritable risque naturel, en ce sens qu'elles accélèrent des phénomènes de désertification. Mais, au niveau de la vulnérabilité des sites urbains, c'est essentiellement l'effet sur les constructions et les déformations du sol qui entraînent les dégâts. Un retour à la normale avec un regonflement des sols engendre de nouveaux désordres et il faut prendre en compte ce risque dans les zones géographiques susceptibles d'être concernées.

Les incendies de forêt ont souvent une origine humaine, soit à la suite de malveillance, soit à la suite d'un accident technologique. Mais les conditions climatiques, le manque d'entretien, la nature même des essences sont des conditions aggravantes pour la vulnérabilité de la forêt. La dernière commission d'enquête parlementaire sur les incendies de forêts dans la région méditerranéenne a rendu son rapport le 28 mai 1980.

Le risque sismique existe en France métropolitaine, même si la dernière catastrophe mortelle remonte au début du siècle, et dans les DOM-TOM. On dénombre statistiquement trois séismes de magnitude égale ou

supérieure à 6 par an dans l'ensemble euro-méditerranéen, de l'Atlantique à la Turquie : le risque de séisme de cette ampleur n'est donc pas négligeable pour le Sud de la France. Les experts estiment d'ailleurs que notre pays est pour ce siècle en "déficit de séismes". Citons l'ouvrage "Tremblements de terre" de B. Walker : *"L'histoire de notre planète, ce sont 4,6 milliards d'années d'agitation souterraine, plus de 1 million de séismes par an, soit un en moyenne toutes les trente secondes ; plus de trois mille séismes agitent chaque année la surface de la terre de façon appréciable, quelques centaines modifient le paysage, plus de vingt causent d'importants dégâts"*.

Le dernier tremblement de terre mortel en France qui s'est produit à Lambesc, le 11 juin 1909, était un séisme de magnitude 6.2 et a provoqué de très nombreuses destructions et surtout des victimes : 46 morts et environ 250 blessés. Un tel séisme de nos jours, tenant compte des changements de mode de vie, provoquerait selon une estimation de 1982, de 400 à 1 000 morts et plus de 4,6 milliards de francs de dégâts !

En France métropolitaine, environ 600 tremblements de terre ont été enregistrés depuis 1909. Et nulle région ne semble totalement à l'abri, notre connaissance à l'échelle des temps géologiques étant bien faible. Ainsi peut-on vraisemblablement considérer comme la poursuite de la mise en place des terrains alpins et d'un contrecoup de la collision lente qui se produit depuis 80 millions d'années entre la plaque africaine et la plaque eurasiennne, le tremblement de terre du 14 décembre 1994 à 9h56. Ce séisme de quelques secondes, d'une magnitude 5.1, le plus fort enregistré dans cette région, s'est produit selon l'observatoire de Grenoble à 7,38 km de profondeur, son épicerne étant situé par 45 degrés 58,31 minutes Nord et 6 degrés 19,83 minutes Est, soit près de La Clusaz. Il a été ressenti jusqu'à Lyon, Genève, la Loire, l'Ardèche, et apparemment aucun précurseur n'a été relevé. Les dégâts ont été peu importants, la région de l'épicentre étant peu habitée.

Le risque est peut-être encore plus présent aux Antilles. Rappelons-nous du tremblement de terre de Fort-de-France en 1839 qui fit plus de 300 morts et de celui de Pointe-à-Pitre en 1843 qui en fit plus de 3 000. Une simulation datant de 1972 du séisme du 8 février 1843 conduit à un bilan de plus de 100 000 morts et de 3,6 milliards de francs de pertes !

Le jour où ce rapport m'a été confié, un séisme a ravagé la Colombie faisant plus de 600 victimes. Mais lors du dernier tremblement de terre à Los Angeles, les experts ont déclaré vivre dans la crainte d'un cataclysme beaucoup plus important qui risquerait de détruire la ville. De même, au Japon, Tokyo est dans une zone de très forte sismicité, et le risque d'un séisme de magnitude supérieure à 8 fait craindre que les constructions parasismiques ne résistent pas à une telle catastrophe.

Avec des séismes de magnitudes proches, Spitak (Arménie, 1988) ou Manjil (Iran, 1990) ont connu près de 35 000 morts, alors que Loma Prieta (Californie, 1989) n'enregistrait que quelques dizaines de victimes, grâce à une politique de prévention efficace.

Mais le séisme de Kobe avec ses 5 500 morts pourrait venir contredire le bien-fondé d'une telle politique. On verra qu'il n'en est rien et que la prévention a évité une bien plus grande catastrophe, mais que d'autres facteurs ont joué dans cette tragédie.

Glissements de terrains, coulées boueuses peuvent faire suite aux séismes en régions de montagne s'ils se combinent avec de fortes pluies. L'exemple du glacier Huascarán dans les Andes péruviennes en 1970 est très particulier. Son ébranlement a engendré une gigantesque lave torrentielle qui a emporté toute la ville de Yungay et ses 18 000 habitants.

Les tsunamis, ou «raz de marée» en français, n'ont cependant rien à voir avec le phénomène classique de la marée. L'expression japonaise (tsunamis = «vague portuaire») n'est d'ailleurs pas plus explicite quant aux origines du phénomène.

En fait les tsunamis proviennent toujours d'une brutale modification du niveau des fonds océaniques. Les causes peuvent en être multiples : séisme, glissements ou effondrements sous-marins, éruption volcanique, etc. Le train d'ondes que génèrent de telles manifestations présente des caractéristiques totalement différentes des vagues de tempête ; de crête à crête, deux vagues successives de tsunamis peuvent être distantes de plusieurs centaines de kilomètres avec des «creux» quasiment imperceptibles en pleine mer. Par contre la vitesse de propagation est extrêmement rapide et peut excéder 500 km/h.

A l'approche des côtes, la vague de tsunamis est brutalement freinée par la remontée des fonds : une grande partie de son énergie cinétique est alors convertie en énergie potentielle et c'est une véritable muraille d'eau (parfois plus de 30 mètres de haut soit un immeuble de 10 étages) qui déferle sur les zones côtières qu'elle atteint. Ceux qui survivent à cette première vague périssent parfois lorsque survient la seconde 20 à 60 minutes plus tard : ils se seront portés en masse vers leur maison inondée ou à la recherche de victimes.

Lorsqu'ils se propagent en espace océanique libre, les tsunamis peuvent parcourir des distances considérables : le séisme de magnitude 7 qui frappa les îles Aléoutiennes en 1947 fut à l'origine d'un raz de marée qui fit environ 200 morts à Hawaï à près de 4 000 kilomètres de distance.

Les mouvements de terrain, le *phénomène de subsidence* (mouvement d'affaissement sous le poids des dépôts sédimentaires), sont généralement considérés comme risques mineurs en milieu urbain, puisqu'ils entraînent le maximum de dégâts sur les réseaux routiers et ferroviaires. Mais on ne peut les ignorer et on peut répertorier :

- les effondrements karstiques, occasionnels dans la partie Nord de Paris ;
- les risques d'éboulement, par la présence de roches instables au-dessus d'une ville, ce qui est le cas de Nantua ;
- les glissements de terrain dont l'accélération soudaine peut engendrer la catastrophe, comme en 1932 sur les pentes de la colline lyonnaise de Fourvières ;
- les affaissements de terrains récents ou compactables, ce qui rend la ville plus vulnérable au risque d'inondation. L'exploitation excessive de la nappe phréatique à Bangkok aurait abaissé le sol de 88 cm en un siècle.

Le cas le plus fréquent de subsidence est celui des zones d'extraction minière et des zones d'extraction du sel gemme par méthode hydraulique.

Les effondrements causés par le creusement de carrières constituent des accidents locaux graves. L'effondrement d'un quartier pavillonnaire de Clamart en 1961 a fait une trentaine de morts.

Le glissement-coulée d'un terril à Aberfan (80 000 mètres cubes gorgés d'eau), au Pays de Galles en 1966, a écrasé une école et des habitations, faisant 144 victimes.

Ces événements, effondrements, glissement-coulée, sont en fait la résultante de deux risques. Le risque naturel apparent a en fait été généré par un risque technologique ou industriel : exploitation du sous-sol et absence de remise en état lors de l'abandon de l'exploitation.

Les grands éboulements sont plutôt circonscrits aux zones de montagne. Sans remonter à 1248 et à l'éboulement du mont Granier, on peut citer le glissement du 25 avril 1974 de l'Altipano, au Pérou. C'est une masse d'un milliard de mètres cubes qui dévale en 3 minutes un dénivelé de 1 700 mètres sur 8 kilomètres de long. La pente, bien qu'inférieure à 10 degrés, est absorbée par la masse à plus de 100 km/h. Le village de Mayunmarca, situé à plus de 4 000 mètres d'altitude, est totalement englouti avec ses 451 habitants.

Deux sites en France font l'objet d'une grande surveillance : la Clapière, à Saint-Etienne-de-Tinée, dans les Alpes-Maritimes, et la Séchilienne dans l'Isère où 40 millions de m³ menacent plusieurs villages.

Pour mener la **politique de prévention des risques naturels**, la France s'est dotée de structures administratives spécifiques : la délégation aux risques majeurs (DRM) a été créée par décret du 10 avril 1984. Elle est chargée d'évaluer les moyens de prévenir les risques majeurs d'origine naturelle et de proposer des mesures propres à en atténuer les effets. La DRM participe en outre à l'élaboration des programmes d'utilisation des moyens de secours nationaux en cas de catastrophe, et propose les mesures de coordination interministérielle nécessaire.

Rappelons que si les actions de prévention sont coordonnées par le ministère de l'environnement, c'est la direction de la sécurité civile du ministère de l'intérieur qui gère et coordonne les actions de secours en cas de crise.

Cette situation originale de la France est généralement considérée comme un avantage par la plupart des autres pays, où la prévention est souvent intégrée dans l'organisation des secours et de ce fait dispose encore de moins de moyens. Si cette dualité peut engendrer des difficultés, elle reflète cependant une réelle volonté de prévention.

Sur le plan législatif, il faut remonter à 1935 pour trouver les premiers textes sur la prévention des risques majeurs avec l'institution des plans de surfaces submersibles. En 1955 s'ajoute l'interdiction de la construction dans les zones soumises à des risques particuliers, et en 1967 se mettent en oeuvre les plans d'occupation des sols (P.O.S.). Deux grandes lois renforcent cette législation, celle du 13 juillet 1982 sur l'indemnisation des catastrophes naturelles et celle du 22 juillet 1987 relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des risques majeurs. Une juxtaposition de textes spécifiques à chaque risque naturel est-elle suffisante ?

Un décret du 3 mai 1984 complète cet arsenal en instaurant l'établissement de plans d'exposition aux risques naturels prévisibles (P.E.R.).

Toutefois sur les 708 P.E.R. prescrits au 21 septembre 1993 (2 000 environ ont été envisagés), on n'en comptait que 360 rendus publics et 282 approuvés. Des élus locaux, considérant ces P.E.R. comme une ingérence insupportable de la part de l'Etat car gelant des superficies importantes, n'y sont pas très favorables. Comment améliorer cette perception ? En substituant à ces P.E.R. des P.P.R. (plan de prévention des risques) ?

C'est en tout cas l'un des objectifs de la loi Barnier relative au renforcement de la protection de l'environnement et qui a été promulguée le 2 février 1995.

L'Etat doit-il jouer davantage un rôle d'arbitre en matière d'urbanisme ? Faut-il envisager des P.O.S. au niveau départemental ?

Des définitions précédentes des risques, il apparaît que la vulnérabilité des biens et des personnes est plus ou moins importante pour certains d'entre eux. La multiplicité des risques, les différences de nature, d'origine, au sein d'un même risque, feraient de cette étude une oeuvre encyclopédique. Les moyens de prévention sont très différents d'un aléa à un autre, et si les techniques de prévision sont connues pour les inondations ou les éruptions volcaniques, elles sont encore balbutiantes pour les séismes.

C'est pourquoi votre Rapporteur a souhaité privilégier dans un premier temps au sein de l'étude des techniques de prévision et de prévention des risques naturels celles traitant de l'aléa sismique et des mouvements de terrain en général.

Pour cela, après avoir expliqué les raisons des tremblements de terre, je souhaite définir *l'importance du risque sismique en France métropolitaine et dans les DOM-TOM.*

Peut-on prévoir les tremblements de terre ?

C'est un point capital pour épargner de nombreuses vies humaines. D'après ce qu'ont déclaré les scientifiques rencontrés à ce jour, la prévision sismique progresse dans le monde. Mais pour l'instant, aucune des méthodes expérimentées ne semble, du moins à court terme, sur le point d'aboutir. Il est, à cet égard, nécessaire de situer la recherche française en ce domaine.

Comment promouvoir la prévention et l'information ?

Même encore faible, une information existe, notamment dans deux directions : lors des demandes de permis de construire et à destination des écoles. Mais la diffusion de cette information en milieu scolaire, compte tenu du prix dissuasif de la mallette pédagogique, semble limitée.

D'autre part, comment procéder, dans les zones à risque, à des simulations d'évacuation en évitant d'affoler les populations ?

La publication de la carte du risque sismique et l'obligation de construire les nouveaux édifices en parasismique peuvent entraîner un effondrement du marché immobilier dans les zones concernées. Mais il est impératif de ne pas créer de nouveaux risques en bâtissant selon des règles obsolètes. Le génie parasismique a énormément progressé dans la dernière décennie, et l'application des normes n'entraîne pratiquement pas de surcoût

pour les constructions individuelles neuves. Par contre, il sera intéressant de voir quelles améliorations peuvent être apportées et à quel coût des constructions anciennes peuvent être rénovées et mises aux normes parasismiques.

L'organisation des secours serait-elle bien adaptée en cas de séisme catastrophique ?

Si la France n'a pas été, heureusement, confrontée à une catastrophe importante ces dernières années, il serait toutefois nécessaire de bien évaluer l'organisation des secours, et notamment la cohérence des plans de secours.

Votre Rapporteur a adopté une démarche similaire concernant les **autres mouvements de terrains, glissements ou éboulements**, qu'ils soient induits ou non par un séisme.

Toutefois, pour le risque d'éboulement suite à la cessation d'exploitation du sous-sol, votre Rapporteur se propose de l'exclure du champ, la mise en conformité pour une prévention efficace ne pouvant que déboucher sur la responsabilité de l'exploitant, s'il subsiste après la cessation d'activité.

Votre Rapporteur se propose donc, dans une seconde partie, de répondre également à ces questions :

- pourquoi y a-t-il des mouvements de terrain ?
- quelle est l'importance du risque en France métropolitaine et dans les DOM-TOM ?
- peut-on prévoir les glissements de terrain ? les éboulements ?
- comment promouvoir la prévention et l'information ?
- l'organisation des secours serait-elle bien adaptée en cas de catastrophe ?

TITRE I - LES SEISMES ET LE RISQUE SISMIQUE

1 - DEFINITION DES SEISMES ET CONNAISSANCE DES PHENOMENES

Un séisme se traduit en surface par des vibrations du sol. Il provient de la fracturation des roches en profondeur. Cette fracturation est due à une grande accumulation d'énergie qui se libère, en créant des failles, au moment où le seuil de rupture mécanique des roches est atteint.

En surface, les mouvements brusques du sol peuvent présenter des amplitudes de plusieurs décimètres, de fortes accélérations (parfois supérieures à 1 g) et des durées variant de quelques secondes à quelques minutes.

On peut distinguer trois sortes de phénomènes communément appelés tremblements de terre ou séismes :

- le tremblement d'origine tectonique qui occasionne le plus de dégâts à la surface de la terre et déforme les fonds marins générant des raz de marée ou tsunamis,
- le tremblement d'origine volcanique dû aux mouvements des magmas dans les chambres magmatiques des volcans,
- le tremblement d'origine humaine par remplissage de retenues de barrages, injection ou exploitation de fluides dans le sous-sol, explosions dans les carrières...

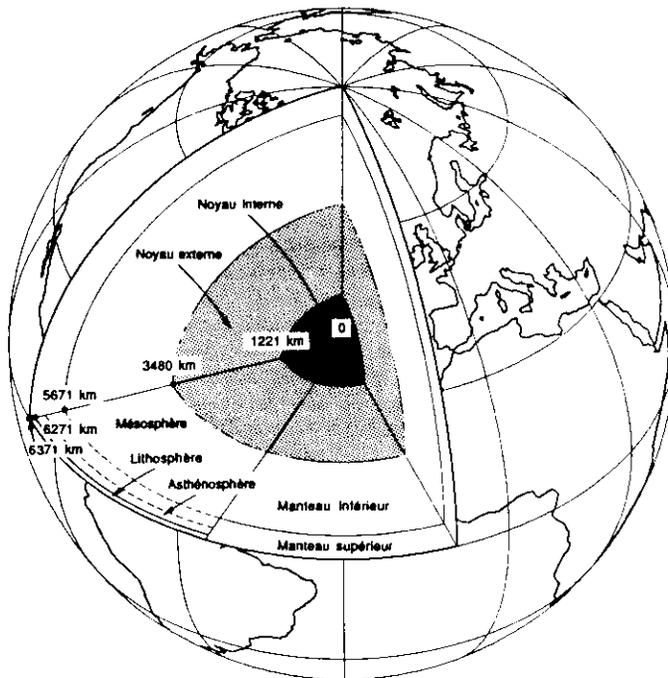
Rappelons les grands traits de la structure de la terre :

- *la croûte*, partie la plus superficielle. On y distingue la *croûte continentale*, épaisse (35 kilomètres en moyenne), constituée de roches sédimentaires et granitiques, et la *croûte océanique*, mince (7 kilomètres), de nature basaltique ;
- *le manteau* va de la base de la croûte jusqu'à 2 900 kilomètres de profondeur. Il est formé d'une roche entièrement solide, la péridotite, constituée essentiellement d'olivine. On y distingue le *manteau supérieur*, jusqu'à 700 km (dont les 100 premiers kilomètres sont rigides et le reste plastique), et le *manteau inférieur*, ou profond, rigide ;
- *le noyau* de 2 900 à 6 370 km de profondeur, constitué de fer et de nickel.

1-1 - la tectonique des plaques

La tectonique des plaques, sur la base des propriétés mécaniques des matériaux, distingue :

- *la lithosphère*, couche épaisse de 70 km (sous les océans) à 150 km (sous les continents), rigide et cassante, découpée en plaques mobiles. Elle est formée de la croûte et de la partie rigide du manteau supérieur.
- *l'asthénosphère*, sur laquelle se déplace la lithosphère, est au contraire visqueuse et ductile.



– Structure interne de la Terre. A partir du centre, on distingue le noyau interne, le noyau externe et le manteau que l'on subdivise en manteau supérieur et manteau inférieur (sismologie), ou en lithosphère, asthénosphère, et mésosphère (rhéologie). La croûte terrestre, mince pellicule, n'est pas représentée.

Source : Les tremblements de terre, Raoul MADARIAGA et Guy PERRIER, Presses du CNRS (1991)

La dérive des continents, imaginée par Wegener en 1915 fut rejetée par la plupart des chercheurs quelque temps après. Mais les recherches continuèrent et les hypothèses du début des années 1960, émises séparément par H. Hess et par R. Dietz sur le renouvellement des fonds océaniques sont vérifiées par deux chercheurs anglais F. Vine et D. Matthews en 1963. La théorie de la tectonique des plaques a ensuite été développée par trois géophysiciens, l'Américain J. Morgan, le Britannique D. Mac Kenzie et le Français Xavier Le Pichon. Qu'est-ce cette théorie ?

Le dégagement de la chaleur interne du globe, due en grande partie à la radioactivité naturelle des roches profondes, provoque la dérive de surface des roches profondes.

La chaleur interne est évacuée par de grands cycles de convection, très lents. Ces tourbillons brassent tout le manteau terrestre jusqu'à 3 000 km de profondeur, à une vitesse de l'ordre du centimètre par an, soit 10 km en un million d'années.

La croûte terrestre participe : les plaques épaisses d'une centaine de kilomètres sont entraînées par ces flux. Chaque plaque possède un mouvement horizontal propre, ce qui résulte, aux zones de frontières des plaques, en des mouvements relatifs de convergence, de coulissage, ou d'éloignement.

Dans la croûte terrestre, ces mouvements relatifs des plaques sont accommodés par des failles, qui coulissent donc de quelques dizaines de kilomètres par million d'années. Ainsi la plaque de l'océan pacifique coulisse le long de la plaque nord-américaine, activant ainsi la faille de San Andreas, et plus à l'Ouest, s'enfonce sous le Japon. La convergence de l'Afrique et de l'Eurasie, à raison de 2 cm par an, provoque la surrection des Alpes.

Dans la partie supérieure de la croûte, ce mouvement des failles n'est généralement pas continu : les failles restent bloquées pendant de longues périodes de temps (il n'y a pas de fluage permanent comme dans les couches inférieures), tandis que le mouvement régulier des plaques se poursuit de part et d'autre.

La région de la faille bloquée se déforme alors progressivement ; la faille se charge jusqu'à ce qu'elle cède et coulisse brutalement sur toute sa surface : c'est la *rupture sismique*, qui relâche ainsi les contraintes tectoniques, et rattrape le retard au mouvement des plaques.

Puis la faille, de nouveau bloquée, se recharge, et le cycle sismique recommence. Des petits réajustements des blocs au voisinage de la faille se produisent après la secousse principale, donnant lieu à des séismes de magnitude plus faible, les répliques, dont le nombre et l'énergie vont en décroissant rapidement avec le temps. Un séisme de magnitude 8 peut donner des répliques pendant plus d'un an, dont certaines peuvent provoquer de nouveaux dommages.

Ce cycle sismique conduit à des prédictions à long terme. Si les plaques de part et d'autre de la faille ont un mouvement relatif moyen de 1 cm/an (zone de déformation tectonique rapide), on peut s'attendre à un glissement sismique de 1 mètre tous les siècles (magnitude typique de 6.5 à 7), ou bien de 10 mètres tous les millénaires (magnitude typique de 8.5 à 9).

Le segment de faille dont la dernière rupture est la plus ancienne doit être considéré comme le plus menaçant : c'est une *lacune sismique*, site potentiel pour un futur séisme.

Reprenons ce que disent Raoul Madariaga et Guy Perrier de l'indéformabilité de la lithosphère et des zones sismiques. La lithosphère est souvent considérée comme rigide et indéformable: la distance entre des villes d'une même plaque, par exemple Paris, Londres et Oslo, reste constante en première approximation. Il n'en est pas de même pour la distance Paris-New York qui augmente puisque les deux villes sont situées sur deux plaques différentes séparées par une zone d'expansion, la dorsale médio-atlantique. Les frontières entre les différentes plaques sont précisément les zones où la lithosphère ne peut plus être considérée comme indéformable : elles sont donc caractérisées par une forte activité sismique ; la localisation précise des tremblements de terre (seuls ceux de magnitude élevée, en général supérieure à 6, doivent être considérés car ils sont les seuls significatifs des mouvements globaux) a donc permis de délimiter ces frontières.

On distingue cinq types principaux de zones sismiques :

1-1-1 - Les zones de divergence

Le long de ces zones, les plaques s'écartent du fait de l'expansion des fonds océaniques. Sous l'axe des dorsales médio-océaniques, du matériau mantélique partiellement fondu issu de l'asthénosphère est mis en place. Par refroidissement, la lithosphère océanique est créée, la croûte se différenciant en quelques milliers d'années. De telles zones sont caractérisées par un intense volcanisme basaltique, des séismes superficiels (moins de 60 km de profondeur) produits par le processus d'extension et un flux de chaleur élevé.

1-1-2 - Les failles transformantes

Le long de ces failles, les plaques coulissent les unes par rapport aux autres et il n'y a ni création ni destruction de lithosphère. Ces failles sont caractérisées par une sismicité superficielle, le mécanisme des séismes étant un simple coulissage horizontal.

1-1-3 - Les zones de subduction

Elles sont associées aux fosses océaniques profondes où la lithosphère retourne au sein de l'asthénosphère. Le long de ces frontières, l'une des plaques (la plus lourde) s'enfonce sous l'autre. Elle peut pénétrer dans l'asthénosphère jusqu'à une profondeur de 700 km. Ces zones où les plaques lithosphériques plongent avec un angle voisin de 60° (mais pouvant varier, selon les régions et la profondeur, de 20° à 90° en fonction de la dynamique générale des plaques) sont appelées zones de subduction. Le chevauchement d'une plaque sur l'autre aboutit à la destruction de la plaque chevauchée, de nature océanique, qui s'enfonce dans l'asthénosphère comme un corps rigide relativement froid. Elle est progressivement réchauffée et perd ainsi toute identité.

L'expression en surface de la frontière de plaques sera représentée par un système fosse océanique-arc insulaire si la plaque chevauchante est également de type océanique : on parle alors du type "arc insulaire" ou de collision océan-océan ; on le rencontre sur tout le pourtour occidental de l'océan Pacifique, depuis les îles Aléoutiennes au Nord jusqu'aux îles Kermadec au Sud (certains arcs insulaires peuvent être séparés du continent par des bassins arrière-arc comme dans l'Ouest du Pacifique). On rencontre également des systèmes fosse océanique-chaîne de montagne, dans le cas où la plaque chevauchante est de type continental : on parle alors de "chaîne liminaire" ou de type andin que l'on rencontre en Amérique du Sud au niveau de la cordillère des Andes.

Dans les deux cas, la lithosphère plongeante est caractérisée par une importante sismicité. De plus, un intense volcanisme se développe à la verticale des séismes de profondeur intermédiaire, autour de 200 km. C'est pourquoi on parle souvent de la "ceinture de feu" du Pacifique.

1-1-4 - Les zones de collision continentale

Contrairement aux cas précédents, lorsque deux plaques continentales entrent en collision, aucune des deux plaques ne peut être subductée. Les limites de plaques sont alors moins nettes et la sismicité, souvent violente mais diffuse, peut recouvrir de larges surfaces. C'est le cas de la zone qui s'étend depuis le bassin méditerranéen jusqu'à la Birmanie, soumise à une déformation intra-continentale.

Il suffit de parcourir l'Europe occidentale ou l'Asie himalayenne pour mesurer l'intensité de ces déformations qui peuvent s'étendre sur plusieurs milliers de kilomètres, qu'elles soient associées aux cycles orogéniques anciens (par exemple hercynien) ou plus récents (alpin). Pour l'étude de ces orogènes (du grec *oros*, montagne, et *genos*, génération) il est alors difficile d'appliquer les méthodes quantitatives et prédictives de la tectonique des plaques qui se fonde sur la rigidité de grands panneaux de lithosphère séparés par d'étroites zones de déformations permanentes.

Ainsi, si l'on observe la répartition de la sismicité mondiale, on constate qu'au sein des principaux continents, les séismes sont distribués de façon diffuse. Cela est particulièrement clair en Eurasie où il n'est guère possible de délimiter, comme dans les océans ou à leurs marges, des zones étroites où se produit l'écrasante majorité des séismes.

Pourtant, à l'heure actuelle, de nombreux séismes souvent catastrophiques s'y produisent, témoignant ainsi d'une intense activité tectonique. Estimer à quel point la croûte et la lithosphère continentales sont déformables, comment elles se déforment et dans quelles conditions, figurent sans doute parmi les questions les plus fondamentales en sciences de la Terre actuellement.

1-1-5 - Les chaînes intra-continetales, obduction et sutures ophiolitiques

Certaines chaînes sismiquement actives se forment en dehors des limites de plaques, à l'intérieur d'un continent, lorsque la plaque continentale a été mise sous contrainte à la suite d'une collision : on parle alors de chaîne intra-continetale. La déformation se greffe sur des zones de faiblesse, sur un bassin sédimentaire comme dans le cas du Haut-Atlas marocain ou sur d'anciennes failles décrochantes comme en Afghanistan dans la région de Chaman.

D'autre part, il arrive parfois que la croûte océanique ne s'enfonce pas sous le continent mais vienne le chevaucher sur une centaine de kilomètres comme en Oman ou en Nouvelle-Calédonie. Ce phénomène est connu sous le nom d'obduction. La croûte continentale ne pouvant s'enfoncer très profondément du fait de sa légèreté, il en résulte une déformation importante. Le type de chaîne ainsi formée est caractérisé par de grands chevauchements.

Elle permet par ailleurs un échantillonnage complet, à terre, des assemblages de roches qui constituent la croûte océanique. En effet une caractéristique de la quasi-totalité des chaînes de collision est la présence en leur sein d'une association de roches appelées ophiolites ou ensembles ophiolitiques, anciens fonds océaniques (depuis les sédiments profonds et les basaltes jusqu'aux péridotites du manteau) échoués sur les continents. Les ophiolites témoignent de la présence d'un ancien océan et sont les indices de l'existence d'anciennes zones de subduction aujourd'hui intégrées aux continents. Elles marquent la ligne de suture entre des continents entrés en collision sous l'effet de l'expansion océanique. Les chaînes de montagnes apparaissent donc comme des témoins importants pour comprendre la genèse et la mort des océans.

1-2 - les séismes non tectoniques

Si les séismes tectoniques sont les plus nombreux, il existe cependant d'autres types de séismes naturels et artificiels.

1-2-1 - les séismes volcaniques

Ce sont les séismes naturels non tectoniques les plus fréquents. Ils se produisent en même temps qu'une activité volcanique avec ou non éruption, sans que pour cela les deux phénomènes soient liés. Ces séismes volcanotectoniques, situés dans la croûte, peuvent être générés à des intervalles de temps réguliers et rapprochés, produisant des vibrations quasi continues : on les appelle alors trémors.

1-2-2 - les séismes provoqués

Ce sont les séismes dus aux explosions. Ces explosions sont de nature très différentes et vont des tirs de mines et de carrières aux explosions nucléaires. On peut les distinguer facilement des autres séismes puisque pour ces séismes provoqués on enregistre une magnitude des ondes de volume variant de 6 à 6.3 alors que la magnitude des ondes de surface est voisine de 4.5.

1-2-3 - les séismes induits

D'autres séismes sont dus à l'activité de l'homme. Mise en eau de certains lacs-réservoirs de barrages, site d'exploitation de gaz naturel, exploitations minières ont été à l'origine de séismes induits, même dans des régions ayant une activité sismique modérée.

Les premières observations concernant les barrages remontent à 1935 où la mise en eau du lac Mead provoqua des petits séismes fréquents de magnitude inférieure à 5 dans les régions du Nevada et de l'Arizona. Le cas le plus connu de séisme induit en France par une mise en eau est celui qui s'est produit le 25 avril 1963 au barrage de Monteynard, dont la magnitude était de 4.9. La cause en est vraisemblablement l'infiltration d'eau dans les microfractures des roches, ce qui entraîne une diminution de la résistance des roches à la rupture sous la pression d'eau supplémentaire.

Ce phénomène peut se produire de même dans le cas d'injection d'eaux polluées (injections et pompages réguliers) dans des puits profonds, les Américains de l'U.S. Geological Survey l'ayant expérimenté en 1969 dans le Colorado.

Les séismes induits sont également observés au voisinage d'exploitations minières, avec l'effondrement de certaines cavités ou "coups de toit". C'est le cas notamment dans les Bouches-du-Rhône avec une sismicité faible mais qui inquiète la population à Gardanne.

Des séismes induits sont également observés près des zones de prélèvements d'hydrocarbures. Le gisement de Lacq, dans les Pyrénées Atlantiques, est particulièrement observé, l'extraction du gaz naturel provoquant des nombreux séismes de faible magnitude (inférieure à 4).

Enfin, rappelons pour mémoire que les cosmonautes américains, entre 1969 et 1972, avaient installé cinq stations sismologiques sur la Lune. Si l'activité sismique lunaire (Passive Seismic Experiment) a pu être observée, il n'a pu y avoir de véritables enseignements pour l'activité sismique terrestre.

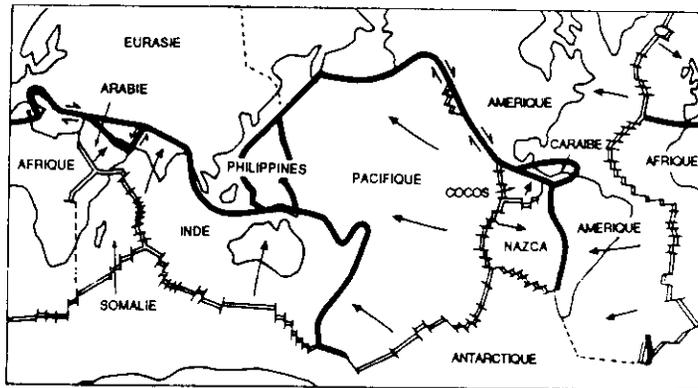


Fig. 5 - Carte simplifiée des grandes plaques lithosphériques actuelles et de leurs limites (modèle de J. Morgan).

- | | | | |
|---|--|---|--------------------------------------|
|  | Dorsales et failles transformantes océaniques |  | Failles transformantes continentales |
|  | Zones de convergence (subduction et collision) |  | Direction du mouvement des plaques |

2 - LE RISQUE SISMIQUE EN FRANCE METROPOLITAINE ET DANS LES DOM-TOM

La France n'est pas classée dans les pays sismiques. Le dernier événement mortel dû à un séisme remonte à 1909. Mais le séisme du 14 décembre 1994 près de Bonneville est venu pour rappeler que cet aléa existe.

2.1 - la France métropolitaine

Comparée à la Grèce et à la Turquie, la France métropolitaine est une région à sismicité moyenne. Les séismes qui s'y produisent sont eux aussi la conséquence du rapprochement entre l'Afrique et l'Eurasie et sont donc de type intra-plaques.

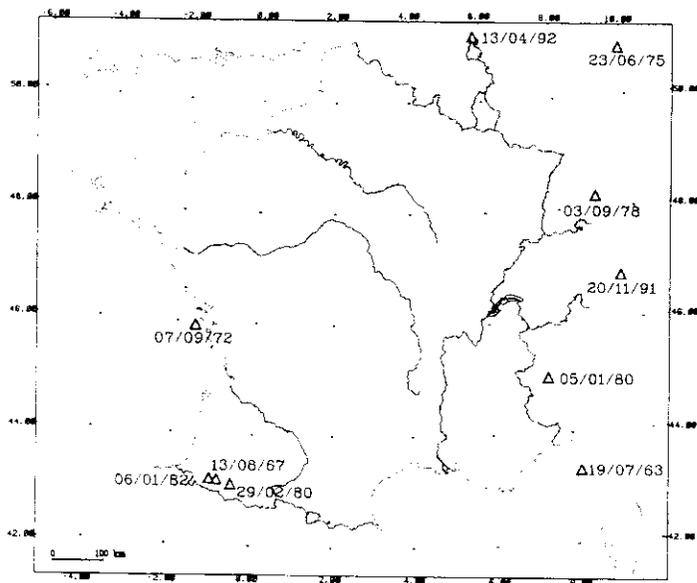
Les Alpes et la Provence

L'évolution tectonique des Alpes est très complexe, mais on y retrouve, comme dans toutes les chaînes de collision, déplacements frontaux et chevauchements, déplacements latéraux et rotations. On observe, au Nord, une bande sismique de 50 km de large au front des massifs cristallins externes (Mont-Blanc, Aiguilles Rouges, Belledonne) depuis Chamonix jusqu'au Sud de Valence. Au Sud, de même orientation, le long de la vallée de la Durance, un alignement s'étend depuis Pertuis-en-Provence au Sud-Ouest jusqu'en Ubaye au Nord-Est. Actuellement peu actif dans sa partie occidentale, il a pourtant été dans le passé le siège de séismes assez forts au voisinage de Manosque (1708, 1812, 1913). De même, un peu plus à l'Ouest, entre Pertuis et Lambesc se trouve la région de la Trévarasse où s'est produit le séisme du 11 juin 1909 de magnitude 6.2, faisant une quarantaine de morts et endommageant de nombreux bourgs tels que ceux de Rognes et de Vernègues où on peut encore voir quelques vestiges. Toute cette zone provençale est peut-être actuellement le site de ce qu'on appelle une lacune sismique. C'est donc une région qui doit faire l'objet d'une surveillance particulière, d'autant plus que la densité de population a considérablement augmenté depuis la dernière guerre.

Au Sud de cette ligne, jusqu'à la Méditerranée, de Marseille jusqu'à Cannes, la sismicité est nulle. S'y font cependant ressentir des séismes dont les foyers sont situés plus à l'Est, à partir de Nice en direction de l'Italie (par exemple, séisme de Ligurie du 23 février 1887 qui a causé de nombreuses destructions à Menton) où se situerait la limite des plaques Afrique et Europe qui remonte vers le Nord en suivant la bordure occidentale de la vallée du Pô. Sur cette limite se greffe une autre ligne sismique qui s'étend dans le golfe de Gênes sur près de 100 km et dont les séismes sont souvent ressentis en Provence-Côte-d'Azur. A l'Est, si le Queyras et l'Ubaye ont une activité assez régulière et importante, on observe également une activité

INSTRUMENTAL SEISMICITY OF FRANCE
(1962-1992)

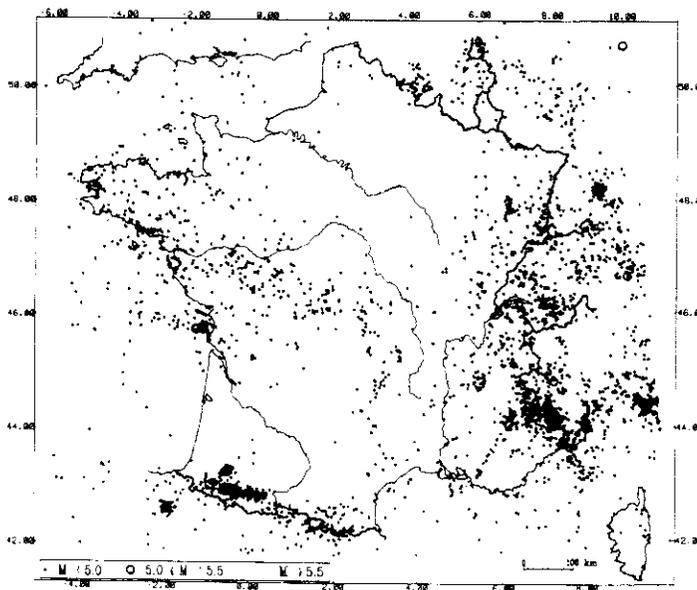
MAJOR EVENTS : $M \geq 5.0$



CEA/LDG data File, 1992

INSTRUMENTAL SEISMICITY OF FRANCE

(1962 - 1992)



CEA/LDG DATA FILE, 1992

notable dans les régions internes des Alpes, en particulier dans le Briançonnais.

Il reste le cas particulier du séisme nissart du 20 juillet 1564 qui a fortement affecté l'arrière pays niçois et qu'on situe entre les vallées de la Tinée et de la Vésubic, quelques kilomètres à l'Ouest de Roquebillière. Fortement ressenti sur 2 500 km², responsable de 800 à 900 morts et de la destruction d'une dizaine de localités, on peut se poser la question de savoir si sa magnitude fut très importante (> 6) et si les effets destructeurs n'ont pas été dus essentiellement à des glissements de terrain qui peuvent être considérés comme des effets secondaires, parfois redoutables dans des régions montagneuses comme les Alpes. Un autre séisme important, estimé à 6.5, fut ressenti à Nice en 1887, peut-on en déduire pour autant une période de retour ?

La vallée du Rhône

A l'Ouest des Alpes, depuis Valence jusqu'en Provence occidentale, en bordure du Massif Central, la moyenne vallée du Rhône est une zone de rift d'âge oligo-miocène (autour de 25 millions d'années), d'où l'existence d'un alignement de séismes depuis le Tricastin jusqu'à Cavaillon et Nîmes. Plusieurs séismes y ont atteint l'intensité VIII en 1772-1773, 1873 et 1901, dans la région de Montélimar. Un intérêt particulier a été porté à ces séismes par suite de l'installation de centrales nucléaires dans cette zone.

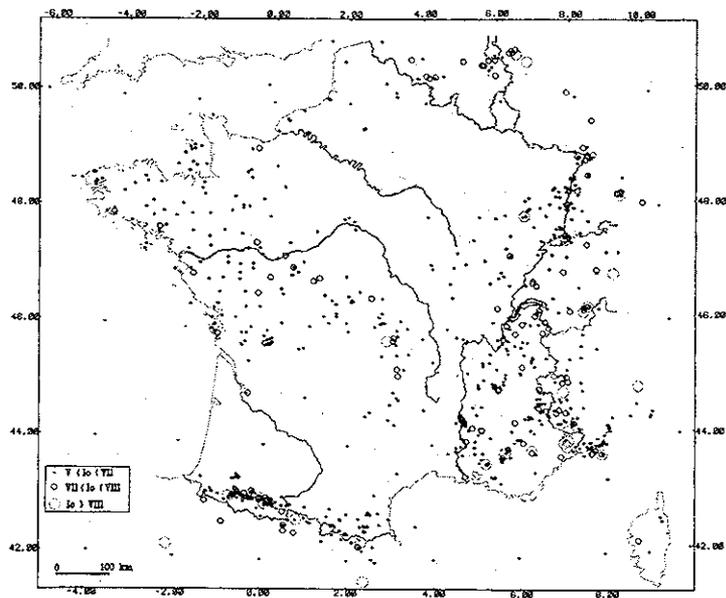
Les Pyrénées

La chaîne des Pyrénées est le résultat d'un grand coulissage qui s'est produit il y a 100 millions d'années le long de la faille nord-pyrénéenne, déplaçant l'Espagne vers l'Est, suivi par un déplacement vers le Nord de cette dernière. La sismicité y est très active, assez homogène le long de son axe, avec quelques zones de concentration : Arette, Arudy ($M_s=5,4$ en 1980), la Bigorre, Bagnères-de-Luchon et le massif de la Maladetta, Andorre. En Roussillon, l'activité est actuellement réduite mais il n'en a pas toujours été ainsi. Le séisme de Catalogne de 1428 y a fait de gros dégâts. Est-ce aussi lacune sismique ?

Le fossé rhénan et l'Auvergne

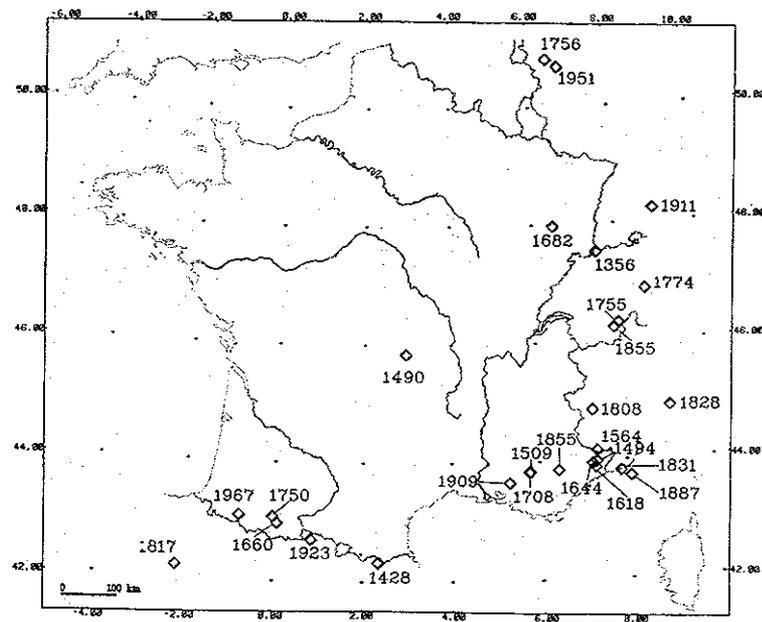
Comme dans la vallée du Rhône, nous sommes ici dans deux régions en extension avec des rifts intra-continentaux d'âge oligocène associés à du volcanisme (Kaiserstuhl à l'Est de Colmar ; volcans d'Auvergne dont certains ont moins de 10 000 ans). Leur sismicité n'est actuellement pas très importante mais dans le passé, de fortes secousses les ont ébranlées : la plus importante fut le séisme de Bâle de 1356 (intensité X, plusieurs centaines de morts). En Auvergne, deux séismes d'intensité VIII se sont produits en 1477 et 1490 un peu à l'Ouest de Clermont-Ferrand. Depuis quelques années, on observe cependant une certaine activité dans le Livradois.

HISTORICAL SEISMICITY OF FRANCE
 (past millenium)
 epicentral intensity \geq V M.S.K.



SIRENE DATA BASE, 1993
 (BRGM/EDF/IPSN)

HISTORICAL SEISMICITY OF FRANCE
 (past millenium)
 MAJOR EVENTS : Io \geq VIII M.S.K.



SIRENE DATA BASE, 1993
 (BRGM/EDF/IPSN)

Massif armoricain, Massif central occidental, Vosges

Ces massifs correspondent à l'ancienne chaîne hercynienne (300 millions d'années). On y observe une sismicité régulière mais assez diffuse due probablement au rejeu d'anciennes failles. Historiquement, le séisme le plus important est sans doute celui de Remiremont dans les Vosges en 1682. Plus récemment, il faut citer les séismes du Sud de la Bretagne (1930 dans le Morbihan ; 1959 près de Quimper), celui de l'île d'Oléron (1972) qui est le siège d'une activité assez importante, celui de l'Ouest du Cotentin (1926) ainsi que les deux crises qui ont ébranlé en 1977 les régions d'Eguzon (Indre) et de Cosne d'Allier.

On remarquera l'absence quasi totale de sismicité dans les deux grands bassins sédimentaires parisien et aquitain.

Enfin, la Corse est peu sismique malgré le séisme de 1978 de l'Est de l'île qui avait une magnitude de 4.4.

2.2 - les Petites Antilles : départements de Guadeloupe et de Martinique

Les archipels de la Guadeloupe et de la Martinique ont été sévèrement meurtris par les tremblements de terre au cours des trois derniers siècles, notamment en 1839 (plus de 300 morts en Martinique) et en 1843 (plus de 3 000 morts en Guadeloupe). Les dégâts lors de ces séismes majeurs (de même que lors des séismes locaux de 1851 et 1897 en Guadeloupe) ont été considérables, la majeure partie des capitales, Pointe-à-Pitre et Fort-de-France, ayant été rasées. Selon une simulation réalisée en 1972, on pourrait dans les conditions du séisme du 8 février 1843 connaître un bilan catastrophique de plus de 100 000 morts sur l'ensemble des Antilles et de 3 300 millions de francs de pertes. 523 séismes ont été ressentis en 1994 dans l'arc caribéen.

Le risque sismique est élevé en Guadeloupe et Martinique et ce, pour plusieurs raisons qui sont propres à ces départements, où la situation est bien différente du contexte métropolitain.

La première raison est que l'aléa sismique y résulte d'un contexte géodynamique actif, s'exprimant également par du volcanisme, le long d'une zone de contact matérialisée par l'arc des Petites Antilles, et des déformations tectoniques associées en domaine intra-plaque, au voisinage de cette zone de contact.

La seconde est que les effets d'un gros tremblement de terre peuvent y être fortement accrus, à cause d'un contexte naturel particulièrement propice aux mouvements de terrain, à la liquéfaction des sols et à l'amplification des

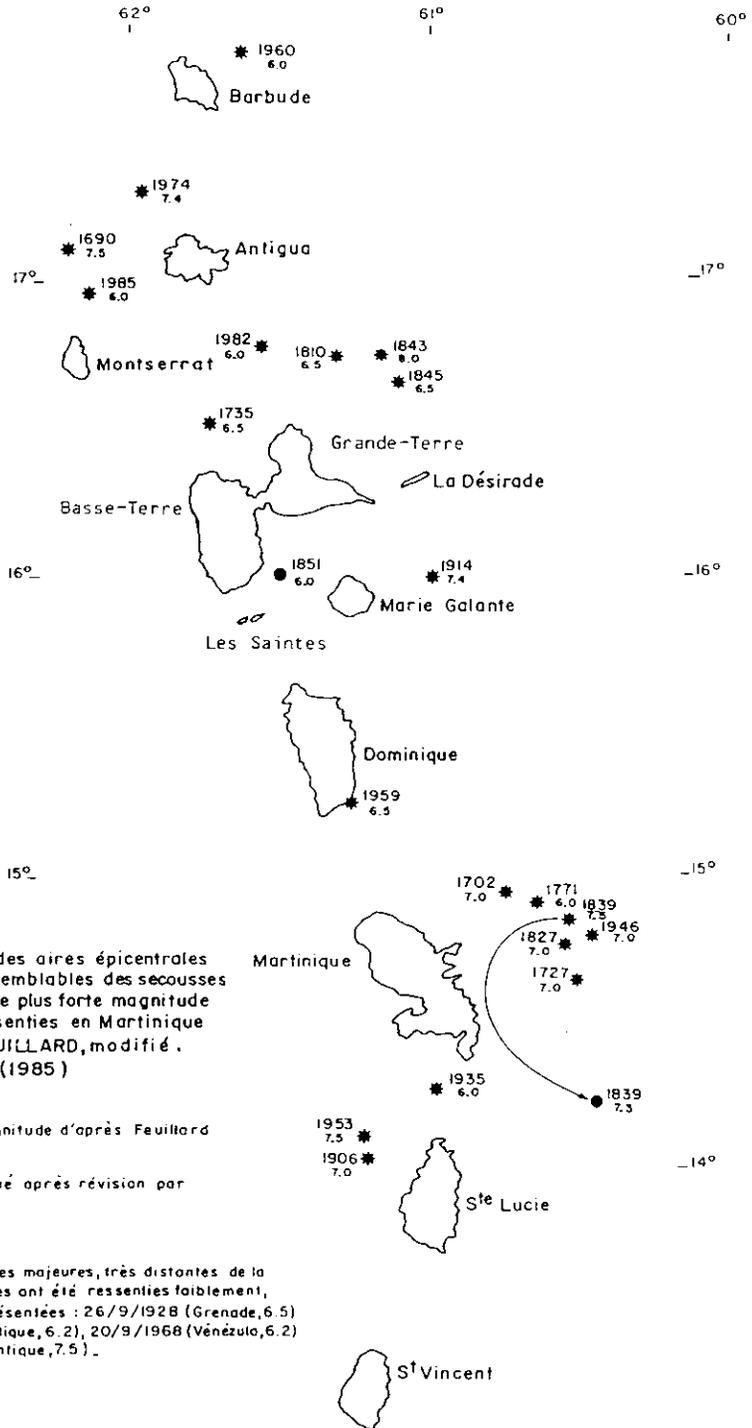


Fig.12.B - Localisation des aires épicentrales les plus vraisemblables des secousses historiques de plus forte magnitude estimée, ressenties en Martinique d'après FEUILLARD, modifié. (1985)

- * Epicentre et magnitude d'après Feuillard
- Epicentre modifié après révision par le BRGM

NB : certaines secousses majeures, très distantes de la Martinique, où elles ont été ressenties faiblement, ne sont pas représentées : 26/9/1928 (Grenade, 6.5) 23/10/1964 (Atlantique, 6.2), 20/9/1968 (Vénézuëla, 6.2) 25/12/1969 (Atlantique, 7.5) .

vibrations. Par ailleurs, au moins en Guadeloupe, certains systèmes de failles actives majeures peuvent être associés à des sources sismiques de taille suffisante pour que la rupture se propage jusqu'en surface du sol.

La troisième est que la vulnérabilité des constructions y est généralement très grande, dans un contexte d'urbanisme et d'aménagement souvent défavorable, en liaison avec :

- une forte densité de population en certains secteurs,
- l'occupation de zones dangereuses comme les versants raides et instables ou les zones liquéfiables par exemple,
- certaines pratiques en matière de construction, surtout pour l'habitat individuel, contraires aux principes élémentaires de protection parasismique, notamment une mauvaise conception d'ensemble anticyclonique et parasismique, le tout très souvent associé à l'absence de permis de construire et du moindre contrôle à quelque stade que ce soit.

Enfin, la dernière tient au risque lui-même, c'est-à-dire aux conséquences économiques et sociales d'un séisme qui peuvent être particulièrement graves en raison de la répartition de la population et des biens exposés :

- concentration excessive d'habitations précaires dans les grosses agglomérations,
- fragilité du capital économique lié aux infrastructures touristiques, à quelques industries et à un réseau de voies de communication souvent très exposé et, par suite, fragilité de l'équilibre social qu'il préserve,
- présence d'installations à risque spécial pouvant constituer une menace importante pour l'environnement (industries stockant des produits dangereux, barrages, etc.).

Au cours des dix dernières années, la prise de conscience de l'importance de ce risque est allée croissante et s'est traduite par le lancement de différents types d'actions financées à l'échelon central (Ministère de l'Environnement notamment) comme local (Conseils régionaux, Conseils généraux). Elles concernent :

- le renforcement de la surveillance sismologique,
- l'amélioration de la connaissance de l'aléa sismique régional et local (avec notamment les microzonages de Pointe-à-Pitre et Fort-de-France),
- la cartographie systématique, à l'échelle communale de l'aléa sismique sur toute la Guadeloupe et une grande partie de la Martinique, à travers la réalisation d'atlas communaux des risques, répondant aux objectifs de la loi de juillet 87 sur l'information des citoyens et affichant également les aléas mouvements de terrain, inondations et co-cycloniques (houles et marées de tempête),
- des études pilotes d'évaluation de la vulnérabilité aux séismes et d'élaboration de scénarios de risque (devant être prolongées par les programmes GEMITIS/Antilles, s'inscrivant dans le cadre de la Décennie internationale pour la prévention des catastrophes naturelles : DIPCEN),
- des actions de sensibilisation et d'information des populations, de formation des professionnels de la construction et des cadres administratifs concernés, d'éducation en milieu scolaire et universitaire,
- la préparation et/ou la révision de plans de secours et d'urgence.

2.3 - Autres départements et territoires d'outre-mer

D'une façon générale, à la différence de la Guadeloupe et de la Martinique, les autres départements et territoires d'outre-mer n'ont pas fait l'objet d'études et d'actions particulières récentes, dans le domaine de l'évaluation et de la prévention du risque sismique. Il est vrai qu'à l'exception de Mayotte et de Wallis et Futuna, la sismicité y est très faible et ne justifie pas, selon les principes de protection retenus par la Puissance Publique, l'obligation d'appliquer des règles parasismiques de construction aux ouvrages à risque normal.

Ce point de vue introduit dans les règles parasismiques de construction PS 69 (version 1970) a été reconduit dans les PS 69/82 (édition 1984).

Le nouveau zonage sismique de la France pour l'application des règles parasismiques de construction destinées aux ouvrages à risque normal, établi par le BRGM et publié en 1986 par la Délégation aux Risques Majeurs, ne concerne que la métropole. Cependant, lors de la préparation des décrets

d'application de la loi n° 87-565 du 22 juillet 1987 devant entériner ce zonage, le BRGM, en s'appuyant sur des études réalisées pour des projets particuliers, avait attiré l'attention de la DRM, dès 1988, sur l'aléa sismique significatif à Mayotte et Wallis et Futuna, en suggérant un classement respectivement en zone Ib pour Mayotte et Futuna et Ia pour Wallis.

Pour des raisons statutaires, le décret n° 91-461 du 14 mai 1991, ne concerne, hors métropole, que les D.O.M. et St-Pierre-et-Miquelon.

Futuna a été frappée le 13 mars 1993 par un séisme destructeur de magnitude 6,3, localisé à une vingtaine de kilomètres à l'Ouest de l'île, ayant fait 3 morts et une douzaine de blessés. A la demande de l'assemblée territoriale, une mission d'évaluation du coût de la reconstruction a été effectuée sous l'égide du Conseil Général des Ponts et Chaussées. Un séisme plus modeste, de magnitude de l'ordre de 5,0, est venu, en causant quelques dégâts à Mayotte le 1er décembre 1993, rappeler que ce risque méritait probablement quelque attention.

En Guyane, la présence d'installations à risque spécial notamment avec la base du Centre national d'études spatiales (CNES) de Kourou et le grand barrage de Petit-Saut, justifie l'approfondissement de l'évaluation de l'aléa sismique, qui reste sommaire pour l'instant mais peu inquiétant.

La situation est un peu similaire à la Réunion. La sismicité très modérée (quelques secousses historiques connues, toutes d'intensité inférieure à VII) ne justifie pas de mesures généralisées aux ouvrages à risque normal mais la présence d'installations industrielles à risque spécial devrait conduire à affiner l'évaluation de l'aléa. De plus, dans un contexte géologique et géomorphologique très propice aux mouvements de terrain, parfois de très grande ampleur, il ne faut pas oublier le rôle déclencheur que peut avoir une secousse sismique, même faible.

Le point commun à tous ces départements et territoires d'outre-mer est la vulnérabilité, généralement très grande, du bâti existant, surtout de l'habitat individuel.

Comme les moeurs évolueront très lentement en ce domaine, et que la prévention ne sera pas immédiatement prise en compte, il faudrait envisager de déplacer les populations en cas d'alerte. C'est tout le problème de la prévision et plus encore de la prédiction.

3 - LA PREVISION DES SEISMES EST-ELLE POSSIBLE ?

On distingue généralement la *prévision à long terme* (plusieurs dizaines d'années), à *moyen terme* (entre un mois et une année), à *court terme* ou *prédiction* (quelques heures à quelques jours).

La prévision à long terme (plusieurs dizaines d'années), permet la définition d'un mode de construction adapté à une région, et l'éventuel renforcement du bâti existant. La prévision à moyen terme (un mois, une année), permet aux scientifiques d'instrumenter finement et de surveiller la ou les failles menaçantes. Enfin la prédiction à court terme (quelques heures à quelques jours), permet la mise en alerte des réseaux d'intervention de la protection civile, la préparation des secours et éventuellement l'évacuation temporaire des bâtiments.

3-1 - la prévision à long terme

La prévision à long terme permet de définir l'aléa sismique d'une région, c'est à dire la probabilité d'occurrence d'une secousse dépassant un certain niveau. L'analyse de la sismicité historique (retrouver les magnitudes et les localisations approximatives des failles sources), de la sismicité instrumentale, et l'identification des failles actives sur le terrain, permet de fournir le cadre nécessaire à la définition de l'aléa. Pour un site donné, la magnitude et la distance du ou des séismes à prendre en compte étant définies, il est possible d'estimer les caractéristiques du mouvement du sol.

Mais quel est pour la population l'intérêt de savoir que dans un siècle ou plus un séisme d'importance indéterminée se produira dans la région ? Mis à part la nécessité de construire en respectant des normes parasismiques, la motivation est peu importante.

3-2 - la prévision à moyen terme

La prévision à moyen terme semble avoir trouvé une voie prometteuse par la technique de reconnaissance des formes, appliquée par une équipe soviétique aux variations dans l'espace et le temps de la sismicité d'une région. Ces chercheurs pourraient ainsi préciser le lieu (à quelques centaines de kilomètres près) des plus grands séismes de l'année qui vient, avec un taux de succès significatif, sur la base des catalogues annuels de sismicité.

Ces résultats, s'ils sont confirmés, sont importants, car les techniques de prédiction à court terme, très coûteuses, nécessitent le choix

a priori des failles à surveiller, choix qui pourrait être guidé par la méthode soviétique.

3-3 - la prévision à court terme ou prédiction

La prédiction sismique consiste à tenter de prévoir le lieu et l'instant d'un futur séisme destructeur. La prédiction à court terme devrait permettre d'évacuer les populations et donc de préserver des vies humaines. Or, le temps de retour moyen d'un séisme destructeur est très variable, de plusieurs dizaines d'années à plusieurs millénaires !

Les cycles sismiques d'une région ne sont pas forcément réguliers, loin s'en faut. Il est donc impossible à partir d'une simple analyse historique de prédire un séisme. Les sismologues doivent donc baser leur prévision sur d'autres observations : celles des phénomènes précurseurs.

3-3-1 - les phénomènes précurseurs

Les observations des différents séismes ont permis de répertorier de nombreux phénomènes dont certains sont sans doute des précurseurs :

- déformations crustales
- évolution spatio-temporelle de la sismicité
- variation des vitesses de propagation des ondes sismiques
- phénomènes hydrogéologiques et géochimiques
- résistivité électrique
- potentiels spontanés
- émissions électromagnétiques
- variation du champ géomagnétique.

La Chine développe des études de comportement des animaux ; en 1974, le séisme de magnitude 7.4 dans la province de Liaoning n'a fait que quelques milliers de victimes sur les 3 millions d'habitants grâce à une évacuation programmée à la suite de l'observation de ces comportements animaliers anormaux. Par contre, en 1976, rien ne permit de prédire le séisme de Tang-Shan qui fit officiellement 240 000 victimes et certainement beaucoup plus en réalité (3 fois plus ?).

Rien non plus ne permet de prédire le séisme de Mexico (Michoacan le 19 septembre 1985, magnitude 8.1, 20 000 morts, 50 000 sinistrés et 4 milliards de dollars de pertes directes), ni celui d'Arménie (7 décembre 1988, magnitude 6.9, plus de 25 000 morts, 31 000 blessés, 500 000 sinistrés et 14 milliards de dollars de pertes directes), pas plus que celui du Nord-Ouest de l'Iran (21 juin 1990, magnitude 7.7 et 50 000 morts).

Le séisme de Northridge (17 janvier 1994, magnitude 6.7, 61 morts, 8 700 blessés, 12 000 bâtiments endommagés ou détruits, 16 000 maisons et appartements inhabitables, 40 000 personnes sans abri, 60 kilomètres de routes inutilisables, et 20 milliards de dollars de dégâts) n'a pas été prédit, pas plus que ne l'a été celui de Kobe (17 janvier 1995, magnitude 7.2, 5 493 morts, 26 000 blessés, plus de 60 000 habitations endommagées et de 500 à 1 000 milliards de francs de dégâts, chaque jour apportant son lot de constructions inutilisables bien que d'apparence extérieure satisfaisante et dernière estimation de l'ensemble des pertes pour le Japon à 10 % de son PNB).

Des phénomènes précurseurs ont été observés pour le séisme californien du 17 octobre 1989 : deux petits séismes anormaux, en 1988 et en août 1989, ont eu lieu dans une zone habituellement calme, qui s'est avérée être à l'épicentre du séisme de Loma Prieta, et ont donné lieu à un communiqué public trois mois avant le séisme. Mais cela n'a servi apparemment à rien puisque le bilan est le suivant pour Loma Prieta : magnitude 7.1, 63 morts, 3 700 blessés, 12 000 personnes sans abri et 7 milliards de dollars de dégâts.

Ces phénomènes précurseurs peuvent s'expliquer par une fatigue du milieu soumis aux contraintes tectoniques. Les roches autour de la zone source en préparation commenceraient à se fracturer et à se déformer rapidement avant la rupture finale. Mais les modèles théoriques sont encore peu développés, faute de données d'observation. Pour faire progresser cette science débutante des précurseurs, de nombreuses équipes scientifiques se sont donc attelées à la récolte et à l'analyse de données, avec des méthodes diverses.

Ainsi aux Etats-Unis, les chercheurs ont choisi de se concentrer sur un petit tronçon de la faille de San Andreas (site de Parkfield), long de 20 km seulement, que l'on sait prêt à casser par un séisme de magnitude 6 (cycle régulier de 22 ans), pour instrumenter de manière dense. Des mesures de tous les phénomènes précurseurs décrits plus haut sont faites en continu au voisinage de cette faille. De manière analogue, une équipe germano-turque surveille un tronçon de 50 km de la faille nord-anatolienne, à Mudurnu à 200 km à l'Est d'Istanbul, répétant un grand nombre de mesures variées depuis 1985. Au Japon une quinzaine d'instituts effectuent un travail analogue, dans plusieurs régions potentiellement dangereuses de l'archipel et principalement dans la lacune de Tokai. Des recherches similaires sont développées en Chine, en URSS, et dans quelques autres pays. En Grèce, un programme européen a débuté en 1990.

Le point commun de ces recherches est un effort pluridisciplinaire de toutes les disciplines des sciences de la terre, pour comprendre le phénomène de gestation de la rupture sismique; il s'agit pour l'instant de définir des critères de prédiction plus que de faire des annonces publiques de séismes imminents.

3-3-2 - la méthode VAN

La méthode VAN du nom des chercheurs grecs P. Varotsos, K. Alexandropoulos et K. Nomikos, proposée au début de la décennie 80, est encore en phase d'élaboration. Elle est basée sur les mesures des courants électrotelluriques. L'analyse des fluctuations de la différence de potentiel mesurée entre deux électrodes impolarisables enterrées et distantes d'une dizaine à quelques centaines de mètres, permet d'identifier des signes anormaux, dits "SES" (*seismic electric signal*). L'interprétation d'un SES se fait sur la base des observations passées, recueillies à la même station et corrélées à des séismes régionaux (qui peuvent être parfois distants de plusieurs centaines de kilomètres de la station d'observation du SES !). Elle conduit à la prédiction d'un séisme dont les performances annoncées sont : moins de trois semaines de délai, une incertitude de localisation inférieure à 120 km et une erreur de magnitude de 0.7, pour des séismes de magnitude supérieure à 5.

La méthode reste cependant fortement contestée par la communauté scientifique internationale, au regard des seuls documents publiés à ce jour par le groupe VAN. D'une part, les enregistrements ne sont pas corrigés des fluctuations du champ externe et d'autre part, les prédictions sont loin d'être systématiques pour les plus gros séismes. Les SES observés dans certaines stations ne pourraient être imputables qu'à une structure électrique particulière de l'Ouest de la Grèce, les seuls séismes de magnitude supérieure à 5.5 ayant fait l'objet d'une prédiction réussie étant situés à l'Ouest du Péloponnèse. En outre, ces signaux sont enregistrés sur des stations situées à plusieurs centaines de kilomètres, alors que des stations beaucoup plus proches de l'épicentre n'ont enregistré aucun signal anormal. Par ailleurs il n'existe pas de modèle physique satisfaisant, capable de rendre compte des niveaux de différence de potentiel élevés (0,1 V), mesurés en des sites d'observation distants de plusieurs centaines de kilomètres des séismes auxquels ils sont associés. Enfin les exemples de succès présentés par le groupe VAN concernent une grande majorité de séismes modérés, de magnitude inférieure à 5. Les corrélations statistiques entre ces événements et les SES enregistrés sont dès lors, sujettes à caution, dans le contexte d'activité sismique élevé propre à la Grèce où la fréquence de ces séismes faibles est très forte.

Une analyse critique approfondie de cette méthode et de ses résultats est nécessaire et plusieurs équipes de recherche, dans le monde, essayent d'éclaircir les points qui demeurent obscurs actuellement.

Votre Rapporteur a rencontré le Professeur Varotsos : on ne peut qu'être interpellé par l'attitude de cet homme. Véritable moine-soldat consacrant sa vie à cette recherche, il a transformé sa propre habitation en un centre de traitement des enregistrements de ses stations. Se levant plusieurs fois par nuit pour surveiller ses terminaux, il compte redévelopper le nombre de ses stations qui avaient été singulièrement réduites lors des années précédentes par réduction de budget et un semblant de désintérêt pour ses travaux de la part du gouvernement grec. De 18 stations jusqu'en 1989, il n'en restait que 4 en 1993. L'appui retrouvé de certaines autorités politiques grecques et la mise à disposition d'un certain nombre de militaires (rappelons que les stations VAN sont installées dans des camps militaires, ce qui les protègent des actes de vandalisme) vont lui permettre de reprendre à grande échelle ses travaux. Toutefois, le mode de communication vers le monde scientifique ne semble pas avoir évolué, ce qui laissera toujours un certain doute jusqu'à ce qu'une ou d'autres équipes aient pu expérimenter et observer des résultats comparables. Depuis 1988, les résultats font l'objet d'une publication à 19 instituts étrangers dont le MIT, Stanford, Caltech pour les Etats-Unis et le CEA/LDG, Labeyrie, M. Haroun Tazieff pour la France.

Le Professeur appuie sa démonstration par deux faits troublants :

Dans le premier cas, en 1988 :

- 31 août : signaux enregistrés.
- 2 septembre : annonce par l'équipe VAN pour le gouvernement grec d'un séisme catastrophique prévu à 240 km d'Athènes.
- 3 septembre : annonce officielle au public par M. H. Tazieff.
- 22 septembre : les premiers séismes arrivent à 5,5.
- 30 septembre : nouveaux séismes, on insiste sur le fait qu'un plus grand doit se produire.
- 4 octobre : nouveaux séismes, on insiste très fortement sur le fait qu'un plus grand doit se produire.
- 5 octobre : M. Haroun Tazieff fait une autre annonce.
Les mesures nécessaires sont prises.
- 6 octobre : Séisme de magnitude 6.
5 à 6 000 maisons détruites, pas de victimes.

Le Professeur Yoshii, de l'Université de Tokyo, a enquêté auprès de la population sur ce cas :

- un tiers de la population n'était pas informé,
- le restant est bien informé, mais certains n'y croient pas.

Mais l'annonce n'émanait pas officiellement du Gouvernement grec, elle venait de l'étranger. Les sismologues grecs disaient que rien ne se passerait.

Parmi les personnes ayant entendu l'information, la réaction avant le séisme était la suivante :

16 % n'y croyaient pas du tout,
34 % étaient indécis,
50 % y croyaient.

Si une nouvelle information venait après le séisme (sur une population de 154 personnes interrogées) :

80 % voudraient une information officielle,
15 % ne peuvent répondre,
5 % ne veulent pas savoir.

Le second cas d'annonce publique en 1993 :

27 janvier : signaux enregistrés.
28 janvier : signaux enregistrés.
29 janvier : signaux enregistrés.
30 janvier : envoi du texte au Gouvernement.

Le Gouvernement ne prend pas de mesures.

14 février : l'activité commence à Pynyos, près d'Olympie.

La population est prévenue, la réaction est très vive dans la presse. La population évacue en partie la ville et se réfugie dans des serres ou des tentes. La situation devient très difficile, car on reproche à l'équipe du Professeur de tuer l'économie de la ville. Les ministres disent que rien ne se passera, "vous pouvez rentrer", mais la population ne bouge pas.

5 mars : premier séisme de magnitude 5.9.

Les enseignants ont fait des leçons quotidiennes sur les séismes et les consignes de sécurité à respecter. Les gardiens du musée d'Olympie avaient pris de mesures pour protéger les statues, cela fut même rapporté dans le journal japonais "Asahi Shimbun".

Nouveaux signaux pendant trois semaines.

Nouvel avertissement au Gouvernement, en précisant le lieu du séisme.

26 mars : l'Office de prévision et de prévention des séismes annonce que le séisme n'aura pas lieu.

Trois heures après, le séisme se produit ; 40 % des édifices détruits à Pynyos, une victime de 90 ans par crise cardiaque.

Le Professeur Varotsos précise que les stations VAN ne sont pas équipées pour observer d'autres précurseurs, il n'y a pas de possibilité de croiser des SES avec d'autres signes pour l'instant. Chaque paramètre semble nécessiter un site particulier ; le signal électrique a besoin d'être près d'un canal de conductivité, le radon ne peut être observé que près d'une faille ouverte.

Il est par ailleurs persuadé d'avoir trouver une méthode pour éliminer les bruits parasites dus à l'activité industrielle.

C'est d'ailleurs pourquoi votre Rapporteur a tenu à rencontrer également à Athènes Sylvie Gruszow, qui avec les physiciens de l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP), a installé deux stations de ce type à 10 et 6 km au NNW de la ville de Ioannina, en Grèce (Epire). Ces deux stations enregistrent les variations du champ électrique pour celle installée en juillet 1993 et celle installée en avril 1994 les variations du champ magnétique.

Une note sur les premiers résultats des travaux enregistrés par Mlle Sylvie Gruszow et le groupe de chercheurs de l'IPG de Paris (Jean-Louis Le Mouél, Jean-Claude Rossignol), du Centre National de la Recherche Scientifique de Sophia-Antipolis (Claude Pambrun) et de l'Université d'Athènes (Andréas Tzanis) et dont votre Rapporteur a eu connaissance grâce à leur amabilité, vient d'être présentée à l'Académie des Sciences.

Dans cette note qui se veut parfaitement objective l'équipe française décrit son travail depuis l'installation des stations. A l'aide des magnétogrammes, les différentes composantes du signal électrique sont analysées. Les caractéristiques des composantes ordinaires de ce signal sont toujours présentes. Des événements plus rares, dont l'origine est inconnue et qui pourraient être engendrés par une activité industrielle ou être des signaux naturels tectonoélectriques ont été détectés.

La station VAN de IOA qui est située à 5,5 km de la station électrique est celle qui a enregistré le plus grand nombre d'événements qualifiés de signaux sismoélectriques (SES). Des SES qui ont été annoncés certains jours par le Professeur Varotsos ont été détectés également par la station de Sylvie Gruszow ; par contre des signaux ont été observés des jours où aucun SES n'a été mentionné.

Les difficultés de communication entre les deux groupes -l'attitude réservée de l'équipe VAN se comprenant fort bien lorsque l'on peut observer la violence des réactions et le rejet total d'autres scientifiques, y compris et peut-être surtout en Grèce- ne facilitent pas le travail.

3-3-3 - la recherche dans des pays à forte sismicité

Lors des missions, votre Rapporteur a recueilli les avis de grands scientifiques mondiaux. Tous ont été très prudents, même quand ils affirment croire en une prédiction possible.

Mme le Dr. Barbara Romanowicz, Directeur de recherche au CNRS, dirige actuellement la "Seismographic Station" de l'Université de Californie à Berkeley. La mission de cet organisme de recherche universitaire est de suivre la sismicité de Californie du Nord et de fournir des informations pertinentes aux services d'urgence. Pour cela, le laboratoire dispose de stations à large bande permettant d'enregistrer tous les séismes sans aucun phénomène de saturation et de données transmises en temps réel.

Le but ultime recherché actuellement est l'alerte. Mais l'alerte sur des données fondamentales, c'est-à-dire définir une heure avant le séisme à venir sa magnitude et son épicode, c'est de la recherche fondamentale, et il manque toujours la connaissance du paramètre physique le permettant.

S'il existe un projet de descendre des instruments dans la faille de San Andreas, en grande profondeur qui permettra de mieux connaître certains phénomènes, cela ne résoudra pas tout.

Si au cours de ma mission, je n'ai pu rencontrer, faute de temps, de représentants du Centre d'étude des séismes du Bureau géologique des Etats-Unis (USGS), j'ai eu connaissance de leurs travaux. M. Raoul Madariaga, qui dirige le département de sismologie de l'IPG de Paris, a eu l'occasion de m'en entretenir et je cite la description qu'il fait des travaux de William Bakun et Alan Lindh de l'USGS et du professeur Mac Evilly de l'université de Californie à Berkeley qui ont étudié la sismicité de la faille de San Andreas dans le but d'établir une carte des lacunes. Ils se sont rendus compte que six séismes de magnitude proche de 6 s'étaient produits à Parkfield entre 1857 et 1966, date du dernier tremblement de terre.

L'histoire des tremblements de terre en Californie n'est connue avec précision que depuis un siècle. Avec un taux de récurrence très court, Parkfield est le seul secteur de la faille de San Andreas où l'on peut faire une prévision à long terme fondée uniquement sur des documents historiques et sur la sismicité instrumentale. Pour les autres secteurs de la faille de San Andreas, le taux de récurrence des gros séismes, trop long, ne peut être déterminé qu'à travers des études sismotectoniques.

A partir des données recueillies par différentes méthodes sur la faille de San Andreas, le Groupe de travail sur la probabilité des tremblements de terre en Californie a dressé une carte des sites les plus probables des prochains

gros séismes de la région pour la période 1988-2018. Cette carte a fait l'objet de beaucoup de publicité car le site du séisme de Santa Cruz du 17 octobre 1989 y figurait avec une probabilité de rupture proche de 30 %, la plus forte après celle de Parkfield et une autre située près de la frontière entre la Californie et le Mexique. Parkfield apparaît clairement comme le site ayant la plus forte probabilité de subir un séisme de magnitude 6, avec près de 90 % de chances pour la période 1988-2018.

Entre temps, Bakun, Lindh et leurs collègues de l'USGS ont affiné leurs estimations quant à la date du prochain séisme à Parkfield. En Californie centrale, le dernier très gros tremblement de terre a eu lieu en 1857; or Parkfield se trouve à l'extrémité Nord de la zone de rupture de ce séisme, qui semble être parti de Parkfield ou de son voisinage. Depuis 1857, des séismes ont eu lieu à Parkfield en 1881, 1901, 1922, 1934 et 1966, ce qui correspond à un taux de récurrence de vingt-deux ans, avec une incertitude de cinq ans. Le séisme de 1934 semble s'être produit en avance par rapport à la date qu'on aurait pu prévoir, mais celui de 1966 a eu lieu à la date prévue à partir des séismes plus anciens. En tenant compte de l'incertitude de cinq ans sur le taux de récurrence, les sismologues ont prévu que le prochain séisme de Parkfield aurait lieu en 1988, avec une marge d'incertitude en temps qui s'étend depuis 1983 jusqu'en 1993. On se situe actuellement au-delà de la date prévue, mais toujours dans la marge d'incertitude. Un impressionnant dispositif d'instruments est installé à Parkfield afin de déceler la moindre anomalie qui pourrait être interprétée comme le précurseur du prochain séisme.

L'instrumentation déployée par les chercheurs universitaires et les services de l'USGS comprend un réseau de sismomètres extrêmement sensibles entourant l'ensemble de la région. Les données sont transmises par radio à un site central de traitement et d'interprétation. Plusieurs instruments de très grande sensibilité ont été installés dans un puits de plus de 1 500 m de profondeur, à quelques kilomètres du village de Parkfield et à un kilomètre de la trace de la faille. Un vibreur sismique, similaire à ceux que l'on utilise en exploration pétrolière, sert à détecter les variations des vitesses de propagation des ondes sismiques

Treize extensomètres à fil d'invar ont été installés sur la trace de la faille ; ces instruments permettent de déceler des glissements de l'ordre de quelques centièmes de millimètres, entre les lèvres de la faille. Ces treize appareils réalisent des mesures toutes les dix minutes et transmettent ces informations par satellite à un site central d'exploitation des données.

A Parkfield, la déformation de la croûte autour de la faille a été étroitement surveillée depuis 1966. En 1984, un réseau de géodimètres à laser - instruments de mesure de distance par interférométrie - bicouleur a été installé de façon permanente: tous les soirs, on effectue avec cet appareil des mesures de

distance entre plusieurs monolithes distribués autour de la faille. Ce réseau est complété par d'autres instruments portatifs permettant d'assurer un suivi mensuel de la déformation sur une large zone autour du site du futur séisme. De plus, un réseau de nivellement de haute précision permet de détecter les déformations verticales de la surface.

De nombreux instruments de mesure du champ électromagnétique terrestre ont été mis en place dans cette région depuis plus de dix ans. Des magnétomètres mesurent le champ magnétique absolu, afin de détecter une éventuelle variation dans l'aimantation des roches.

Plusieurs puits de la région sont échantillonnés toutes les 15 minutes et leurs données relayées par satellite jusqu'au site central d'interprétation. Ces mesures permettent de suivre en temps réel le niveau de l'eau dans les puits et les possibles variations de la teneur en gaz et autres éléments dissous dans l'eau.

La prévision n'est toutefois pas le seul objectif de l'expérience de Parkfield. Du point de vue social, la prévention et la construction parasismique sont tout aussi importantes que la prévision. Un réseau très performant d'accéléromètres à enregistrement numérique a été déployé dans la région, aussi bien en surface que dans des puits. Quand le séisme se produira, ces données permettront d'étudier avec une précision inégalée la propagation des ondes de haute fréquence qui sont responsables de la plupart des dégâts provoqués par les tremblements de terre. Ces données serviront à améliorer les accélérogrammes utilisés par les ingénieurs parasismiques dans le calcul de structures d'immeubles, usines, stades, oléoducs, centrales nucléaires, etc. Elles seront aussi précieuses pour l'étude de la source du séisme de Parkfield, car aucune observation détaillée des ondes émises par un séisme à une aussi courte distance de sa source n'existe.

M. le Professeur Yoshio Fukao, Directeur de l'"Earthquake Research Institute" à l'Université de Tokyo me rappelait le 26 septembre 1994 les grandes réformes d'avril 94 confiant à son institut :

- la prédiction des séismes et des éruptions volcaniques, l'institut étant utilisé pour l'ensemble du pays par le monde de l'éducation en général, éducation privée ou publique
- les études fondamentales de la terre (théoriques)
- la prévention des ondes sismiques qui provoquent des dégâts

L'institut comprend 150 personnes, chercheurs et administratifs, L'observation sismique occupe le plus de monde, et dispose du plus gros budget, 6 Universités y participent et surveillent la totalité du territoire.

L'observation permet la prévision à long et à court terme et une approche en 2 temps : si un séisme est prévu dans 20 ans avec une magnitude supérieure à 8, on met en place immédiatement un réseau d'observation.

M. Teruyuki Kato, Professeur associé au "Earthquake Research Institute", est responsable de l'observation par la technique spatiale de type GPS, des mouvements de l'écorce terrestre en temps réel. Avec les 24 satellites GPS en orbite, il y en a toujours 4 ou 5 concernés, cependant la méthode est encore expérimentale, le début des opérations ne remontant qu'en 1993. A partir du satellite, une centaine de points sont observés et on peut observer une variation de l'ordre du millimètre. Si une anomalie est observée, tout le personnel va sur le site.

La géodésie spatiale est un grand espoir, parfois discuté, de nombreux chercheurs.

Deux types de mesures géodésiques sont utilisées dans l'étude de la déformation sismique: le nivellement et la triangulation. Le nivellement permet de mesurer les déplacements verticaux de la surface, tandis que la triangulation sert à déterminer les angles et les distances horizontales. En comparant des mesures faites à des instants différents, on peut donc déterminer la déformation verticale et horizontale en fonction du temps. Des mesures géodésiques de la déformation sont réalisées à intervalles réguliers autour de la faille de San Andreas et d'autres failles actives en Californie, dans plusieurs régions du Japon.

La géodésie est actuellement l'objet d'une profonde mutation avec l'introduction des méthodes spatiales et satellitaires. Des mesures très précises de grandes distances ont été rendues possibles par l'observation simultanée de sources d'émission extragalactiques à partir de deux antennes très éloignées. Cette méthode, connue sous le sigle anglais VLBI, permet de mesurer par interférométrie des variations de la distance entre deux antennes, situées à un millier de kilomètres l'une de l'autre, avec une précision de l'ordre d'un par dix millions (10^{-7}). Actuellement, plusieurs paires d'antennes ont été installées, mais il faudra quelques années avant d'obtenir des résultats significatifs car la Terre se déforme très lentement.

Une autre méthode de mesure des distances horizontales, le positionnement spatial, est basé sur l'utilisation de satellites.

Le système GPS (Global Positioning System), d'origine américaine, repose sur la mesure des déformations de la Terre. Le satellite émet des signaux radio qui sont enregistrés et comparés grâce à des antennes mobiles.

Le système français DORIS, où l'émetteur se trouve sur terre et l'antenne de réception sur le satellite. Sur des points d'observation distants de quelques dizaines de kilomètres, le positionnement spatial permettra de mesurer des distances avec des précisions de l'ordre de 10^{-7} (un mm sur 10 km). Les nombreuses mesures faites par les méthodes classiques de télémétrie montrent que des déformations de cet ordre se produisent autour d'une faille active sur des laps de temps de l'ordre d'un an au cours de la période de préparation de la rupture. Quand le séisme se produit, les déformations co-sismiques sont de l'ordre de 10^{-4} ; elles sont facilement mesurables avec des instruments de type GPS, à condition naturellement que la zone en question ait été placée sous surveillance avant le séisme.

Dans d'autres pays, il peut y avoir des séismes dont l'observation est plus facile : en Afrique du Sud, on enregistre des séismes dans le conduit latéral de mines d'or à 2 km de profondeur. Un puits ne suffit pas pour comprendre, il faut savoir comment bougent les plaques. Un plan d'observation des plaques de subduction sous-marines est en cours de réalisation.

Pour le Professeur Yoshio Fukao, 20 à 30 ans ne suffiront pas pour avoir la certitude d'une méthode sûre de prédiction, certains séismes ne semblent pas avoir de signes précurseurs : il faut encore mieux comprendre les séismes. Mais le séisme du Tokaï sera tellement vaste que l'on verra certainement des précurseurs.

M. Kohji Yamashita, Directeur de la section "Disaster Prevention Research" à l'Agence des Sciences et Techniques, avait une position très proche.

L'Agence des Sciences et Techniques a un rôle double :

- coiffer le "National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention" (NIED) qui fait de la prévision et un peu de prévention,
- la coordination des crédits destinés aux sinistres des divers ministères.

Pour ce qui est de la prévision, le 7^{ème} Plan quinquennal en avril 94 a créé une commission constituée d'enseignants et chercheurs (30 membres environ) qui se réunit 4 fois par an au minimum ; cette commission n'est compétente que pour le Tokaï.

Un séisme de 8.4 y est attendu, on pense qu'il y aura des signes précurseurs avec un épïcêtre très proche de la terre, la péninsule s'affaissera probablement. Pour cela un vaste réseau de 150 points gérés par l'agence météorologique et de 90 points par l'AST a été constitué, mais c'est le GSI

(ministère de la construction) qui regroupe toutes les informations pour les séismes de magnitude supérieure à 1.5.

Le ministère est responsable de par la loi d'un seul séisme, celui du Tokaï, donc la seule information concernant un séisme proche qui sera annoncée sera celle-là.

Pour les autres séismes, c'est le comité consultatif présidé par le Professeur Mogi qui doit informer la presse. Mais seul le Tokaï fait l'obligation de prédiction. Le Directeur de l'Agence de la Météorologie informe le Premier Ministre, qui prend la décision de prévenir la population.

Le second risque important pour le Japon concerne le séisme prévisible de Kanto, le conseil interministériel prépare une loi qui doit définir les mesures à prendre.

Le "Japan Meteorological Agency", qui est une agence détachée du ministère des Transports, occupe plus de 6000 personnes et dispose d'un budget de 60 milliards de yens, soit près de 10 millions de yens par employé.

Le "Seismological and Volcanological Department", un des neuf départements de J.M.A., et dont le Dr. Nobuo Hamada dirige le service volcans, compte 300 personnes sur les 6 000 de l'Agence.

A la différence de Météo-France, J.M.A. travaille sur les observations et les prédictions ; cela représente un très vaste domaine de la géophysique. Il dispose d'un institut de recherche à Tsukuba.

Depuis 1875, la météo est chargée de l'observation des séismes. On compte 150 stations d'observations très opérationnelles, et 30 qui sont par contre anciennes avec de vieux équipements. Les stations (télé mètres) envoient par téléphone en temps réel leurs enregistrements vers 6 centres de centralisation.

Dans le cadre du programme de prévision sismique mis en place depuis 3 ans avec l'A.S.T. et les universités, le J.M.A. a développé des appareils de mesure de contraintes : dilatation ou contraction des roches à 100 m de profondeur. Une réunion mensuelle de tous les sismologues, même s'il n'y a pas d'anomalie, a lieu.

Actuellement une alerte peut-être donnée 2 à 3 minutes après le séisme, ce qui est très important pour prévenir un tsunami.

Enfin un projet "IRIS" avec les Etats-Unis, similaire au Géoscope français, est en voie de concrétisation actuellement, le centre d'information se trouvera à Hawaii.

Votre Rapporteur a ensuite naturellement rencontré le Professeur Mogi, sur qui repose la décision d'informer la population d'un séisme imminent.

Le Professeur Kiyou Mogi, Président du "Coordinating Comitee for Earthquake Prediction" et Chairman du "Prediction Council for the Area Intensified Mesures Against Earthquake Disaster" a commencé par me rappeler que le Japon avait connu en moyenne un séisme occasionnant 1 000 morts tous les 10 ans et qu'il connaissait un déficit de grand séisme depuis les années 1943/1948. Cet entretien se déroulait le 27 septembre 1994.

Le Professeur Mogi continuait ainsi : "Si les constructions parasismiques, grâce aux chercheurs du génie civil et la coopération des différents milieux professionnels, permettent de réduire les dégâts, la vétusté de certains bâtiments, l'impossibilité d'avoir la perfection en la matière pour une ville entière, nécessitaient de faire avancer les recherches de prédiction.

Lors d'une conférence sur la prévision en 1990, les participants ont voté une résolution disant que la prévision était difficile ! De nombreux pays développés sont pessimistes quant à l'avenir de la prédiction, ils ont une réticence à investir dans des nouvelles études mais le gouvernement japonais a adopté comme projet national l'étude de la prévision. Au monde, il n'y a guère que la Chine et le Japon à être actif en ce domaine.

Malgré des arguments développés pour réduire le budget de la recherche sur la prédiction au profit de programmes post séisme, de mesures de secours, il n'y a pas la volonté politique de le faire. Abandonner les projets et les études en disant que c'est trop difficile est de mon avis inenvisageable au Japon. Si le Japon ne mène pas cette étude, qui le fera ? Le Japon se doit de mettre au point une méthode d'identification des précurseurs."

Ces mêmes critiques ont été faites après Kobe, seront-elles suivies d'effet après cette catastrophe ?

"La recherche n'a pas de financement de la part des industriels dans le domaine de la prédiction, cela ne leur apportant rien ; c'est donc le gouvernement, les pouvoirs publics qui financent la totalité des recherches. Le budget consacré à cette recherche représentait 8 milliards de yens en 1992, 10 milliards de yens en 1993 pour la seule prévision sismique, les salaires de personnel étant non compris.

Un comité rattaché au ministère de l'éducation détermine les différents programmes de recherche ; certains groupes, très réduits en nombre, expérimentent la méthode VAN mais au Japon il y a des bruits parasites électriques si importants que cela rend certainement cette voie très improbable.

D'autres méthodes basées sur les observations de l'activité sismique et des changements de l'écorce terrestre -le Japon a 100 ans d'expérience en ce domaine, les données à très long terme sont très importantes-, des variations au niveau des nappes phréatiques, de l'eau des puits, du gaz radon, sont étudiées. Il est nécessaire de faire des synthèses de toutes les observations, les phénomènes sont examinés sous divers angles par les multiples organismes qui y travaillent.

La méthode GPS est très appréciée, il faut faire confiance en cette voie, mais il faut accumuler les données et les analyser. De toute manière, plus il y a de séismes, plus la progression sera : cet avis des scientifiques ne peut être attendu avec la même sérénité dans les populations.

Pour le Tokaï, si on ne peut prévoir à coup sur le séisme, une forte probabilité existe, l'occurrence des séismes dans cette région étant de 100 à 150 ans, et un système très moderne d'observation a donc été mis en place.

Dans la région voisine du Kanto, les séismes de 1944 et 1946 ont eu des signes précurseurs. Des mesures géodésiques effectuées 2/3 jours avant le séisme avaient révélé des phénomènes anormaux ; la variation de niveau d'eau dans les puits, dans les sources thermales, des marées anormales ont été observées. Si ces signes apparaissent dans le Tokaï et sont identifiés, un grand pas aura été franchi.

Si la structure des couches terrestres est simple, il y a peu de signes précurseurs ; le nombre de signes augmente avec la complexité de la structure, mais il faut tenir compte de caractéristiques régionales.

La meilleure solution serait de pouvoir faire des observations très profondes, il existe 3 puits de 3 000 m de profondeur au Japon, un 4^{ème} est en construction, mais cela est très coûteux.

Toutefois, à ce jour, il n'y a eu aucune prédiction au Japon."

Le Professeur Tsuneo Katayama, de l'Institut des Sciences industrielles, était beaucoup plus réservé sur la prévision, ceci quatre mois avant Kobe. Il pense que la prédiction ne servira pas à grand chose, et ne sera pas opérationnelle d'ici au moins 50 ans.

Le GPS ne sera pas utile pour la prédiction, ce système n'est utile que pour la surveillance. Sauf peut-être pour le Tokaï, mais pour le séisme de moyenne importance (magnitude proche de 7 tout de même) qui aura lieu au Sud de Tokyo la prévision lui semble impossible. Le nombre de sceptiques va donc s'accroître. La tendance mondiale va plus vers l'ingénierie que vers la prévision.

M. le Professeur Torao Tanaka, Directeur du "Disaster Prevention Research Institute" de l'Université de Kyoto, sans être très précis se montrait optimiste : "Il est impossible de prédire, c'est un argument très à la mode. Mais il me semble qu'il y a des éléments qui y préparent."

Des secousses préalables pour les gros séismes sont des précurseurs. Pour les séismes de magnitude inférieure à 5, c'est très difficile à voir.

Spécialiste des mouvements des couches terrestres, il a l'intention de surveiller les déformations et le déplacement de l'archipel nippon tous les mois. Pour cela il instrumente classiquement, par pose d'appareils qui observent en continu les mouvements de terrain et par système GPS.

Les contraintes de déformation sont de l'ordre de 10^{-8} , les appareils ont une tolérance de 10^{-7} . Toutefois pour le déplacement, la précision est moins bonne, de l'ordre du centimètre.

Pour cela, il compte également instrumenter sur la faille anatolienne, dans un programme de coopération avec les Turcs.

La Chine a souvent été évoquée lors des entretiens sur la prédiction que j'ai pu avoir au Japon. Grâce au service culturel de notre ambassade à Pékin, j'ai pu avoir connaissance de la recherche qui y est menée au travers d'une note officielle du Bureau d'Etat des séismes, dont après traduction, j'ai extrait les principaux éléments.

Fondé en août 1971, le Bureau d'Etat des séismes (SSB) est la plus haute autorité pour la recherche sismologique chinoise. Il gère d'une façon centralisée le travail de surveillance des tremblements de terre, la prédiction, la recherche scientifique et l'ingénierie sismologique dans la totalité du pays ; finalise les politiques, programmes, plans et les projets importants relatifs au travail sismologique national, alloue les personnels, fonds et matériels ; et mène à bien la coopération et les échanges internationaux pour les études sur les tremblements de terre.

Le SSB est pluridisciplinaire et regroupe des disciplines telles que : géophysique, sismologie, géologie, géodésie, ingénierie des séismes, géochimie, fabrication d'instruments, techniques informatiques, radiocommunications et télécommunications, etc. On compte 12 instituts, brigades et centres, 26 bureaux sismologiques au niveau des provinces, municipalités, et régions autonomes, une usine d'instruments sismiques, une école de sismologie et une presse sismologique, employant 15 000 personnes au total. Parmi elles, on compte plus de 10 000 chercheurs, dont 1 000 sont de haut niveau et 4 000 de moyen niveau.

Jusqu'ici, le SSB a installé 863 stations sismographiques et observatoires des signes précurseurs, 6 réseaux télémétriques régionaux, 15 réseaux télémétriques locaux, 1 système de banque de données sismiques national, 10 stations sismographiques numériques, 23 stations sismiques réalisées en collaboration internationale, 257 observatoires des mouvements forts, 2 sites expérimentaux de prédiction des séismes, 4 000 postes d'observation mobiles (déformation, gravité et géomagnétisme), 6 banques de données régionales et un système de communication national en cours de réalisation. Pratiquement 30 000 kilomètres de profils de sondage profond des séismes ont été achevés.

Comment réduire le risque de tremblement de terre ? La pratique, l'exploration et la généralisation du travail sur les 20 dernières années, ont conduits à reconnaître que pour matérialiser l'ambition de réduction du risque de tremblement de terre, il est nécessaire de terminer une série de travaux et d'aller au bout d'un certain nombre de procédures, qui, spécifiquement, incluent le travail sous plusieurs aspects.

Le premier aspect concerne la surveillance et la prédiction des séismes. Depuis 1966, un plan de prédiction des tremblements de terre assez complet a été élaboré officiellement et mis en oeuvre progressivement. Des réseaux complets d'observation des séismes, faisant appel à de multiples disciplines, ont été installés dans la plupart des zones sismiques du pays et un nombre important d'études géologiques du terrain, de prospection géophysique et d'expériences en laboratoire ont été conduites. Les données tectoniques et dynamiques d'un séisme, les lois d'occurrence des tremblements de terre, le processus sismogénique et ses signes et mécanismes précurseurs, les méthodes de prédiction des séismes à différentes échelles de temps et les contre-mesures appropriées ont été étudiés attentivement, et leurs réalisations appliquées à la prédiction des séismes.

En recitant Raoul Madariaga, on peut avoir une idée de la pratique réelle en Chine :

"A partir des études de la sismicité historique, de l'activité recensée depuis 1976, de la déformation du sol, etc. il fut prévu, vers 1973, que la plaine du Nord de la Chine allait subir un grand tremblement de terre dans les années suivantes. D'après le professeur Ma Zongjin du Bureau d'État des séismes, la principale observation utilisée pour cette prévision était une migration de séismes depuis le Sud de la mer de Bohai vers le Nord, à partir de 1966. Cette localisation probable d'un futur tremblement de terre, sans précision de date, est un exemple de prévision à long terme.

En juin 1974, une réunion sur les tremblements de terre dans le Nord de la Chine fut consacrée à l'examen de cette région, et en particulier à

l'observation des provinces situées entre Pékin et la mer de Bohai. L'année 1974 vit l'implantation de nombreuses stations d'enregistrement du mouvement du sol, du champ magnétique terrestre, de la sismicité et du niveau de la mer. A la fin de l'année, une prévision à moyen terme, pour le début de 1975, dans la région de Haicheng, fut effectuée sur la base des nombreuses anomalies observées. A partir de décembre 1974, les observations d'anomalies se multiplièrent et une cellule d'intervention fut constituée à Haicheng afin d'examiner au jour le jour les observations de terrain. Parallèlement, la population de la péninsule de Liaoning fut éduquée et entraînée à se protéger des effets du futur séisme. En janvier 1975, des anomalies dans le niveau d'eau des puits, des variations du champ magnétique et le comportement étrange de certains animaux finirent de convaincre les sismologues de l'imminence du séisme.

Entre le 1^{er} février 1975 et le matin du 4 février, plus de cinq cents secousses de faible magnitude furent enregistrées entre Yingkou et Haicheng. L'arrêt brutal de la sismicité le 4 février décida le gouvernement de la province de Liaoning à faire une prévision à court terme. Le séisme eut lieu dans la nuit du 4 au 5 février 1975. Ultérieurement, des dizaines de géophysiciens eurent l'occasion d'examiner les données utilisées et la façon dont elles furent interprétées : la méthode empirique a incontestablement permis de prédire à court terme le séisme de Haichen.

Deux autres séismes qui se produisirent à Longling, dans la province de Yunnan, en mai 1976, furent l'objet d'une prévision à moyen terme. Mais la sismicité historique de cette lointaine région de la Chine est très mal connue et la magnitude des séismes de mai 1976 ne put être évaluée à l'avance.

Le 28 juillet 1976, le séisme le plus meurtrier de ce siècle se produisit sur une faille qui traverse le socle sous la ville de Tangshan, 200 km à l'Est de Pékin et 300 km au Sud-Ouest de Haicheng. Plus de 300 000 personnes (selon les sources, le chiffre varie dans un rapport de 1 à 3) périrent lors de ce séisme, le plus meurtrier depuis celui de 1556 au Shaanxi, en Chine centrale. Comme celle de Haicheng, la région de Tangshan faisait partie de la zone couverte par la prévision à long terme pour le Nord de la Chine établie en 1974. De nombreuses anomalies furent détectées et, en janvier 1976, une prévision à moyen terme fut faite pour la région de Tangshan-Liaoxi. De nombreux sismologues et géophysiciens travaillaient sur cette région, réunissant des indices qui auraient pu aider à prévoir le tremblement de terre de Tangshan. Alors, pourquoi, malgré toutes les évidences recueillies et l'effort déployé par les chercheurs chinois, ce séisme n'a-t-il pu être prévu à court terme comme celui de Haicheng ?

La réponse est certainement très complexe, dépassant largement le cadre strictement scientifique, car Tangshan est l'une des villes les plus

industrialisées de la Chine. Dans une publication récemment traduite en anglais, Ma Zongjin et ses collaborateurs du Bureau d'Etat des séismes analysent la situation et concluent que la prévision à court terme ne fut pas possible pour plusieurs raisons. Tout d'abord, aucun séisme important ne s'était produit à Tangshan au cours de la période historique, et la faille qui provoqua le séisme n'était pas cartographiée, se trouvant cachée sous une épaisse couverture de sédiments. D'autre part, beaucoup de sismologues interprétaient les anomalies observées à Tangshan comme les suites du séisme de Haicheng de 1975, qui s'était produit dans un secteur relativement proche. D'autres attribuaient les anomalies à des séismes plus faibles ayant eu lieu 150 kilomètres au Sud de Tangshan au début de l'année 1976. Par ailleurs, les anomalies observées présentaient une variation temporelle très lente : aucune variation brutale de la sismicité n'avait été observée avant le séisme comme ce fut le cas à Haicheng. Enfin, le coût social de l'évacuation des dizaines de millions d'habitants de la région de Tangshan-Pékin était trop élevé en l'absence d'une prévision absolument fiable.

Le séisme de Haicheng apporta la preuve que la prévision était possible, à condition de consacrer des efforts considérables à l'observation minutieuse de plusieurs types d'anomalies, de façon à disposer d'un ensemble d'indications sur l'imminence du tremblement de terre. Le séisme de Tangshan montra que les phénomènes qui précèdent le déclenchement de la rupture sur une faille sont très variables d'un séisme à un autre, même dans des régions géographiquement proches du Nord de la Chine. En fait, ce qui manqua le plus à Tangshan était une connaissance suffisante des phénomènes qui se produisent sur les failles quelques semaines et quelques jours avant le déclenchement du tremblement de terre. Depuis Tangshan, tout en intensifiant ses efforts sur la prévision, le Bureau d'Etat des séismes se lança dans un grand programme d'étude sur la sismogénèse et la mécanique de la rupture sismique. Un séisme de magnitude 7.2 fut prévu à court terme peu de semaines après le séisme de Tangshan, dans la région de Songpan-Pingwu, province de Sichuan ; mais certains doutes sur les possibilités de la méthode empirique ne sont pas pour autant dissipés."

La recherche en Grèce se focalise bien évidemment sur le débat pro ou anti VAN. Votre Rapporteur ayant rencontré le professeur Varotsos, d'autres scientifiques grecs opposés à cette "méthode" ont eu, malgré l'accord donné et confirmé pour un entretien, d'impérieuses nécessités ne leur permettant pas de les honorer !

Le Professeur G. Veis fonde beaucoup d'espoir en l'observation satellitaire. Le satellite ERS1 a un radar, sa résolution est proportionnelle à l'ouverture de l'antenne : l'image à partir de la réflexion du satellite vers les points au sol met en relief la topographie très déformée, mais qui reste à interpréter.

Pour mettre fin aux querelles, le Professeur Veis souhaite qu'un organisme fédère les recherches en Grèce, soit au niveau du gouvernement, soit d'une agence créée à cet effet.

3-3-4 - la recherche en France

En France, la prédiction reste essentiellement du domaine de la recherche scientifique universitaire. Toutefois, la méthode VAN est testée dans le Sud-Est par le C.E.A., sans qu'à ce jour une corrélation claire entre SES et sismicité ait pu être mise en évidence.

Le Laboratoire de Détection Géophysique (LDG) a installé en 1989 un réseau de cinq stations, essentiellement dans les Alpes mais aussi au niveau des Cévennes. L'objectif était de faire un bilan après trois ou quatre ans de résultats de ce réseau, en comparaison avec les résultats du suivi permanent de sismicité obtenus sur d'autres installations.

Ainsi que l'a confirmé M. Yves Caristan, chef du LDG, lors de l'audition publique du 16 février, les résultats ne sont guère probants.

Quelques séismes de magnitude 4 se sont bien produits dans cet intervalle de temps, mais on ne peut pas dire qu'il y ait eu une corrélation entre les signaux telluriques et ces séismes.

Quelques-unes de ces stations ont donc été fermées mais par contre, une station a été dévolue à l'étude plus scientifique des signaux qui peuvent être engendrés par des variations de contraintes dans les roches.

Une expérience est donc actuellement en cours d'installation dans les Alpes, autour de l'un des sites de mesures telluriques, qui va consister à essayer de comprendre les phénomènes constatés et plus particulièrement celui de l'électrofiltration et de la variation de contraintes associée à des variations de niveaux d'eau. Le lac de Beaufort servira de laboratoire à grande échelle.

Afin de mieux comprendre ces signaux électriques, M. Jean-Pierre Pozzi du laboratoire de géologie de l'École normale supérieure de Paris et Mlle Laurence Jouniaux, étudiante en doctorat de l'ENS, ont effectué récemment des mesures de potentiel électrique et de perméabilité sur des échantillons de grès de Fontainebleau. Ces travaux étaient destinés à étudier les phénomènes électriques liés aux circulations de fluides (eau et sels dissous) dans les roches et ont fait l'objet d'un article de Florence Jestin dans la revue "La Recherche" de janvier 1995. "Au moment des tremblements de terre, on observe souvent des perturbations qui sont dues à la déformation des roches. Ainsi, après un séisme, le débit des sources peut augmenter de façon importante. Or ces circulations de fluides peuvent créer des variations de

potentiel électrique, comme l'a montré l'équipe japonaise de H. Mizutani en 1976. C'est le phénomène de l'électrofiltration : quand un liquide circule à travers un milieu perméable on y mesure une différence de potentiel due à des interactions entre le solide et le liquide. Le phénomène d'électrofiltration est l'un des mécanismes physiques envisagés actuellement pour expliquer les signaux électriques précurseurs des séismes. Jusqu'à présent, ce type d'expériences n'avait pas été réalisé sur des roches intactes mais sur des roches ou minéraux broyés, situation peu conforme à la réalité. Les variétés de grès ont été sélectionnées pour couvrir une gamme de perméabilités la plus vaste possible. Chaque échantillon cylindrique, de cinq centimètres de hauteur, est saturé en eau distillée, laquelle joue le rôle des fluides de la croûte terrestre. Sa circulation est induite par une différence de pression aux deux extrémités du petit cylindre. Un premier type d'expériences, sans déformer l'échantillon, montre que plus celui-ci est perméable, plus son potentiel d'électrofiltration est fort. Dans un deuxième temps, une presse applique une pression verticale sur l'échantillon. Celui-ci se déforme progressivement jusqu'à sa rupture. A son échelle, cette rupture représente un véritable petit tremblement de terre. Dans ce deuxième type d'expériences, on sait que la déformation se traduit d'abord par une compaction, puis par l'apparition de microfissures, ce qui entraîne des changements de la perméabilité. En effet, la compaction diminue la perméabilité alors que l'apparition de microfissures l'augmente, et plus particulièrement juste avant la rupture. Le potentiel d'électrofiltration reste alors stable jusqu'à l'apparition des fissures et augmente ensuite fortement jusqu'à la rupture.

La perméabilité est un paramètre qui influence fortement le comportement du potentiel d'électrofiltration. On peut donc s'attendre, sur le terrain, à mesurer un potentiel d'électrofiltration d'autant plus élevé que la roche est perméable, toutes choses égales par ailleurs. En outre, à proximité de la faille, de même que dans l'échantillon, la perméabilité évolue au cours de la déformation précédant le séisme et peut alors entraîner des variations du potentiel d'électrofiltration. Les résultats obtenus confirment ainsi que grâce à sa forte augmentation juste avant la rupture, le potentiel d'électrofiltration est un bon signal précurseur des séismes. L. Jouniaux et J.-P. Pozzi proposent également un mécanisme pour expliquer les variations anormales enregistrées à grande distance de l'épicentre. En effet une des objections faites au phénomène de l'électrofiltration concerne la déformation due au futur séisme à de grandes distances de la faille. On estime que cette déformation y est généralement trop faible pour entraîner des mouvements de fluides suffisants. Pourtant, des variations du potentiel électrique sont enregistrées loin de l'épicentre. Une équipe de chercheurs de l'Institut de physique de la Terre à Moscou, dirigée par Dobrovolsky, a montré en 1989 que des circulations d'eau horizontales dans une nappe phréatique ne peuvent pas provoquer d'importants potentiels électriques en surface loin des régions épacentrales. Des mouvements d'eau verticaux sont nécessaires. C'est ce que suggèrent L. Jouniaux et

J.-P. Pozzi par l'intermédiaire d'échanges entre les nappes aquifères profondes et superficielles. Dans leurs expériences, l'intensité du potentiel d'électrofiltration peut atteindre cinquante millivolts pour une différence de pression de fluide aussi faible que dix millibars, pression mesurée à la base d'une colonne de dix centimètres d'eau. Loin de l'épicentre, des mouvements de fluides même extrêmement faibles, comme la baisse de niveau d'une nappe phréatique de dix centimètres, peuvent donc engendrer des signaux tout à fait mesurables. Enfin, ces expériences apportent des résultats importants pour mesurer les variations du potentiel d'électrofiltration dans les meilleures conditions.

A circulation de fluides et déformation de la roche égales, plus une roche est perméable plus son potentiel d'électrofiltration est fort. Sur le terrain, on mesure une différence de potentiel entre deux électrodes. Si les perméabilités des roches autour des deux électrodes sont identiques, la différence des deux potentiels sera négligeable. En revanche, si les perméabilités sont très différentes, la différence de potentiel sera très élevée. Or il est classique dans une même formation géologique que la perméabilité varie d'un facteur mille d'un point à un autre. Cette condition de variation de perméabilité est donc très facile à satisfaire sur le terrain. Jusqu'à présent, on recherchait la présence d'une hétérogénéité latérale, faille ou terrains différents, afin d'obtenir une différence de potentiel significative, condition plus difficile à obtenir. En simulant des mini tremblements de terre sur quelques centimètres cubes de grès saturés en eau distillée, ces expériences se révèlent donc fondamentales pour comprendre les causes physiques des signaux électriques précurseurs des séismes".

Cependant, le pas entre le laboratoire et le terrain reste à franchir. Ces résultats prometteurs sur des roches et des fluides simples ne peuvent qu'inciter à continuer dans cette voie sur des échantillons plus hétérogènes et de plus grande taille, l'expérience du LDG est donc particulièrement à suivre.

P. Morat et J.-P. Le Mouél de l'Institut de physique du globe de Paris s'intéressent aux mêmes phénomènes mais à une échelle plus grande, celle d'une carrière de calcaires. Laurence Jouniaux, quant à elle, poursuit ses travaux de recherche auprès de Dale Morgan, au "Massachusetts Institute of Technology" à Boston, à une échelle supérieure, s'intéressant aussi aux effets de la température, domaine quasiment pas exploré à ce jour.

La prédiction des séismes n'est d'aucun apport pour la protection des biens. Toutefois, les résultats de la prédiction d'un séisme et de l'évacuation corrélative des populations seront d'autant plus sûrs, que les ouvrages abritant les personnes et les infrastructures leur permettant de quitter les lieux les plus exposés, resteront opérationnels lors de la secousse.

Reste posé le problème de l'utilisation qui pourrait être faite d'informations relatives à la proximité d'un séisme. Il faut être capable d'assumer face à un événement.

La fiabilité est alors d'une extrême importance face au péril que peut faire courir à une population son évacuation en urgence. Rappelons l'alerte donnée par un scientifique américain prévoyant la destruction de Lima en 1980 à la minute près. Rien ne s'est heureusement produit, mais la crédibilité des recherches a été mise en cause, alors que la théorie de Brady est incompréhensible pour la communauté scientifique.

Ceci étant, la prévision ne peut se passer de la surveillance sismologique en temps réel :

- information sur le lieu et l'importance d'un séisme,
- suivi d'une crise, lors d'un essaim de secousses ou d'un événement majeur accompagné de répliques.

4 - L'OBSERVATION DE L'ALEA SISMIQUE

L'enregistrement et l'analyse des déplacements du sol dus aux ondes engendrées par les séismes, à l'aide de sismographes, donnent des informations fondamentales sur la structure interne de la Terre. Elles permettent aussi de déterminer la localisation des séismes, l'énergie libérée et l'heure du déclenchement. On enregistre les accélérations du sol dans les zones soumises à des séismes grâce à des accéléromètres. Les renseignements obtenus permettent d'affiner les connaissances du phénomène physique, c'est-à-dire les fréquences dominantes de la vibration (important au niveau des structures) et de tester les techniques parasismiques de construction.

Pour caractériser l'importance d'un séisme, il faut observer le coulissage (décalage des compartiments en rupture). Richter, en 1935, a défini la magnitude d'un séisme local par le logarithme décimal de l'amplitude maximale de l'onde (en microns) enregistrée sur un sismographe, à une distance de 100 km de l'épicentre du séisme.

magnitude	longueur caractéristique de la rupture	coulissage	durée de la rupture	énergie dégagée
9	800 km	8 m	250 s	$E_5 = E_4 \times 30$
8	250 km	5 m	85 s	$E_4 = E_3 \times 30$
7	50 km	1 m	15 s	$E_3 = E_2 \times 30$
6	10 km	20 cm	3 s	$E_2 = E_1 \times 30$
5	3 km	5 cm	1 s	$E_1 = E \times 30$
4	1 km	2 cm	0,3 s	E

Mais en l'absence de sismographes, d'autres informations sur les caractéristiques de la secousse peuvent être obtenues : elles servent à définir un degré d'*intensité sismique*, mesurée sur une échelle à plusieurs niveaux.

En Europe, on utilise l'échelle d'intensité M.S.K. (Medvedev, Sponheuer, Karnik), graduée de I à XII. Le seuil d'affolement des populations et de faible dommage est au degré V, celui des dommages importants au degré VIII, le degré XII étant le "bouleversement de paysage". L'échelle MSK 1964 utilisée a été adoptée en avril 1978 par une commission des Nations-Unies, la commission sismologique européenne a souhaité des modifications lors de sa réunion de Sofia en 1988, pour combler les lacunes des intensités VI et VII, et les effets ressentis dans les étages supérieurs des bâtiments de grande hauteur.

degré I	secousse non perceptible	la secousse est détectée et enregistrée seulement par les sismographes
degré II	secousse à peine perceptible	la secousse peut-être ressentie par des individus au repos, dans les étages supérieurs des bâtiments
degré III	secousse faible ressentie seulement de façon partielle	vibration comparable à celle causée par le passage d'un camion léger ; léger balancement des objets, dans les étages supérieurs
degré IV	secousse largement ressentie	vibration comparable à celle causée par le passage d'un camion lourdement chargé ; fenêtres, portes et assiettes tremblent ; planchers et murs font entendre des craquements ; les objets suspendus se balancent légèrement
degré V	réveil des dormeurs	les animaux sont nerveux ; les constructions sont agitées d'un tremblement général ; des objets peuvent être renversés vibration comparable à celle causée par la chute d'un objet lourd dans le bâtiment
degré VI	frayeur	pertes d'équilibre ; les animaux domestiques s'échappent ; du mobilier lourd peut se déplacer ; les petites cloches tintent
degré VII	dommages aux constructions	grande difficulté à rester debout ; les grosses cloches tintent ; glissements des routes le long des pentes ; fissures en travers des routes et des murs de pierre ; joints de canalisations endommagés ; variation des niveaux d'eau dans les puits et du débit des sources
degré VIII	destruction des bâtiments	frayeur et panique ; le mobilier lourd se déplace et se renverse ruptures de joints de canalisations ; déplacement de monuments ou de statues ; effondrement des murs de pierre crevasses dans le sol de plusieurs centimètres ; nouvelles retenues d'eau dans les vallées ; changement dans le débit et niveau de l'eau

degré IX	dommages généralisés aux constructions	panique générale ; dégâts considérables au mobilier ; animaux affolés s'enfuient dans toutes les directions rupture partielle de canalisations souterraines ; monuments et colonnes tombent ; réservoirs au sol très endommagés ; rails de chemin de fer peuvent être pliés crevasses au sol de 10 cm ; chutes de rochers ; nombreux glissements de terrain ; grandes vagues sur l'eau
degré X	destruction générale des bâtiments	dommages dangereux aux barrages et digues ; dommages sévères aux ponts ; rails de chemin de fer tordus ; canalisations souterraines rompues ; pavage des rues et asphalte forment des grandes ondulations crevasses au sol peuvent atteindre 1 mètre ; considérables glissements de terrain le long des rivages escarpés et dans les berges des rivières ; création de nouveaux lacs
degré XI	catastrophe	dommages sévères même aux bâtiments bien construits, aux ponts, aux barrages, aux lignes de chemin de fer ; destruction des canalisations souterraines terrain considérablement déformé par des mouvements horizontaux et verticaux
degré XII	changement de paysage	toutes les structures au dessous et au dessus du sol sont gravement endommagées ou détruites la topographie est bouleversée ; énormes crevasses, affaissements des berges de rivières, vallées transformées en lacs, apparition de cascades, déviation de rivières

Enfin, les Japonais utilisent une échelle d'intensité (JMA) qui leur est propre et qui date de 1951, graduée de 0 à VII, de l'enregistrement imperceptible pour l'homme à la ruine, correspondant à la démolition de plus de 30% des maisons traditionnelles japonaises.

4-1 - les réseaux de surveillance

L'enregistrement unique d'un séisme est inutilisable : il est impossible à partir d'un seul signal de localiser une source précise, de déterminer une magnitude. Il y a donc nécessité d'échange de données, soit au sein d'un réseau constitué et donc centralisateur de résultats, soit entre sismologues au niveau international. Cependant, cet échange international a des limites en ce qui concerne les séismes de faible magnitude, ce qui est le cas, heureusement, pour la France à de très rares exceptions près. Il a donc fallu développer des réseaux français.

4-1-1 - les réseaux nationaux

En France métropolitaine, il existe actuellement un peu plus d'une centaine de stations sismologiques regroupées en 2 réseaux :

- le réseau national du Laboratoire de Détection Géophysique du Commissariat à l'Energie Atomique, créé en 1962 à des fins stratégiques militaires (30 stations)
- le réseau national de surveillance sismique RéNaSS de l'INSU (Institut national des sciences de l'univers), regroupant les 7 réseaux régionaux et certaines stations isolées.

4-1-1-1 - le réseau national du CEA/LDG

Le besoin initial ayant entraîné la création, au début des années 60, du réseau sismique du L.D.G. était la détection des explosions nucléaires étrangères. Cette contrainte forte a fait que, dès le début, on s'est attaché à obtenir une sensibilité et une fiabilité maximales :

- des stations identiques implantées avec un maximum de précaution pour s'affranchir des bruits industriels parasites d'origine humaine. Ceci fait de ce réseau homogène du L.D.G. un des plus sensibles au monde, du moins dans un pays industrialisé comme la France :
- enregistrement permanent, sans utiliser de détecteur, ce qui permet d'étudier très finement la sismicité ;
- données stockées sur 24 bits pour disposer de la meilleure sensibilité ;
- redondance de toute la chaîne de transmission et d'enregistrement ;
- centralisation des informations dans un même laboratoire ;
- compétence et disponibilité permanente des personnels, aussi bien dans le traitement des données que pour la maintenance du réseau.

La qualité de ce réseau lui permet d'être en outre un outil parfaitement adapté à la surveillance de la sismicité, et plus particulièrement à celle concernant la France et les régions limitrophes. Depuis trente ans le dépouillement systématique des enregistrements permet d'étudier la sismicité jusqu'à des niveaux très faibles en magnitude. Ceci conduit à l'élaboration de bulletins hebdomadaires décrivant la sismicité. De plus des systèmes de détection et de traitement automatiques des données, de localisation et d'élaboration d'un message d'alerte à l'usage du sismologue d'astreinte ont été mis au point.

Caractéristiques

Un réseau sismique est constitué de deux types de stations :

- les stations dites "CP" ou "Courte-période" qui enregistrent la composante verticale, et pour certaines les composantes horizontales, du déplacement du sol dans une bande de fréquence adaptée aux ondes de volume. Ces ondes pénètrent plus ou moins profondément à l'intérieur de la Terre. Un exemple d'un tel type d'onde est fourni sur la figure A1 et représente le signal d'un séisme de magnitude supérieure à 5 dans la région de Bonneville enregistré par les trois composantes de la station de Lormes dans le Morvan à moins de 250 km.

- les stations dites "LP" ou "Longue-période" qui enregistrent les trois composantes du déplacement du sol dans la bande de fréquence des ondes de surface qui se propagent à la surface de la Terre. La figure A2 est l'exemple d'un signal enregistré sur ce type de capteur pour un séisme d'Alaska.

Dans tous les cas, le déplacement du sol est transformé en signal électrique, amplifié et retransmis jusqu'au centre de Bruyères-le-Châtel. Là les données des différentes stations sont regroupées, numérisées (50 points par seconde pour les données CP, 1 point par seconde pour les données LP), associées à une base de temps et enregistrées sous forme magnétique.

La configuration de 30 stations CP et 5 stations LP utilisée jusqu'à aujourd'hui est représentée sur la figure A3. La transmission de ces données se faisait par liaison hertzienne, ce qui impliquait des limitations dans la dynamique et dans la répartition géographique du fait de contraintes comme la longueur des lignes de transmission, la visibilité limitée imposant de nombreux relais, le nombre de canaux disponibles, etc.

La répartition des stations était donc peu homogène et certaines régions comme la Bretagne ou les Ardennes n'étaient pas couvertes et d'autres, comme les Alpes et surtout les Pyrénées, l'étaient mal.

Dans la configuration d'aujourd'hui les techniques modernes de transmission de données sont utilisées pour refondre complètement ce réseau. Les capteurs numériques et la transmission par satellite permettent de s'affranchir des limitations en dynamique (plus de signaux saturés comme le

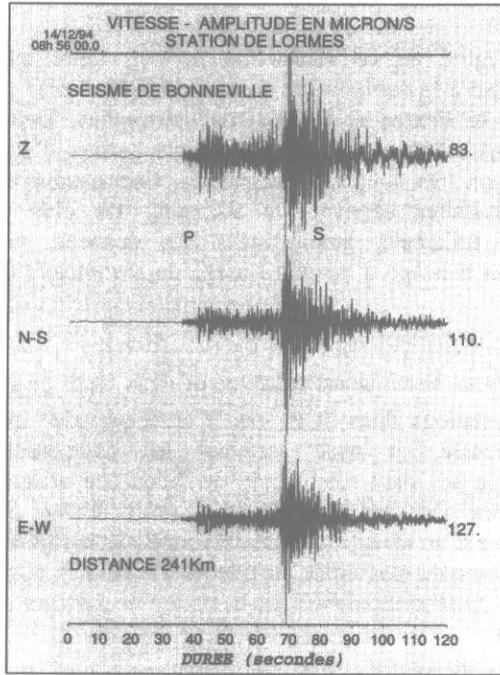
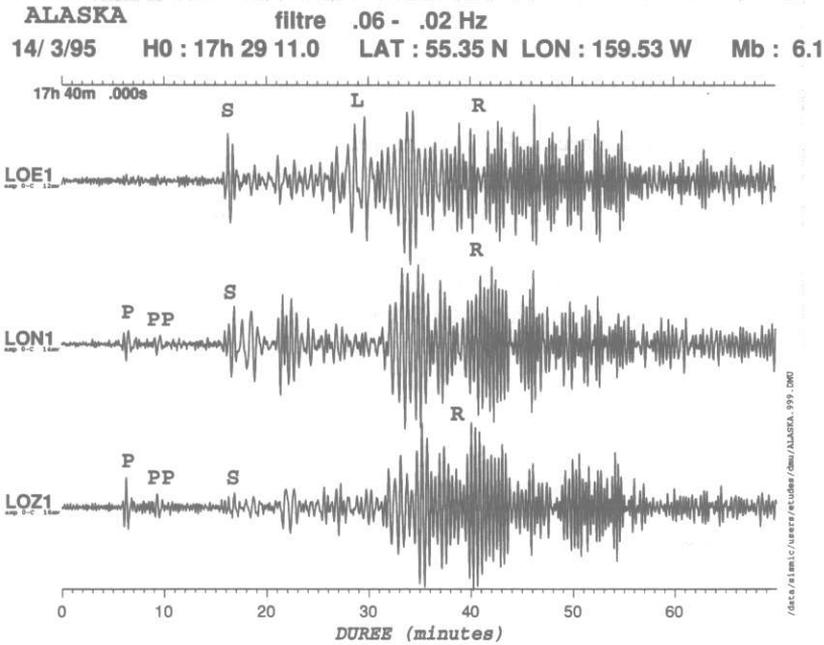


Figure 1

Figure 2



montre l'exemple du séisme de Bonneville) et dans la géographie (répartition plus homogène des stations).

Ce nouveau réseau d'une quarantaine de stations au début, présenté sur la figure A4, sera opérationnel en septembre 1995.

Dans chaque station le signal sismique est numérisé et stocké sur place sur une station VSAT (Very Short Aperture Terminal) qui, à intervalle régulier, envoie à travers une liaison satellitaire une "trame" de données au centre de réception de Bruyères-le-Châtel. Il s'agit d'un paquet de données qui contient une durée définie de signal, toutes les informations permettant son repérage (code de la station, heure de début et durée d'enregistrement, sensibilité...) ainsi que des informations de service et d'autres mesures comme des données météorologiques (température, hygrométrie, vent...).

A l'arrivée, ces paquets sont décodés, vérifiés, réarrangés et enregistrés. Une période transmise de façon incorrecte ou incomplète peut être redemandée à la station.

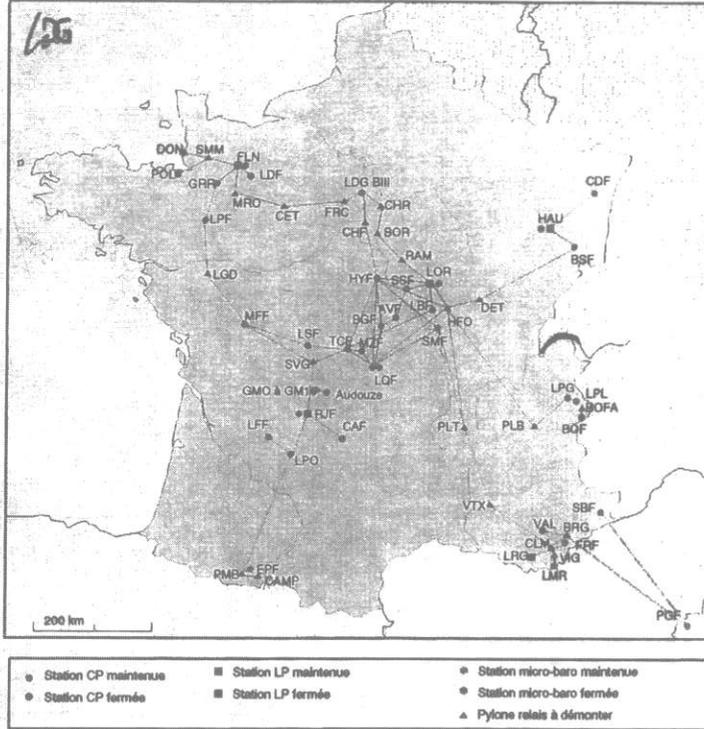
Pour avoir un fonctionnement minimum, une dizaine de stations sont retransmises par ligne téléphonique en cas de défaillance de la transmission par satellite. Le basculement se fait de façon automatique et sans perte d'information en cas d'absence de données pendant une durée déterminée.

Traitements automatiques

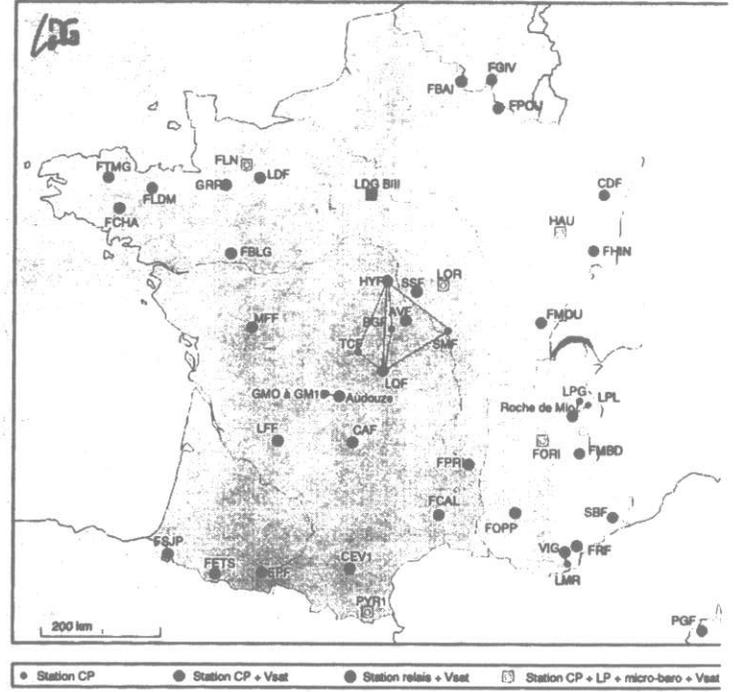
Le L.D.G. est responsable vis-à-vis de la Sécurité Civile de l'alerte aux séismes se produisant en France et dans les régions limitrophes. Il a donc été amené à mettre au point des méthodes de traitement en temps réel en vue d'élaborer une alerte et de la diffuser au sismologue en astreinte 24 heures sur 24, 7 jours sur 7, dont le rôle consiste à analyser les signaux pour calculer l'épicentre et la magnitude du séisme et, lorsque les seuils sont atteints, de fournir l'information à cet organisme.

Depuis le début de l'année 1994, le L.D.G. abrite le C.S.E.M. (Centre Sismologique Euro Méditerranéen). Une des missions de ce Centre est d'informer le Conseil de l'Europe de l'occurrence de séismes majeurs ayant eu lieu dans l'un des pays signataires d'un accord dit APO (Accord Partiel Ouvert). Ceci implique une surveillance de l'Europe, y compris la Russie, des pays du pourtour de la Méditerranée et de certains pays africains. Du fait du nombre de séismes concernés et de la rapidité de réaction demandée, un processus de localisation automatique a été mis au point.

Réseau sismique au 15/09/1993



Réseau Sismique France 1995



Les résultats obtenus par plusieurs Centres sismologiques sont expédiés à trois Centres de traitement (L.D.G. pour la France, I.G.N. en Espagne, I.N.G. en Italie, etc.) dont le rôle est d'associer ces informations et d'en déduire les coordonnées épicentrales et les magnitudes. Plus de 150 données de stations sont en général disponibles dans l'heure ou les toutes premières heures suivant la détection des très forts séismes, ce qui permet de fournir une information très précise. Les résultats sont expédiés, si possible dans un délai inférieur à une heure après le séisme, à environ 150 destinataires : Conseil de l'Europe, Sécurité Civile, organisations humanitaires et agences membre du C.S.E.M.

Détection

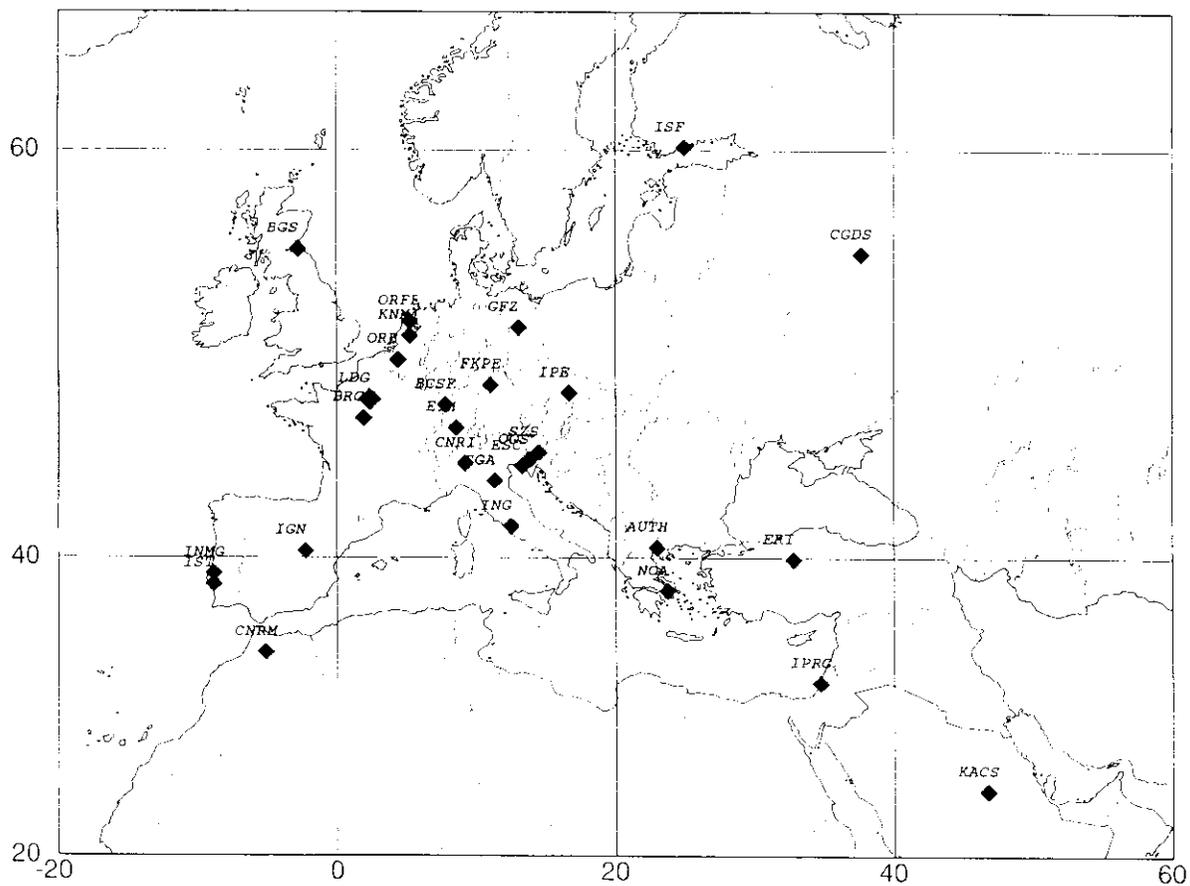
Le principe de la détection d'alerte consiste à rechercher des arrivées d'énergie sismique sur les différentes stations du réseau. Lorsque les seuils sont dépassés sur un nombre suffisant de stations, l'alerte est déclenchée par un appel téléphonique de l'ingénieur d'astreinte.

Dans chacune des stations le signal est filtré dans les bandes de fréquences adaptées aux types d'événements recherchés (séisme local, télé-séisme, explosion...). Une mesure d'énergie instantanée du signal est effectuée en permanence et, lorsqu'un seuil préétabli est dépassé, pendant une durée minimale, la voie est déclarée en détection. Cette durée minimale est d'autant plus longue que l'on recherche des séismes de magnitude importante.

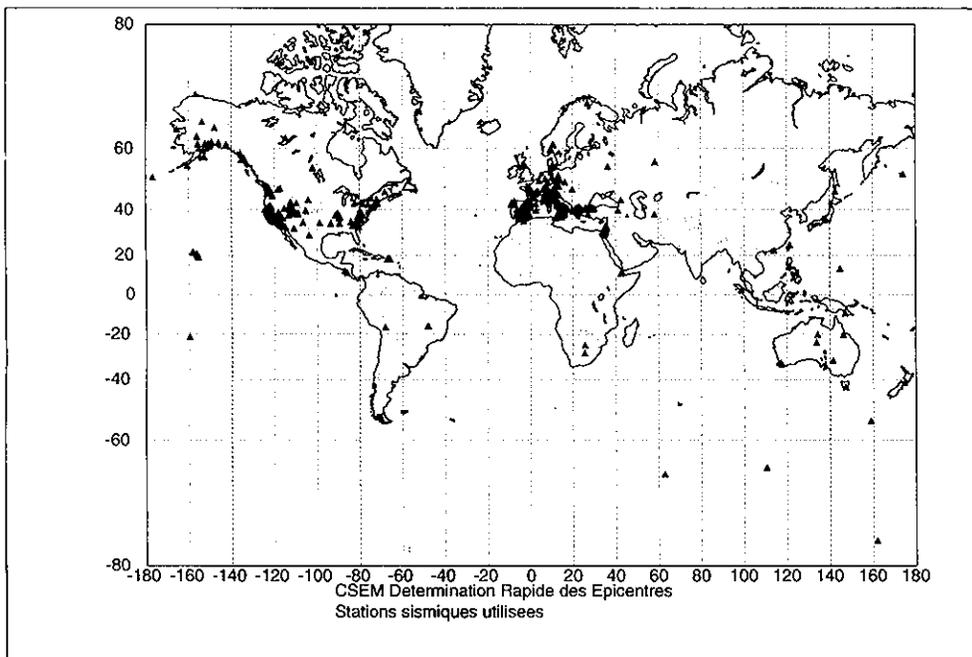
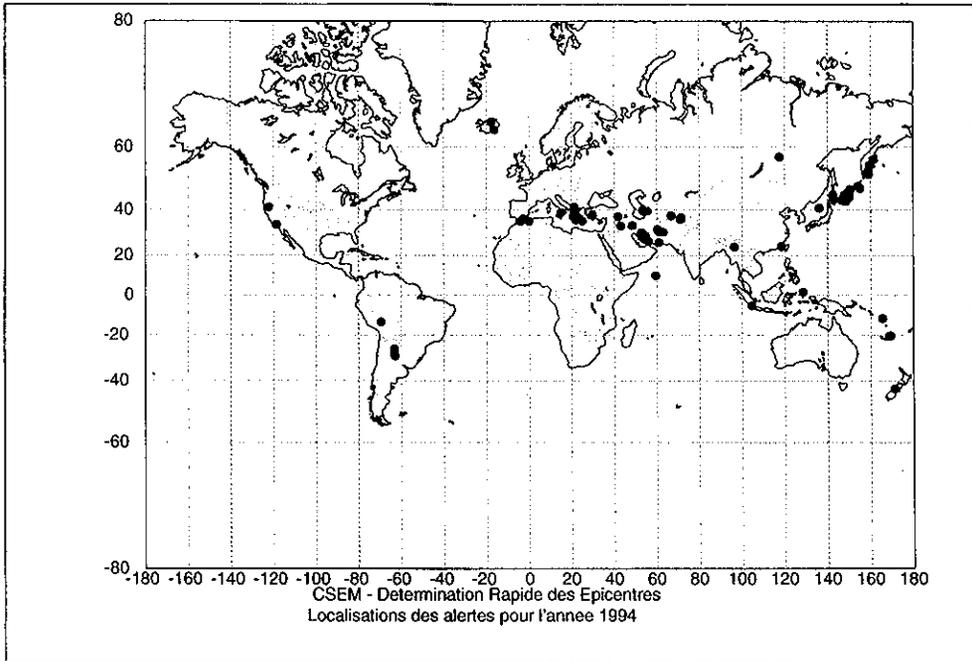
Lorsque l'on recherche des petits événements, ces détections ne correspondent pas nécessairement à des causes sismiques mais peuvent avoir pour origine des bruits locaux (passage de véhicule, rafale de vent, travaux à proximité...); aussi doit-on effectuer une étude de la cohérence temporelle des détections sur plusieurs voies du réseau pour définir un événement. Pour ce faire, on définit le nombre minimum de voies d'un réseau devant avoir enregistré une ou plusieurs détections dans une tranche de temps donnée pour justifier une alerte. La durée de cette tranche de temps est fonction de la taille du réseau et de la vitesse des ondes sismiques recherchées.

A titre d'exemple, dans le cas de l'alerte aux séismes en France, où le seuil de magnitude est de 4, l'énergie d'une voie doit être, pendant une minute, trois fois supérieure à celle du bruit de fond. Pour que l'alerte soit déclenchée, 7 des 30 stations doivent être en état de dépassement de seuil dans un délai d'une minute.

L'expérience acquise en quinze ans a démontré que ces seuils étaient adaptés aux critères de magnitude définis : peu de fausses alertes et surtout pas d'événements manqués. Dans ces conditions, on observe en moyenne une



MEMBRES DU C.S.E.M. - Novembre 1994



trentaine d'alertes par an dont quelques unités seulement correspondent à de fausses alertes (forts télé-séismes).

Localisation automatique

Le processus de détection est prolongé par une étape de localisation automatique. On peut alors vérifier que l'épicentre observé se trouve bien dans la zone géographique étudiée, et que la magnitude mesurée dépasse bien le seuil défini pour cette région avant de transmettre l'alerte au sismologue d'astreinte.

C'est cette méthode qui est appliquée dans le cas de l'alerte aux séismes européens (au sens large, la Russie faisant partie des zones à surveiller).

Dans le cas de cette alerte, le principe de détection reste le même, seuls changent les seuils de durée de dépassement, et les nombres de stations intéressées.

Lorsqu'une pré-détection est observée, les signaux correspondant à la période de temps intéressante sont mis en mémoire. Les heures d'arrivée des ondes sismiques dans les diverses stations du réseau sont alors mesurées avec la meilleure précision possible et une détermination de la localisation de l'épicentre est effectuée pour calculer la latitude, la longitude et l'heure origine du séisme (l'estimation de la profondeur étant trop délicate pour être obtenue automatiquement).

En même temps l'amplitude maximale des signaux est aussi mesurée ce qui permet d'obtenir la magnitude.

En 1994, 80 séismes ont provoqué ce type d'alerte. Ce chiffre plus élevé que prévu par des études statistiques de la sismicité, est dû à une série de séismes importants aux îles Kouriles et à leurs répliques.

Traitements systématiques

La précision obtenue automatiquement, suffisante dans le cas de forts séismes, ne l'est plus dans le cas de séismes de magnitude modérée. Un traitement interactif est donc appliqué quotidiennement par des sismologues expérimentés pour localiser l'ensemble de la sismicité enregistrée par le réseau métropolitain, en s'aidant si possible des informations transmises par des réseaux extérieurs comme le réseau de Polynésie.

Les signaux sismiques correspondant à ces événements sont visualisés sur écran et les paramètres permettant le calcul de l'épicentre et de la magnitude sont mesurés par un sismologue.

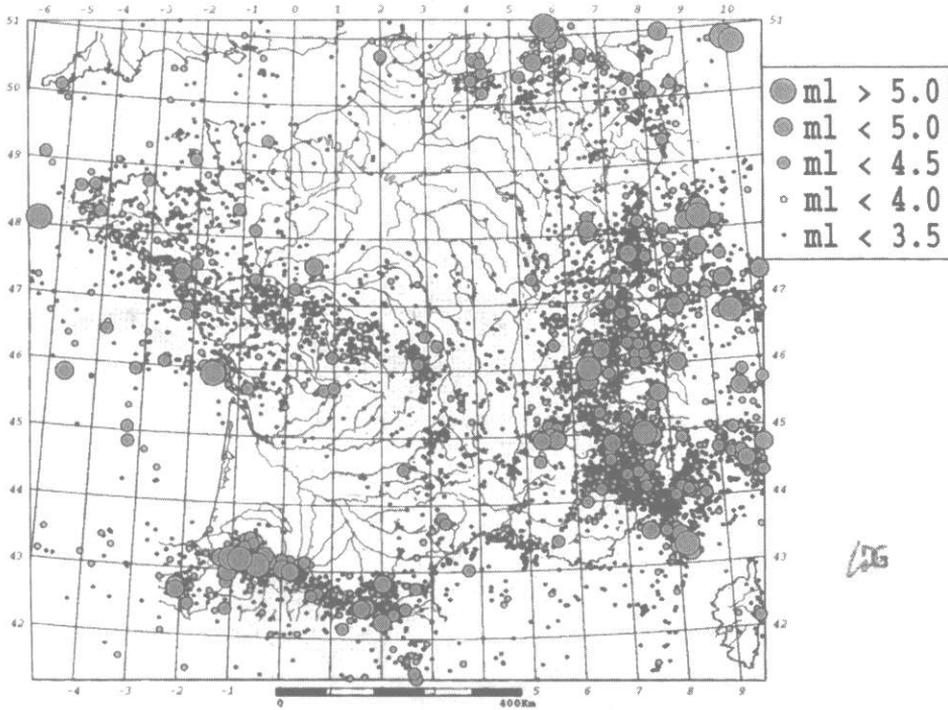
SISMICITE 1962 - 1994 $M_l > 2.5$ 

Figure 5

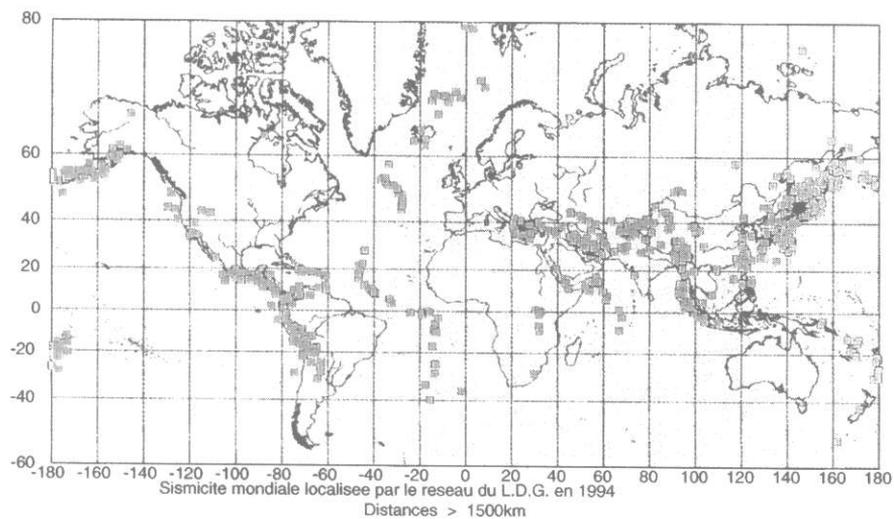


Figure 6

Nombre de séismes localisés par an par le LDG

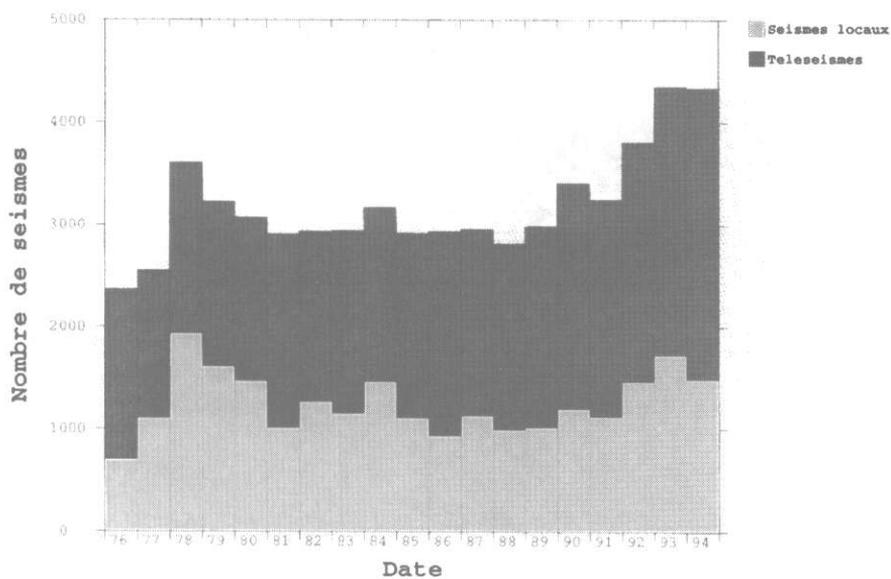


Figure 7

La sélection des séismes par un spécialiste permet d'éliminer les événements d'origine humaine comme les tirs de carrière qui sont très difficiles à détecter et rejeter par les systèmes automatiques. L'ensemble de ces mesures et des résultats que l'on en déduit donnent lieu à l'édition de deux bulletins hebdomadaires, l'un concernant la sismicité locale et le second les télé-séismes.

Ces bulletins sont largement diffusés en France et dans le monde depuis le début des années 70 à tous les laboratoires et organismes qui en font la demande (actuellement environ 70 exemplaires de chacun de ces bulletins sont expédiés par semaine).

Les informations qu'ils contiennent sont reprises par des agences internationales dont le rôle est de regrouper les données de tous les réseaux mondiaux et d'en déduire des localisations et des magnitudes très précises.

La figure A5 représente la sismicité enregistrée depuis plus de trente ans dans le domaine proche. La figure A6 montre la sismicité enregistrée en 1994 dans le domaine des télé-séismes.

Ceci correspond, en se limitant à la seule sismicité naturelle et aux seuls séismes dont la localisation est assez fiable pour être publiée, à près de 30 000 séismes locaux et 37 000 télé-séismes. Compte tenu de l'évolution du réseau il se traite aujourd'hui environ 4 000 séismes par an au L.D.G. ce qui correspond à plus de 50 000 pointés d'heures d'arrivée et d'amplitudes.

L'histogramme de la figure A7 représente l'évolution annuelle de cette sismicité. Les variations qu'il montre sont représentatives de l'amélioration du réseau (nouvelles stations dans les Pyrénées, les Alpes puis la Corse) plutôt que d'une évolution naturelle de la sismicité.

4-1-1-2 - le réseau national RéNaSS

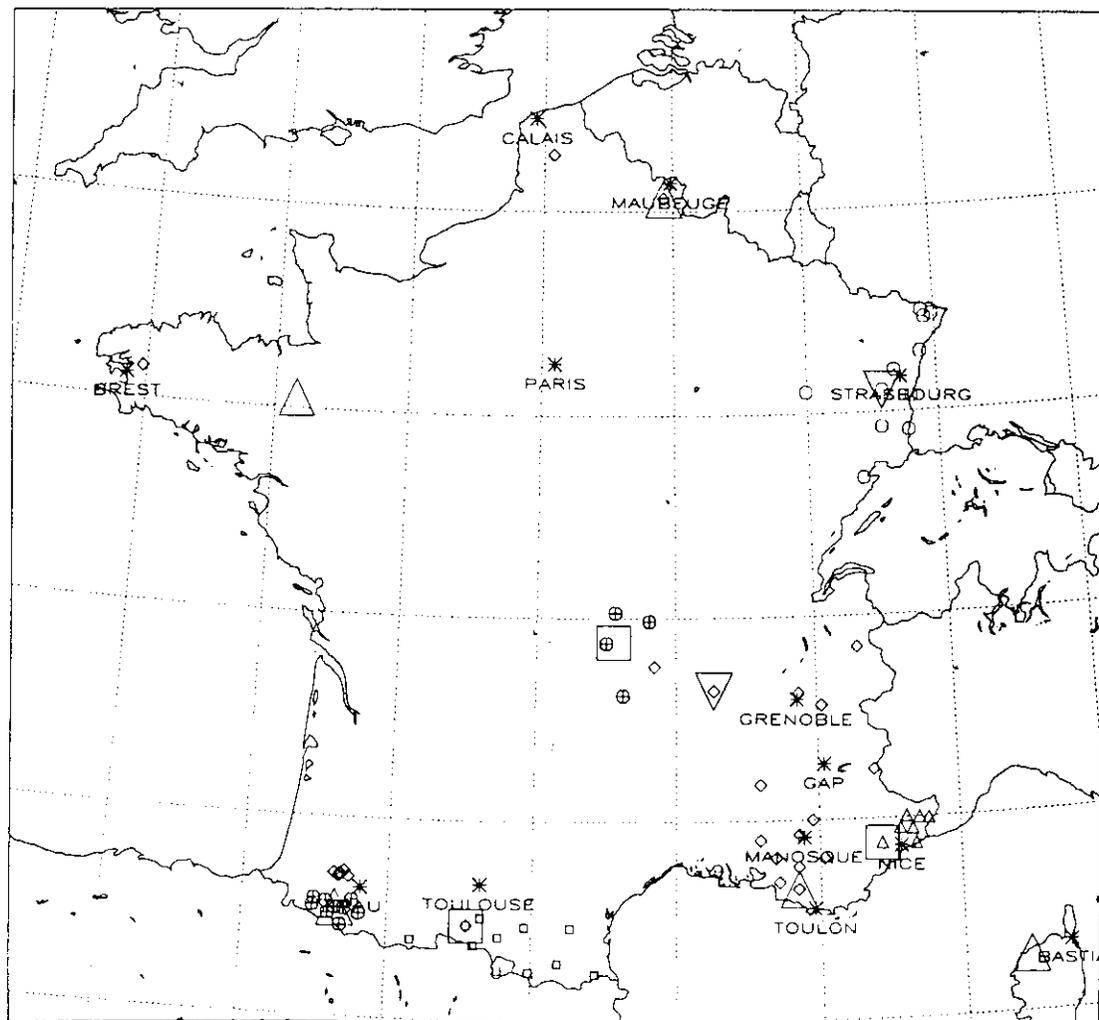
Le Réseau National de Surveillance Sismique (RéNaSS) est un projet d'envergure nationale soutenu par l'Institut National des Sciences de l'Univers (INSU, anciennement INAG) depuis 1982. Ce projet est coordonné par le Bureau Central Sismologique Français (BCSF), dont le siège est fixé par décret à l'Ecole et Observatoire de Physique du Globe de Strasbourg dont le Directeur est Roland Schlich et le responsable du projet, le Physicien Michel Granet. Il a pour but de fédérer les réseaux de surveillance sismique et les stations sismologiques isolées (non rattachées à un réseau) gérés par les différents Observatoires des Sciences de l'Univers (OSU). Les OSU concernées sont l'Institut de Physique du Globe de Paris, l'Observatoire de Clermont-Ferrand, l'Observatoire Midi-Pyrénées, l'Observatoire de Grenoble et l'Ecole et Observatoire de Physique du Globe de Strasbourg.

Stations du reseau ReNass

▽ STS1 Installés

□ STS2 Installés

△ STS2 Projétés



Le RéNaSS a deux objectifs scientifiques majeurs : d'une part un suivi, si possible en temps réel, de la sismicité observée par ces réseaux et stations, d'autre part la constitution d'une collection, si possible exhaustive, de sismogrammes de qualité à la disposition de la communauté scientifique nationale et internationale. Afin de remplir cette mission, les événements sismiques enregistrés par les stations sismologiques universitaires françaises fédérées par le RéNaSS -69 actuellement sont centralisés et exploités au site central de Strasbourg en temps réel, quasi réel ou différé.

Une informatique ad hoc est dédiée à ces objectifs tant au niveau du site central de Strasbourg que des sites éloignés. A Strasbourg, le site central du RéNaSS s'identifie avec le Centre de Traitement des Données Sismologiques (CTDS), qui est un service scientifique de l'Ecole et Observatoire de Physique du Globe de Strasbourg. C'est une unité opérationnelle de localisation d'événements sismiques, qui s'occupe principalement de la collecte et du traitement, soit en mode routinier, soit en mode urgence, des sismogrammes collectés par le Réseau National de Surveillance Sismique.

Le projet RéNaSS a démarré en 1981. Les choix matériels et logiciels ont été redéfinis en 1987 par une nouvelle équipe. En 1990, tous les objectifs initiaux furent atteints. Une nouvelle politique a été définie et acceptée pour le RéNaSS en 1991 après une étude de la situation courante : coûts prohibitifs des télécommunications, vieillissement technologique et hétérogénéité des systèmes, retard dans l'équipement accélérométrique et large bande du territoire métropolitain.

La politique actuelle a les buts essentiels et prioritaires suivants :

- 1- améliorer sensiblement la valorisation scientifique du dispositif RéNaSS,
- 2- rattraper notre retard technologique et mieux intégrer le RéNaSS dans un contexte européen,
- 3- réduire sensiblement les coûts des télécommunications.

Ceci se traduit par:

- la réalisation d'un réseau français large bande RéNaSS,
- la réalisation d'un réseau national accélérométrique permanent,
- le renforcement du rôle de centre serveur du site central et la lisibilité des centres régionaux au sein de la Fédération,
- la limitation des déterminations rapides en France aux séismes de magnitude supérieure à 4.5, et dans le monde aux séismes de magnitude à 6.5.

Les réseaux fédérés par le RéNaSS sont le réseau du Fossé Rhéna (10 stations sismologiques gérées par Strasbourg), le réseau de Provence (8 stations - EOPG Strasbourg), le réseau de l'Arrière Pays Niçois (7 stations - EOPG Strasbourg), le réseau des Pyrénées Orientales (11 stations - OMP Toulouse), le réseau des Pyrénées Occidentales (9 stations - IPG Paris), le réseau d'Auvergne (7 stations - OPG Clermont-Ferrand) et le réseau des Alpes (5 stations - OSU Grenoble). Le réseau de surveillance du champ de gaz de Lacq (7 stations - Strasbourg) contribue quelquefois aux localisations. Quelques stations isolées émergent également à la fédération : Brest (Bretagne), Moulis (Pyrénées), Dompierre et Mencas (Nord de la France).

A ce jour, trois réseaux de surveillance sismique (Fossé Rhéna, Arrière Pays Niçois et Auvergne) fonctionnent suivant un nouveau système d'acquisition moderne permettant une acquisition en continue, et donc l'archivage du sismogramme complet, progrès important pour la valorisation scientifique du dispositif.

Depuis 1992, le BCSF assume la responsabilité de la définition et de la mise en place d'un réseau de stations sismologiques large bande sur le territoire métropolitain. A terme, afin de doter le territoire d'une instrumentation moderne et au niveau des réalisations étrangères, entre 10 à 15 stations de très haute technologie équipées d'un sismomètre STS2 et d'une acquisition de 120 dB de dynamique seront déployées. Une telle station sismologique est capable de détecter des mouvements du sol de quelques microns. Les finalités d'une telle instrumentation recouvrent le domaine de la recherche fondamentale (source, tomographie, ...) et le domaine du traitement d'observatoire proprement dit (moments sismiques, mouvements basses fréquences, ...).

La phase d'installation de ces stations LB est maintenant initiée : les sites de Nice, Clermont-Ferrand et de Moulis sont opérationnels depuis l'automne 1994, ceux des sites de Bretagne et de Grand-Maison (Alpes) sont en cours d'installation.

L'activité du site central du RéNaSS peut donc être ainsi définie :

- le site central collecte actuellement environ 2 500 séismes par an, incluant la sismicité locale et la sismicité lointaine. Les informations relatives à ces séismes sont diffusées à la communauté scientifique nationale et internationale sur support télématique, par messagerie électronique et support papier ;
- le site central travaille à la réalisation d'une banque de données. Cette banque est l'évolution du système actuel qui offre à la communauté l'accès en temps réel des données collectées par le RéNaSS et mise à jour quotidiennement ;

- le système de réponse automatique à des requêtes extérieures est prévu. Le but est d'assurer une réponse la plus automatisée possible à des demandes de sismogrammes ou de données paramétriques ;
- le site central est consulté afin de répondre à des demandes particulières en provenance de collectivités (communes principalement), d'organismes nationaux (Sécurité Civile, BRGM, ...), de sociétés civiles ou de particuliers (expertises, écoles) ;
- le site central procède à la détermination rapide de paramètres hypocentaux.

Dans le cadre du BCSF, il remplit son rôle de coordonnateur au niveau national et propose les orientations qui lui semblent nécessaires en matière d'instrumentation et d'acquisition de données.

Concrètement, des nouveaux systèmes d'acquisition en continu sont opérationnels depuis l'été 1994. Les conséquences en seront une diminution significative des coûts de fonctionnement liés aux télécommunications, une collecte de sismogrammes la plus exhaustive possible et l'abandon de la surveillance en temps réel de l'Auvergne. L'installation du réseau de haute technologie doit se poursuivre.

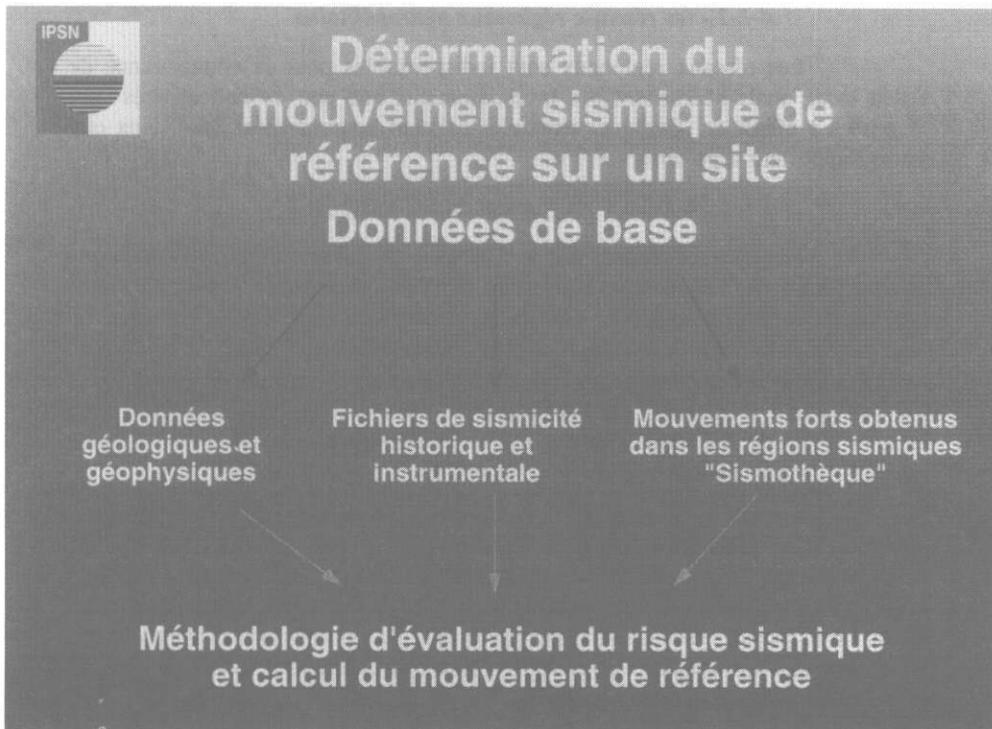
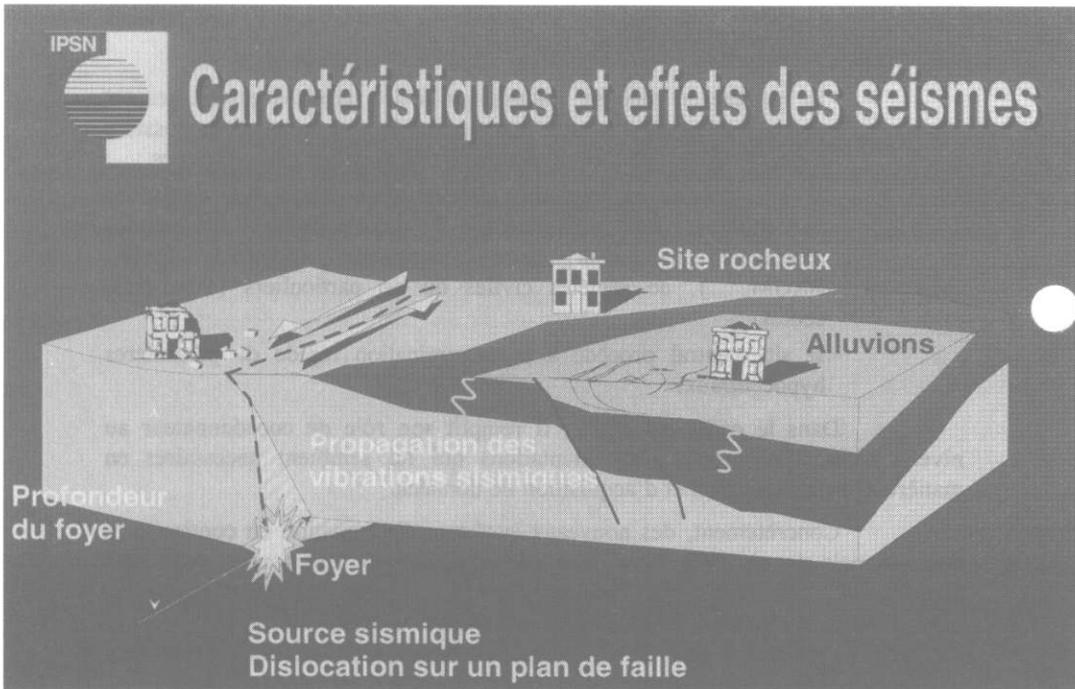
4-1-2 - les réseaux régionaux métropolitains

Les réseaux régionaux sont indispensables pour la connaissance de l'aléa local, mais nécessitent des investissements que peu de collectivités sont disposées à effectuer. Quelques exemples existent heureusement dont deux que votre Rapporteur a pu observer.

4-1-2-1 - les réseaux du BERSSIN/IPSN

Les travaux réalisés par le Bureau d'Evaluation du Risque Sismique pour la Sûreté des Installations Nucléaires de l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaires (IPSN/BERSSIN), en matière d'évaluation de l'aléa sismique en France, en collaboration avec de nombreux scientifiques français et étrangers, ont pour objectif une meilleure prévention des risques sismiques, notamment lorsqu'il s'agit d'implanter un site nucléaire. Ces travaux servent de base à la mise au point de méthodes d'évaluation de l'aléa sismique à l'échelle régionale et surtout locale (définition d'un mouvement de référence adapté au site).

Un des buts essentiels de cette évaluation consiste à déterminer le mouvement sismique le plus agressif qui puisse affecter le site. Dans ce but, il est nécessaire d'améliorer la connaissance des phénomènes physiques mis en jeu lors d'un séisme, des sources sismiques et de la propagation des ondes entre la source et un site spécifique (figures B1 et B2). Les outils utilisés dans le cadre de ces travaux font appel à l'observation, l'expérimentation et au développement de méthodes d'analyse et de simulation.



Deux thèmes d'études principaux sont développés par l'équipe qu'anime M. Bagher Mohammadioun :

- reconnaissance de failles actives et quantification de la déformation en France métropolitaine,
- collecte des mouvements sismiques en France et à l'étranger (le réseau développé par le BERSSIN aux Etats-Unis sera présenté dans ce paragraphe) et méthodologie de calcul du mouvement sismique de référence. Ce mouvement sismique de référence est utilisé ensuite dans le dimensionnement parasismique des installations nucléaires et chimiques.

L'objectif général de la première action est l'amélioration de la connaissance des failles actives et de la sismicité en France, ainsi que l'optimisation de la méthodologie de zonage sismotectonique en support à l'évaluation de l'aléa sismique dans les régions à sismicité modérée.

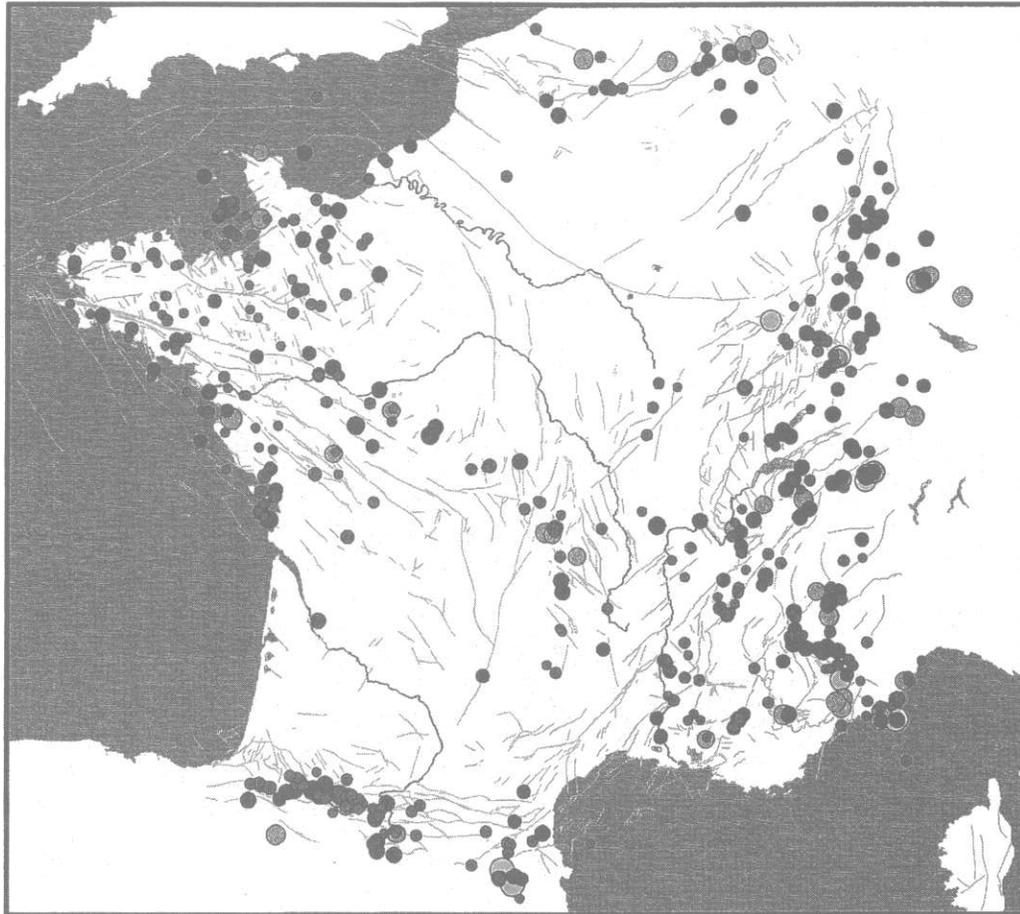
Ceci nécessite les étapes suivantes :

- recensement des failles actives,
- quantification de l'activité de ces failles, mesure de mouvements verticaux et horizontaux actuels (nivellement, géodésie), étude de la répartition de la déformation et des contraintes,
- étude des grands séismes en France et régions limitrophes (paléosismicité, archéosismicité et sismicité historique),
- évaluation des périodes de récurrence de forts séismes,
- étude des lois de décroissance de l'intensité avec la distance, des effets de site.

Les principaux résultats de ces dernières années sont la mise en évidence de l'existence de ruptures de surface sismiques en France dans le quaternaire (carte B3) et la détermination des caractéristiques (intensité, profondeur focale, magnitude) des principaux séismes historiques.

Une étape importante a été la publication du document "Sismotectonique de la France métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique" à la fin de l'année 1993 (Mémoire de la Société Géologique de France, n° 164). Ce document présente une compilation de données géologiques et de tectonique actuelle et récente ainsi qu'une méthodologie de zonage à l'échelle du territoire français.

Les prochaines étapes principales concernent la détermination, dans certaines régions, de zones sources à l'intérieur des zones sismotectoniques définies précédemment, l'étude de nouveaux paléoséismes et archéoséismes pour permettre la quantification de la déformation et l'évaluation des périodes de retour de forts séismes, et la mise en évidence d'effets de site à partir de



Sismicité historique
sur 1000 ans

Magnitude
macrosismique *

- $\geq 6,0$
- 5,5 à 6,0
- 5,0 à 5,5
- 4,5 à 5,0

* Calculée à partir des
données du fichier
SIRENE (BRGM/EDF/IPSN)

données de macrosismicité. Ces travaux sont réalisés en étroite collaboration avec les équipes universitaires et les divers organismes publics français.

La seconde action a un double objectif : recherche des caractéristiques des mouvements forts en zone épiscopale et détermination du mouvement de référence adapté à un site donné pour utilisation dans le dimensionnement. Ceci nécessite l'élaboration de méthodes de calcul fondées sur l'analyse des données accélérométriques ou sur des modèles physiques.

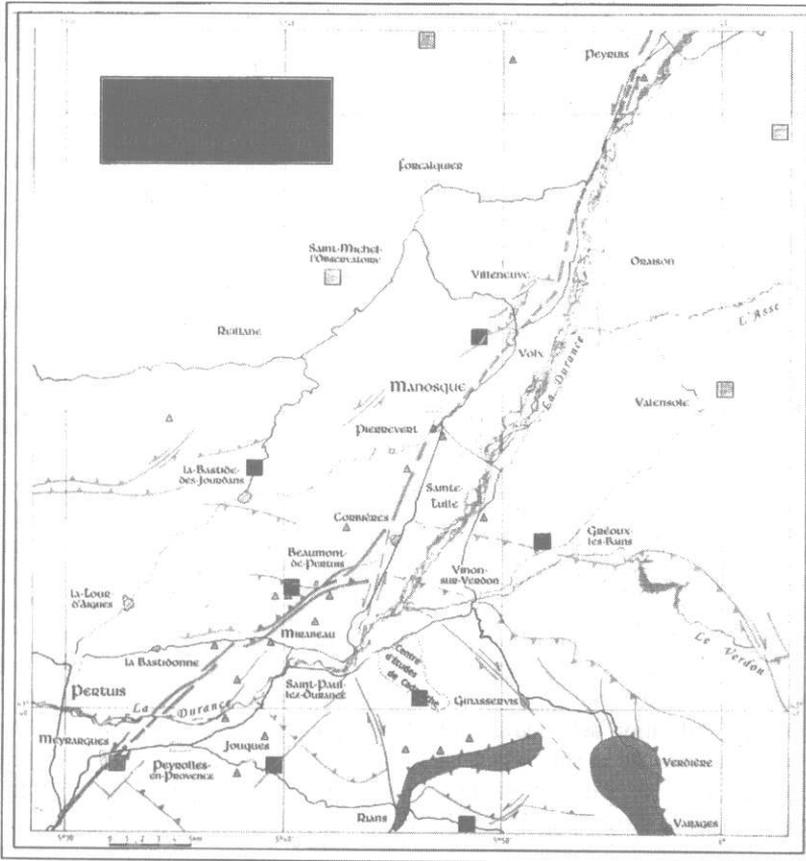
En France, comme on le verra dans la suite, aucune donnée accélérométrique de mouvements forts n'a été obtenue à ce jour. Ainsi, il est nécessaire de collecter, classer et analyser les données de mouvements forts obtenues à travers le monde lors de séismes importants, d'enregistrer des mouvements faibles (avec une instrumentation appropriée) permettant la simulation de mouvements forts, d'étudier les effets de propagation des ondes sismiques (effets de sites).

Cette activité s'appuie sur des installations expérimentales, les deux principales étant le réseau de surveillance de la Moyenne Durance et le dispositif expérimental de Garner Valley en Californie.

Le réseau de surveillance de la Moyenne Durance (carte B4) en cours d'installation, comprendra à terme 6 à 12 stations équipées pour l'enregistrement de mouvements forts et faibles. Ce dispositif contribuera à la compréhension du fonctionnement d'un système actif dans le contexte français (variation spatiale et temporelle de l'activité microsismique le long d'un accident, détermination du taux de déformation, comparaison avec les données issues de la paléosismicité, ...). Il permettra aussi des études de mouvement sismique : utilisation des mouvements faibles pour la prévision d'un mouvement de référence adapté au site ; étude de la décroissance de l'amplitude en fonction de la distance, étude des effets de source (directivité, influence de la chute de contrainte sur le contenu spectral).

Le dispositif expérimental, que j'ai visité, de Garner Valley en Californie, en collaboration avec la Nuclear Regulatory Commission des Etats-Unis, comporte six capteurs à des profondeurs variables pour l'étude des effets de site. Plus de 1 000 séismes ont été enregistrés depuis le début de l'expérimentation en 1989. Depuis cette année, le dispositif a été complété par un forage de 600 m équipé de divers instruments de mesure (étude des mouvements en profondeur, perturbations du régime hydraulique). Ces données sont indispensables pour l'étude de la sûreté des stockages géologiques profonds de déchets radioactifs.

Institut de Protection & de Sûreté Nucléaire



Réseau local de surveillance sismique mis en place dans la région Moyenne Durance par l'IPSN/BERSSIN : en rouge et rose, les principales structures tectoniques susceptibles d'être à l'origine d'une activité sismique. Les carrés marquent l'emplacement des stations de mesure : vert foncé pour les stations déjà en place ou prévues très prochainement, vert clair pour celles envisagées à plus long terme. Les épencentres des secousses localisées par le réseau en 1993/1994 sont indiqués par des triangles.

Par ailleurs, le laboratoire du BERSSIN est équipé d'appareils d'intervention (accélérographes haute sensibilité) pouvant être déployés rapidement soit en cas d'intervention post-séisme (comme par exemple après les séismes d'Oléron en 1972, du Frioul en 1976, du Jura Souabe en 1978, d'El Asnam en 1980, de Liège en 1983, d'Arménie en 1989, d'Erzincan en 1992), soit dans le cas d'expérimentations spécifiques.

Lors de séismes importants dans le monde, les membres du BERSSIN participent à des missions post-sismiques (organisées notamment par l'Association Française de Génie Parasismique, par exemple à Kobe en janvier 1995). Ces missions contribuent à l'amélioration des connaissances et de la compréhension des phénomènes sismiques, surtout dans les régions épacentrales.

Toutes les données collectées dans ces travaux sont ensuite utilisées pour le développement de techniques d'analyse et de simulation : meilleure évaluation des données sismiques pour la période préhistorique, étude de l'influence des paramètres à la source, prévision des effets de site notamment étude du comportement non-linéaire des sols en cas de sollicitations intenses.

Les résultats de ces travaux sont utilisés pour améliorer la pratique d'évaluation des risques sismiques dans une région intra-plaque comme la France, et pour préparer des textes réglementaires édictés ensuite sous forme de Règle Fondamentale de Sécurité par la Direction de Sécurité des Installations Nucléaires du Ministère de l'Industrie.

4-1-2-2 - le réseau régional SISMALP

L'opération Isère Département pilote avait également retenu l'attention de votre Rapporteur. J'ai donc tenu à rencontrer les principaux protagonistes. Le projet SISMALP lancé en 1987 fonctionne actuellement et les responsables en sont Julien Fréchet et François Thouvenot du Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique de l'Observatoire de Grenoble. Ils m'ont exposé l'historique de SISMALP.

Les Alpes françaises, formant une partie de la limite entre les plaques tectoniques européenne et africaine, sont soumises à un régime continu de sismicité qui, bien que généralement modéré, n'en reste pas moins dangereux tous les deux ou trois ans (dégâts immobiliers) et catastrophique au moins une fois par siècle. L'ensemble de la région alpine était cependant très peu instrumenté jusqu'en 1988 — beaucoup moins en tout cas que les versants italien et suisse —, ce qui rendait difficile une estimation du risque sismique. Pour mieux surveiller une sismicité qui apparaissait répartie de façon très diffuse sur plus de 70 000 km², il fallait déployer un réseau le plus dense possible, avec une distance entre stations de l'ordre de 30 à 50 km. La coopération technique entretenue entre l'Observatoire de Grenoble et le LEAS (St-Ismier-Grenoble) pour développer de nouveaux types d'appareillage a permis de disposer de

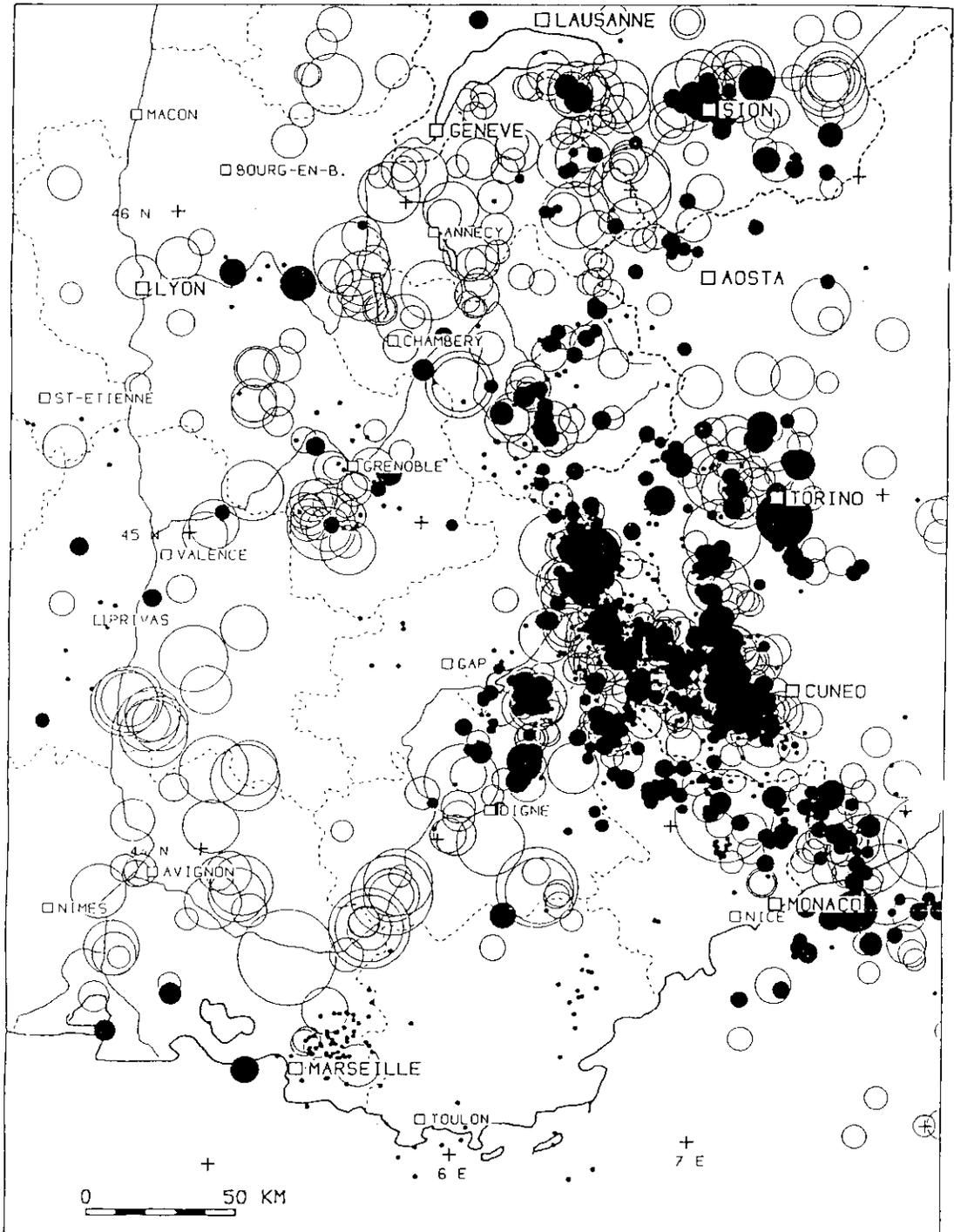
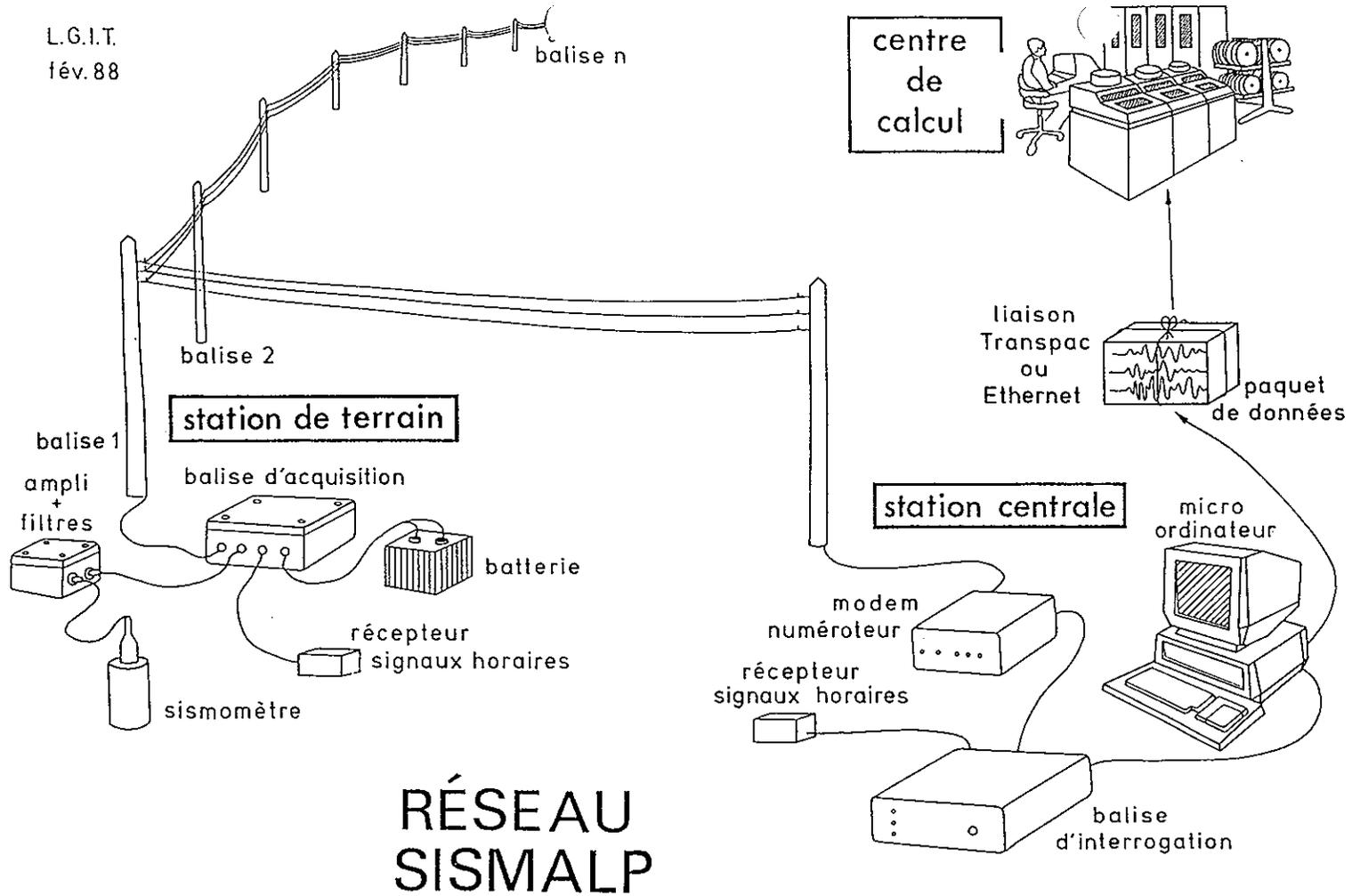


Fig. 1 — Sismicité du sud-est de la France. Symboles ouverts pour la sismicité historique (1500–1933); symboles pleins pour la sismicité enregistrée par le réseau SISMLALP (1989–1993).

L.G.I.T.
fév. 88



RÉSEAU SISMALP

Etude et Surveillance de la
Sismicité Alpine par balises

balises sismologiques connectées au réseau téléphonique commuté (réseau téléphonique ordinaire), avec le triple avantage d'un coût d'acquisition peu élevé, d'un coût de fonctionnement extrêmement réduit, et d'une maintenance sur site ne nécessitant que des interventions annuelles.

Le projet SISMALP, lancé en 1987 dans le cadre de l'opération Isère Département Pilote pour les Risques Majeurs, visait donc à l'établissement d'un réseau de plusieurs dizaines de ces balises réparties sur l'ensemble du Sud-Est de la France, du lac Léman à la Corse. Le but premier était de surveiller la sismicité régionale, mais le réseau devait aussi permettre une meilleure estimation du risque sismique. Mieux comprendre la sismotectonique régionale et mieux connaître la structure profonde de la lithosphère alpine en étaient aussi deux retombées attendues. La constitution d'une banque de données homogène devait également permettre des études de recherche fondamentale sur la source sismique.

Pour un investissement total d'un million et demi de francs, SISMALP a bénéficié d'un multifinancement du Conseil Général de l'Isère (29 %), de l'Institut National des Sciences de l'Univers (23 %), de la Délégation aux Risques Majeurs (25 %) et du contrat de plan Etat-Région Rhône-Alpes (22 %).

C'est sur la base d'un prototype conçu dès 1982 par Georges Poupinet, actuel directeur du Laboratoire de Géophysique interne, et testé sur le terrain en quatre sites pilotes de 1984 à 1988, que les balises sismologiques téléphoniques qui équipent le réseau SISMALP ont été développées par le LEAS à partir de 1980. Chaque balise acquiert un signal sismique délivré par un sismomètre vertical (1 Hz). Un microprocesseur scrute en continu le signal numérisé, et, dès qu'un critère de détection est atteint, stocke le signal correspondant en mémoire. Bien que cette mémoire soit réduite, ce qui n'autorise que le stockage de 6 détections de 40 secondes, une détection postérieure peut être néanmoins stockée si son amplitude est suffisamment importante. La balise est alimentée par deux batteries qui lui garantissent une autonomie de 18 mois environ. Une fois par nuit, chaque balise est interrogée automatiquement par téléphone depuis une station centrale localisée à l'Observatoire de Grenoble. La ligne téléphonique n'est utilisée que pendant l'interrogation, soit quelques minutes par jour et par balise. Le réseau SISMALP comprend actuellement 44 balises, ce qui en fait l'un des réseaux les plus denses d'Europe. Etalée sur 6 ans de 1988 à 1993, la phase d'installation a nécessité des recherches de sites souvent délicates, mais qui garantissent des signaux de bonne qualité.

En adjoignant aux données du réseau SISMALP celles du réseau de Gênes (Italie) qui comporte une douzaine de stations, les Grenoblois sont

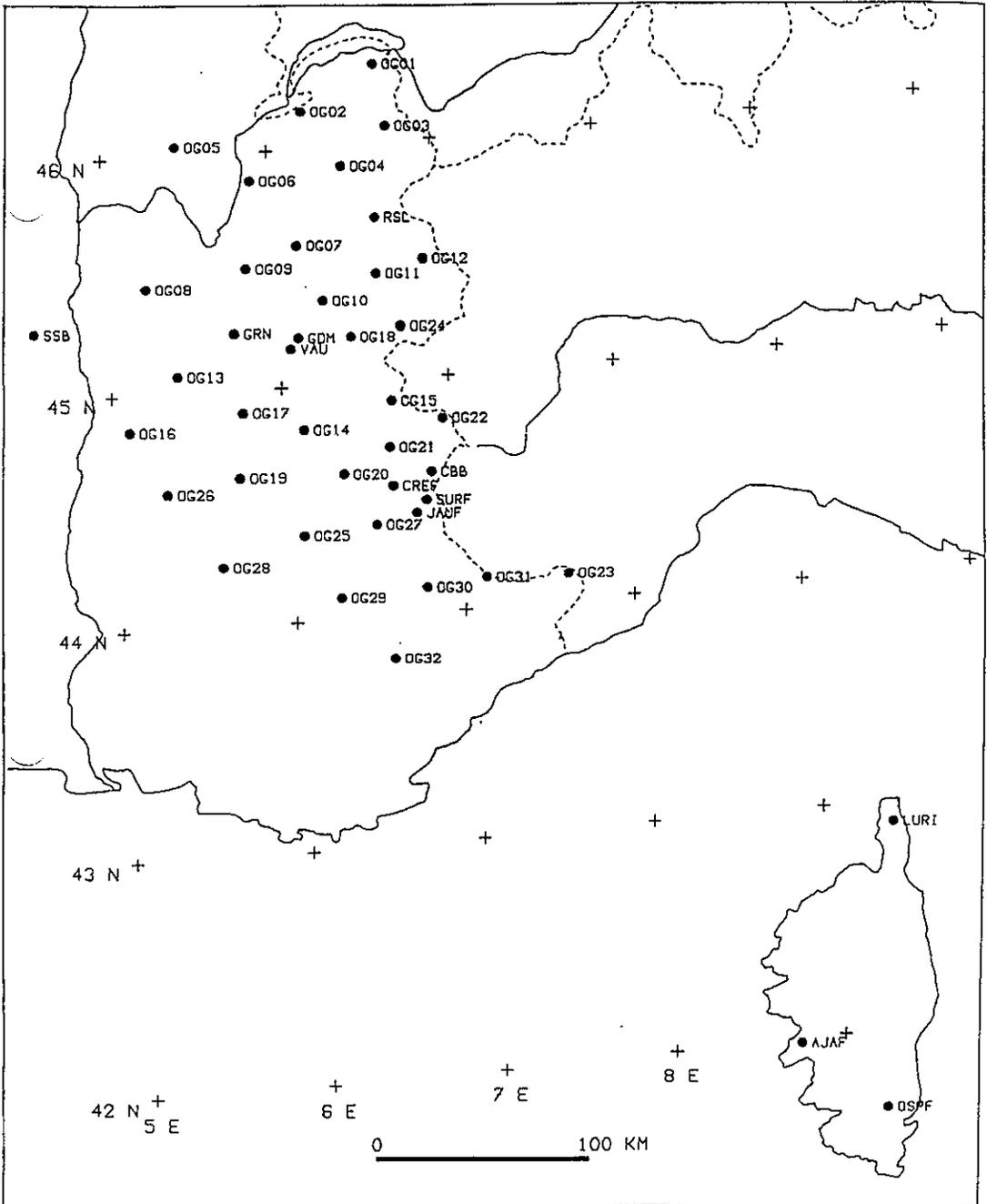


Fig. 3 – Implantation du réseau SISMALP (44 stations).

maintenant en mesure de localiser les hypocentres des séismes régionaux avec une précision de l'ordre du kilomètre si le séisme s'est produit à l'intérieur du réseau et si sa magnitude est supérieure à 2. Ils estiment par ailleurs que tout séisme de magnitude supérieure à 1 survenant dans le réseau peut être détecté et localisé. La précision des localisations est donc considérablement améliorée, ainsi que la possibilité de détecter des événements de très faible magnitude. Deux à trois événements sont ainsi localisés chaque jour.

La carte (figure S1) montre quelques unes de ces localisations pour la période 1989-1993 (symboles noirs). On y remarque la différence d'activité sismique entre les zones proches de la frontière franco-italienne et les zones plus externes (c'est-à-dire plus à l'Ouest). Grâce à la précision des localisations, certains alignements commencent également à apparaître, ce qui conforte l'idée qu'une cartographie des failles sismiques actives est désormais possible. Le principal problème que nous ayons rencontré à ce niveau est la pollution de la base de données par les très nombreux tirs de carrière (vallée du Rhône, Grenoble, Bugey, Toulon, Draguignan, Nice) et les séismes induits par l'exploitation des mines de Gardanne (Bouches-du-Rhône). Une procédure a été mise au point pour identifier maintenant de façon très sûre un certain nombre de sources connues. Un tel travail est indispensable pour pouvoir fournir une carte reflétant strictement la sismicité naturelle.

Des études de détail ont été faites sur certaines crises sismiques qui se sont produites ces trois dernières années. La première de ces études concerne la crise sismique qui a affecté la haute vallée de l'Ubaye (Alpes-de-Haute-Provence) en janvier 1989. Cette crise s'est déroulée en l'espace de quatre à cinq jours, avec plusieurs centaines de microsecousses, dont une demi-douzaine ont atteint la magnitude 2.5 à 3. Ces événements plus importants ont été bien enregistrés par les stations du réseau SISMALP dont les premières stations venaient à l'époque d'être installées. L'étude de la forme d'onde des différents sismogrammes enregistrés montre que les différents foyers sont en fait situés à moins de 100 m les uns des autres (la zone active est pratiquement ponctuelle).

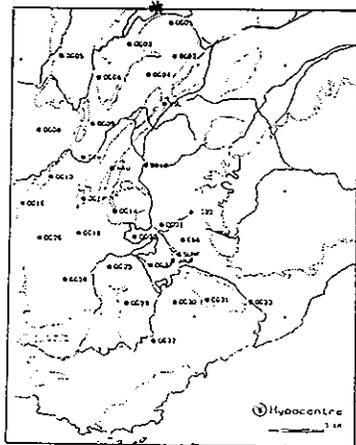
Deux séismes de magnitude 4.5 et 4.2 se sont produits au large de Monaco en décembre 1989 et avril 1990, séismes largement ressentis par la population tout le long de la Côte d'Azur et de la Riviera italienne. L'étude de leurs mécanismes au foyer indique, dans les deux cas, que les contraintes tectoniques qui leur ont donné naissance correspondent à une compression. Ce résultat est tout particulièrement intéressant dans cette région qui se situe en bordure du bassin liguro-provençal où l'on s'attendrait plutôt à de l'extension ; il remet en question un certain nombre de concepts géodynamiques dans cette région de la Méditerranée.

RESEAU SISMALP

Localisation préliminaire du séisme survenu
le 5 novembre 1993 à 03:50 TU

Date	Heure	Lat. N	Lon. E	Prof.	Magn.	R.M.S.	Er11	ErZ
15.11.93	03:50:54.52	46°24.44'	06°20.90'	5.90	2,4	.55	1.2	1.2

11 km WNW Thonon les Bains (74)
12 km NNE Douvaine (74)
18 km OUEST Evian les Bains (74)



Code	Dist.	Angle	Heure P	Rés. P	Heure S	Rés. S
OC01	27.1	108	03:50:59.76	.28	64.20	1.25
OC02	29.8	199	03:51:00.09	.20	3.67	.03
OC03	48.0	142	03:51:02.82	-.16	9.02	.12
OC04	55.3	173	03:51:03.85	-.39		
ES15	58.4	130	03:51:05.23	-.37		
OC06	68.4	211	03:51:06.56	-.17		
OC05	79.9	239	03:51:09.12	.81	18.54	.58
RSL	82.7	165	03:51:08.39	-.50		
DIX2	89.1	114	03:51:10.37	-.36		
DIX	89.5	114	03:51:10.48	-.37		
OC07	92.0	190	03:51:10.32	-.07	20.82	-.68
OC09	107.1	202	03:51:12.94	-.02	25.48	-.32
OC11	108.0	169	03:51:12.86	-.26		
OG10	117.4	183	03:51:14.37	-.33	28.01	-.81
ISD	122.7	149	03:51:15.15	-.55	29.49	-1.04
MMK	130.9	108	03:51:17.62	.55		
GDM	135.0	188	03:51:17.80	.09	34.84	.50
OG18	135.2	177	03:51:17.30	-.42	35.28	1.33
OC08	137.0	219	03:51:18.30	-.34	34.02	-.35
GRN	137.7	200	03:51:17.84	-.28	34.79	-.15
VAU	140.3	159	03:51:18.10	-.50	34.95	-.51
OKX	153.1	124	03:51:20.87	-.13	38.66	-.43
RSP	156.4	153	03:51:21.51	-.34	39.48	-.34
APL	157.0	67	03:51:21.58	-.40		
OC13	165.7	206	03:51:23.26	-.46		
OG13	165.7	206	03:51:00.00		41.32	-.30
OG15	167.9	172	03:51:00.00		43.78	.33
RRL	168.7	168	03:51:23.35	.32		
OG17	172.8	195	03:51:23.00	-.20	43.46	-.17
OC17	172.8	195	03:51:00.00		44.76	.01
SSB	188.3	228	03:51:24.09	-.98	47.08	.63
SSB	188.3	228	03:51:26.70	.07		
BLH	189.0	158	03:51:26.00	.87		
ZLA	196.1	52	03:51:25.76	-.31		
TMA	197.3	100	03:51:28.89	.63		
OG16	198.7	209	03:51:00.00		52.08	-.04
OC16	198.7	209	03:51:25.92	-.46	49.56	-.86
OG19	203.4	194	03:51:29.77	.55	53.97	-.46
OG19	203.4	194	03:51:27.27	-.26		
CSB	205.1	169	03:51:29.55	-.03	54.27	.15
SURF	217.2	170	03:51:30.80	-.80	56.76	-.80
SURF	217.2	170	03:51:28.38	-.46	52.69	-.17
PZZ	219.4	164	03:51:30.58	-.138		
SE.E	222.1	47	03:51:28.44	-.85		
COL.F	228.9	244	03:51:29.17	-.98		
COL.F	228.9	244	03:51:33.21	-.29		
VDL	238.8	88	03:51:34.86	-.40	60.17	-.61
VDL2	240.3	88	03:51:33.77	-.75		
ENR	256.5	161	03:51:34.92	1.27		
PCP	269.2	140	03:51:34.65	-.54		

RESEAU SISMALP

05.11.1993 03:50
YVOIRE (LAC LEMAN) 2,4

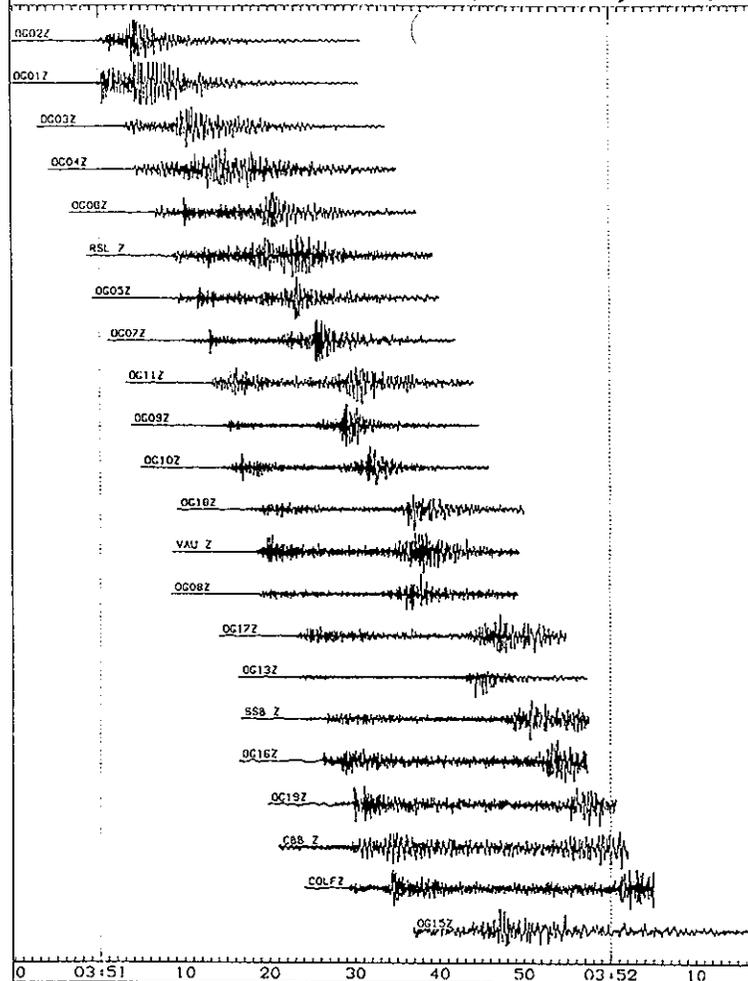


Fig. 4 — Exemple d'avis de localisation édité à la suite d'un séisme s'étant produit le 5 novembre 1993 sous le Lac Léman (magnitude 2,4). En bordure du lac, le séisme a été perçu sous la forme d'une forte explosion.

Enfin, les fortes secousses qui ont ébranlé la région de Briançon en février 1991 (choc principal de magnitude 4.7 suivi, deux jours plus tard, par deux répliques de magnitudes 3.6 et 3.8) ont été très rapidement l'objet d'un travail de détail. L'étude des mécanismes au foyer montre cette fois-ci que la faille qui a joué a fonctionné en coulissage, avec un déplacement du domaine piémontais par rapport au domaine briançonnais.

Les valeurs de magnitude locale calculées par SISMALP (magnitude m_l) ont été comparées, pour un certain nombre d'événements, avec celles obtenues par le Laboratoire de Détection Géophysique. Si les valeurs semblent assez comparables pour les séismes de magnitude supérieure à 4, les magnitudes calculées par SISMALP sont en revanche nettement plus faibles que celles du L.D.G. pour les magnitudes inférieures à 4. La différence peut atteindre, voire dépasser 1, ce qui est considérable puisque cela correspond à une amplitude 10 fois moins forte. La compréhension de l'origine de cette surestimation, qui a été également constatée par d'autres organismes, a des implications importantes pour le risque sismique et doit faire l'objet d'une étude exhaustive. Pour la magnitude des télé-séismes (magnitude m_h), les calculs sont en accord avec ceux des organismes internationaux, à 0,2 près.

L'importante densité de stations du réseau SISMALP permet maintenant d'utiliser les télé-séismes pour sonder la lithosphère alpine. Lorsqu'on se trouve à grande distance de l'épicentre, les rais sismiques atteignent en effet les stations en traversant la lithosphère pratiquement verticalement, et les hétérogénéités rencontrées induisent des différences de temps de propagation. L'analyse de ces différences permet de procéder à une tomographie des Alpes jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres de profondeur. Une étude préliminaire montre l'existence d'une ancienne zone de subduction, avec un plongement de la plaque européenne sous la plaque adriatique. Des études plus complètes sont en cours avec les laboratoires suisses et italiens.

Une coopération de longue date avec les centres de Gênes et de Barcelone s'est trouvée renforcée lorsque ceux-ci ont fait l'acquisition, à partir de 1989, de plusieurs balises téléphoniques et d'une station centrale d'interrogation. Le même matériel est également utilisé par plusieurs organismes à Monaco, Nice, Clermont-Ferrand et Strasbourg. Par ailleurs, depuis 1991, dans un but de surveillance de l'activité sismique induite, neuf sites proches des champs d'exploitation de gaz naturel de Lacq sont instrumentés avec des balises téléphoniques interrogées depuis l'Observatoire de Grenoble (réseau SISLACQ, J.-R. Grasso). Les logiciels développés à Grenoble sont également utilisés par de nombreux instituts en France et à l'étranger (Europe, Russie, Chine, Indonésie, Philippines, Amérique Latine).

Dans sa configuration actuelle, le réseau SISMALP permet une surveillance précise de la sismicité du Sud-Est de la France. Outre le rôle

d'information lors de séismes ressentis, il permet l'établissement de cartes sismotectoniques qui pourront être améliorées au fur et à mesure de l'acquisition des nouvelles données. Un certain nombre d'études ne peuvent pas être correctement effectuées avec le matériel actuel du fait de la faible capacité d'acquisition, de la faible dynamique, de la précision en temps encore insuffisante (quelques millisecondes), et du fait que les stations n'enregistrent que la composante verticale du mouvement du sol. Pour pallier ces limitations, le L.E.A.S. vient d'achever le développement d'une balise beaucoup plus performante (trois composantes, grande dynamique, 20 fois plus de capacité, vitesse de transmission multipliée par 10) qui sera prochainement installée en quelques sites (financement du Contrat de Plan Etat-Région 1993). Sur le plan européen, le programme InterReg -en collaboration avec Gênes- doit également permettre de financer quelques nouveaux points de mesure équipés de capteurs large bande (au lieu des sismomètres 1 Hz actuels), ce qui donnera accès à tout un nouvel éventail d'études.

Les nombreux séismes qui ont été ressentis dans les Alpes ces dernières années (l'un d'eux, près de Briançon, a occasionné des dégâts immobiliers ; certains étaient situés à proximité immédiate de centrales nucléaires) nous rappellent la vigilance dont nous devons faire preuve vis à vis du risque sismique. L'occurrence d'un séisme catastrophique dans notre région est une certitude, sans que l'on puisse en préciser la date (quelques années ou quelques dizaines d'années). L'étude du risque sismique à l'aide des données sismologiques, géophysiques et géologiques doit donc être développée, en particulier pour les zones urbaines et les sites industriels à risque.

4-1-3 - réseaux de surveillance dans les DOM-TOM

Dans les DOM-TOM, deux réseaux existent :

- celui de la Polynésie française, implanté pour des raisons stratégiques et de sécurité liées au centre d'expérimentation nucléaire du Pacifique,
- celui des Antilles, région considérée comme la plus sismique du territoire national.

Le réseau régional des Petites Antilles est constitué depuis 1978 de 11 stations sismologiques réparties sur les îles d'Antigua (1 station), de la Guadeloupe et dépendances (5 stations), de la Dominique (2 stations) et de la Martinique (4 stations).

L'Observatoire volcanologique de Martinique voudrait se doter d'une station VAN améliorée, permettant également d'enregistrer les signaux

électromagnétiques. Ce projet a été accepté, mais avec un financement à 0 % par le Conseil Régional.

La surveillance sismologique des Antilles dépasse les frontières de chaque île ; la coopération est bonne avec les îles voisines anglophones, Antigua, Trinidad notamment, même si les moyens de recherche de ces pays sont faibles. En outre, les 2 stations sismiques sous-marines fixes à 5 000 m de profondeur entre la Martinique et la Guadeloupe sont particulièrement utiles. Mais, ainsi que le soulignait M. Viodé, Directeur de l'Observatoire de la Montagne Pelée, le problème du financement, surtout dans un contexte international, est primordial.

L'observatoire volcanologique de la Soufrière existe en Guadeloupe depuis 1950. Le nouvel observatoire du Houelmont que dirige M. Michel Feuillard a été inauguré le 15 décembre 1993 et participe aux travaux du réseau d'observatoires gérés par l'IPG de Paris. Ses actions en matière sismologique concernent l'étude de la sismicité de l'arc des Antilles et l'étude de la subduction, en collaboration avec l'Observatoire de la Martinique, en coopération avec les îles anglaises, et plus difficilement avec le Costa-Rica. 1000 séismes environ sont détectés par an dont 60 % donnent lieu à une détermination de l'épicentre, 2/3 sont situés dans la plaque Caraïbe, 1/3 dans la subduction.

M. Serge Lallier, Directeur du BRGM-Antilles, me faisait remarquer que figurait au IX^{ème} Plan un essai de typologie des séismes aux Antilles, avec une identification des lieux où le phénomène peut être amplifié compte tenu de la nature des sols. Cette étude qui pourrait être du domaine universitaire n'a pas été entamée à ce jour.

L'Université Antilles-Guyane de Guadeloupe voulait et veut implanter un réseau VAN mais rencontre des difficultés, même si un de ses responsables, M. Jean-Jacques Jérémie, Directeur du Laboratoire de Volcanologie et Géochimie, n'est pas certain que cette expérimentation puisse donner, dans le cas d'une zone de subduction, des résultats probants. M. Christian Asselin de Beauville, Directeur du Laboratoire de Physique Atmosphérique, propose lui d'expérimenter sur des animaux, mais le financement estimé à 600 000 francs pour l'installation et à 1 million de francs pour le fonctionnement n'est pas trouvé.

La Région a déjà fait un effort important en finançant pour 500 000 francs un réseau sismique mobile.

4-2 - les réseaux accélérométriques

La surveillance globale du territoire semble possible par ces réseaux, pour les événements les plus forts tout au moins.

Par contre, les réseaux accélérométriques sont quasiment inexistants. Les seuls accéléromètres installés dans les installations nucléaires ne sont pas très performants à cause de leur répartition géographique et de leur manque de sensibilité (ils ne se déclenchent au mieux que pour des séismes proches et de magnitude supérieure à 4 !).

Dans ces conditions, si un séisme destructeur survenait en France, il n'y aurait que très peu de chances de recueillir des mouvements forts et probablement pas dans la zone épiscopale. Il ne pourrait donc en résulter aucun progrès dans l'estimation quantitative de l'aléa sismique.

Ce manque a été dénoncé par la Délégation aux Risques Majeurs en 1989, mais rien ne semble avoir bougé depuis.

Les effets d'un séisme sont modifiés par la nature du sous-sol. L'effet mécanique peut-être aggravé par les conditions hydriques du sol, notamment lorsque les sédiments sont gorgés d'eau. Il s'ensuit, outre des tassements, le redoutable phénomène de liquéfaction qui déstabilise totalement les fondations des immeubles.

Que ce soit M. George Housner, professeur d'ingénierie sismique à l'Université privée Cal'Tech, le Dr. Helmut Krawinkler, Directeur du John A. Blume Earthquake Engineering Center de l'Université de Stanford ou M. Gabriel Auvinet, professeur de géomécanique à l'ENSG Nancy et à l'Université de Mexico, tous le confirmaient en utilisant quasiment les mêmes termes : *"La nature des sols est très importante, surtout si le sous-sol est mou. L'exemple de Mexico, construit en partie sur un ancien lac de 5 km de diamètre est le plus parlant. Le sol s'est comporté comme un bol de gélatine"*.

Depuis 1989, plusieurs rapports concernant la nécessité pour la France de se doter d'un réseau accélérométrique ont été déposés.

Le premier rapport "Propositions pour un Réseau Accélérométrique Permanent", écrit à la demande de la Délégation aux Risques Majeurs, soulignait les points suivants :

- la France est un pays à la sismicité modérée mais au Risque Sismique non négligeable, les conséquences économiques et humaines d'un séisme de magnitude 5 (il peut y en avoir 20 par siècle) peuvent être catastrophiques.

- la prédiction du mouvement du sol lors d'un séisme est fondamentale pour évaluer l'aléa sismique et ainsi réduire le risque.
- il est plus efficace et plus facile de prédire le mouvement du sol que de prédire le séisme lui-même.
- les paramètres qui ont une influence sur le mouvement du sol sont nombreux et complexes, seules des mesures "in situ" permettent d'acquérir les données caractéristiques d'une région donnée.
- ces données peuvent être ensuite injectées dans des modèles numériques qui ont fait de très grands progrès cette dernière décennie. Il est alors possible de travailler à l'aide de petits séismes pour prévoir les effets des gros séismes.
- seul un réseau dense, sensible et performant permettra d'acquérir de telles données.
- la France est le seul pays du pourtour méditerranéen à ne pas être doté d'un réseau accélérométrique permanent national.

Les Recommandations pour le Développement de l'Accélérométrie en France, deuxième rapport, établi par le Bureau Central Sismologique Français, reprenaient la plupart de celles formulées dans le rapport précédent en y ajoutant les suivantes :

- disposer d'une instrumentation performante, distincte des "réseaux sismologiques" car elle ne doit pas saturer, et elle concerne un domaine de fréquence étendu,
- distribuer l'information recueillie de manière publique,
- prévoir un Centre National, rattaché à un organisme public de recherches, chargé de la centralisation des données,
- mettre en place un Comité Scientifique inter-organismes,
- prévoir le personnel indispensable à la bonne marche d'un tel réseau.

Le troisième rapport "Réseau d'Accélérométrie Sismique à implanter en France" réalisé par le Conseil Général des Ponts et Chaussées reprend l'argumentaire des rapports précédents en montrant les intérêts que le Ministère de l'Équipement pourrait en tirer. On y trouve aussi une proposition de création d'un Centre de Recherches sur les Tremblements de Terre, dont la localisation proposée à cette époque était à Nice. Ce rapport proposait d'encourager le

financement d'un Réseau Accélérométrique Permanent à un niveau élevé, et suggérait une subvention de 2 MF dès 1992.

A la suite des ces différents rapports, la Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques du Ministère de l'Environnement décidait de lancer une opération "pilote" pour montrer l'intérêt et la faisabilité d'un réseau.

La DPPR a chargé Denis Hatzfeld de l'Observatoire de Grenoble, d'animer cette phase pilote en :

- convoquant une réunion rassemblant les différents partenaires (CEA, LCPC, BRGM, Universités), qui a remis des propositions le 8 février 1993,
- développant une instrumentation française adaptée. Ce qui a été fait durant l'année 1993-1994, par la société AGECODAGIS,
- démarrant la phase pilote, installant un réseau régional dans les régions Rhône-Alpes et PACA, ce qui a commencé en octobre 1994 et devrait se poursuivre en 1995.

Cette opération pilote reçoit un financement annuel de 900 kF TTC, ce qui est raisonnable pour une opération pilote, mais ne permettra pas un développement rapide du réseau. A ce jour, il ne semble y avoir aucun financement du Ministère de l'Équipement.

Par ailleurs, la DRM a été mise en garde sur le fait qu'un tel réseau allait fournir des Giga-octets de mesures, ce qui nécessitait des procédures d'archivage sérieuses, mais qui vont induire des coûts de fonctionnement.

Enfin la maintenance technique du réseau, ainsi que la gestion des données, nécessite un personnel spécifique qui n'existe pas pour l'instant, et sans lequel le réseau ne fonctionnera pas.

5 - LA PREVENTION DES SEISMES

Aux Etats-Unis, depuis 1971, les villes et les districts de Californie sont obligés par la loi d'inclure des éléments de sécurité parasismique dans leurs programmes généraux de développement. Bien que les règlements établis aient souffert d'inexpérience et d'incohérence dans la définition des risques, le résultat global semble être positif.

Des études techniques tirent ensuite les conséquences de la sismicité historique de l'activité de toutes les failles de la région et des conditions du sol. On estime les risques de glissement de terrain ou de liquéfaction du sol et on établit un plan de secours d'urgence. Les données de ces études figurent sur des cartes géologiques régionales de différentes sortes. Ces cartes de structure géologique insistent sur les failles qui ont joué durant l'époque quaternaire. On les complète par des cartes donnant la nature et l'épaisseur des couches superficielles, telles que les alluvions, les zones de remblais, etc. Les cartes d'intensité sismique représentent les intensités ressenties lors des séismes historiques et les lignes isoséistes sont utilisées.

A partir de ces informations géologiques et sismologiques de base, on peut construire des cartes à diverses échelles définissant des zones sismiques. A plus grande échelle, elles permettent de reconnaître les régions d'un pays, ou d'une province, dans lesquelles diverses intensités sismiques ont été ressenties ou sont prévisibles. Si les cartes montrent des prévisions d'intensité, la notion de probabilité d'un événement d'une intensité donnée est implicitement introduite. Il existe actuellement des cartes, par zone, basées sur des éléments géologiques, sur la fréquence des séismes et leur magnitude sur les intensités à partir de séismes déjà ressentis et sur des extrapolations subjectives d'autres parties du monde. Malgré leur incontestable incertitude, les cartes de risques sismiques sont devenues communes ; certaines représentent même les pâtés de maisons ou les rues dans un certain nombre de villes, comme Tokyo : c'est le microzonage.

Les cartes indiquent soit la relativité, soit la probabilité du risque. Sur la plupart des cartes de risque relatif, les zones sont indiquées avec un numéro ou une lettre arbitraires ; la carte des risques sismiques pour les États-Unis présente, par exemple, quatre zones allant de l'absence de risque (zone 0) au très grand risque (zone 3). Les cartes chiffrant la probabilité du risque donnent une idée des incertitudes statistiques sous-jacentes comme pour un risque en assurance. Celles-ci donnent la probabilité qu'il y a de dépasser une intensité donnée dans un laps de temps fixé (en général 50 ou 100 ans).

Les accélérations du sol ont été corrélées aux intensités sismiques pour calculer les normes de construction parasismique.

Les cartes de maxima d'accélération sont destinées aux études d'aménagement du territoire et au choix des sites et des types de construction : les ingénieurs peuvent déterminer les accélérations prévisibles par interpolation directe sur la carte. On peut ainsi espérer que, si des précautions sont prises lors de constructions, l'exposition à un risque sismique donné au cours des ans devrait être approximativement la même à travers l'ensemble du pays.

En architecture, les cartes de risque sismique accompagnent généralement les codes de construction. Les ingénieurs mettent au point la résistance sismique d'une structure, en suivant les normes de construction et les recommandations indiquées par ces codes. En principe toutes les constructions d'une région sismique devraient être conformes aux normes de constructions locales ; mais le plus souvent, ces études techniques poussées ne sont faites que pour les ouvrages les plus importants et les plus coûteux. Les codes de construction font presque toujours référence aux zones de risque sismiques ou à des paramètres sismiques tels que les accélérations.

Heureusement, depuis les années 60, de nombreuses techniques ont été mises en oeuvre pour trouver des conceptions de construction parasismiques compatibles avec l'architecture moderne. Plus les sismologues progressent dans la connaissance des séismes et plus complexes devront être les mesures de protection. La connaissance des séismes en est à un stade où leurs causes et les différentes sortes de secousses du sol sont assez bien comprises. Il est évident que plus les sismographes destinés à l'enregistrement des fortes secousses fournissent de nouvelles observations, plus celles-ci éclairent sur l'intensité des secousses sismiques se produisant dans diverses circonstances. Ainsi les études sur les différents séismes depuis 1971 (San Fernando) dans le monde ont toutes apporté, pierre après pierre, les éléments d'édification des règles de constructions parasismiques. Les ingénieurs travaillant sur la question des séismes ont aussi appris à mieux analyser les mouvements des constructions en utilisant souvent de puissants ordinateurs. Déjà, certaines analyses dynamiques ne sont plus seulement fondées sur une théorie, mais ont été vérifiées au cours de séismes réels. Un certain nombre d'immeubles de grande hauteur construits selon les normes parasismiques ont supporté les secousses pendant le séisme d'une façon comparable à celle que le concepteur avait prévue. Quelquefois les conceptions des constructions se sont révélées inadéquates, plus particulièrement en cas de forme architecturale inhabituelle ou de matériaux non éprouvés. Comme nous le verrons par la suite, le risque sismique pour certaines structures particulièrement critiques a souvent été considérablement réduit. Pour prévoir le comportement du sol pendant un fort tremblement de terre, les méthodes employées varient dans le détail d'un endroit à l'autre et d'un pays à l'autre. La somme de travail et de crédits investis pour étudier les risques géologiques dans un endroit dépend considérablement du type des équipements. Certains grands équipements ne sont pas d'importance vitale pour la population et la

principale tâche est, dans ce cas, de réduire le coût des dégâts que leurs structures peuvent subir.

Dans d'autres cas, comme pour les hôpitaux, les équipements doivent rester fonctionnels pendant le déroulement du séisme. Il faut donc prendre des décisions difficiles dans la plupart des études préliminaires.

Parfois, en raison du peu de données disponibles, les critères adoptés pour un site sont très stricts si on les compare aux risques de la vie de tous les jours. Rien n'aide plus la sismologie, en vérité, que l'étude d'un grand séisme nouveau.

Lors de son intervention lors des auditions du 16 février, Pierre-Yves Bard définissait ainsi la "bonne prévention" :

"une bonne prévention du risque sismique doit nécessairement comporter plusieurs volets :

- 1- une bonne évaluation de l'aléa sismique (qui passe par une bonne connaissance des séismes),
- 2- une bonne conception des diverses constructions et ouvrages nouveaux,
- 3- un contrôle efficace de la bonne exécution de ces ouvrages,
- 4- le confortement du bâti ancien lorsque celui-ci s'avère problématique,
- 5- enfin, de bons plans d'urbanisme qui évitent de trop grandes concentrations soit de population soit industrielles dans les zones les plus délicates.

A priori, il peut y avoir catastrophe dès que l'un quelconque de ces 5 points n'est pas respecté. En fait, lorsqu'il y a effectivement catastrophe, comme celle de Kobe par exemple, on met très souvent en cause les points 2 et 3 : et c'est en fait sur le point 2 que l'on a agi dans beaucoup de pays, dont la France, en modifiant et/ou en renforçant significativement la réglementation parasismique.

Mais la plupart des événements récents (depuis une dizaine d'années) ont montré que l'on devait aussi incriminer les points 1 et 4 : ce sont les points que Pierre-Yves Bard définissait alors :

"La sous-estimation de l'aléa sismique : en d'autres termes, les mouvements sismiques sont plus forts que prévu : cela a été le cas, pour les événements récents, à Mexico en 1985, pour partie à San Francisco en 1989, à Latur en Inde en 1993, à Northridge en 1994, à Kobe en 1995. Dans certains cas cela correspond à une méconnaissance des failles actives (Northridge, Latur, peut-être Kobe) ; mais dans de très nombreux cas, cela correspond aussi à une

sous-estimation de l'ampleur des effets locaux (Mexico ; San Francisco ; Kobe ; Arménie...).

Comment y remédier ?

A côté des études de paléosismicité et de néotectonique, il y a deux voies d'amélioration significative : la mesure des mouvements (de modérés à forts) avec un réseau adéquat (accéléromètre), et les études de microzonage sismique.

Pour le réseau accélérométrique dont Denis Hatzfeld a la charge d'animer la phase pilote décrite précédemment, on peut en redéfinir brièvement l'aspect prévention.

La connaissance pratique et concrète des mouvements du sol, dans leur niveau absolu comme dans leurs variations locales liées aux effets de site, passe par des moyens d'enregistrement accélérométriques. De tels enregistrements permettent de contrôler, et éventuellement de modifier, les caractéristiques spécifiées dans la réglementation que ce soit pour les constructions courantes, ou pour des installations spéciales (cela a été le cas par exemple dans une étude spécifique récente du risque dans une zone industrielle du Sud-Ouest). La France est très en retard à cet égard par rapport à des pays à développement et sismicité comparables comme la Suisse ou l'Espagne, ou l'Est des Etats-Unis. Il semblerait donc logique et nécessaire que les efforts financiers accordés par le Ministère de l'Environnement pour l'embryon de réseau pilote dans le grand Sud-Est soient relayés par les grands ministères concernés (Equipement, Industrie, Recherche, voire Intérieur) et éventuellement par de grands entreprises parapubliques et des collectivités locales et régionales, afin que non seulement le financement soit dégagé mais aussi les moyens en personnel.

A titre d'exemple, en Californie, le réseau public est financé, personnel compris, par une taxe de 0,014 % sur les constructions nouvelles. L'initiative de ce réseau avait été prise après le séisme de San Fernando de 1971 : souhaitons qu'en France les expériences malheureuses des autres pays nous aident à prévenir plutôt qu'à guérir.

Un tel réseau pourrait également intégrer des mesures en structures (barrages, hôpitaux, etc..) qui donneraient des informations complémentaires sur la validité des dimensionnements parasismiques effectués pour ces structures.

5-1 - le zonage sismique : aménagement du territoire et occupation des sols

Pour les variations locales, les dispositions prévues dans la loi de 82 qui prévoyait l'établissement de PER apparaissent, au vu de tous les séismes récents, comme d'excellentes dispositions, qui à l'époque étaient pionnières et innovantes : à Mexico, à Kobe, à San Francisco, les effets de site se sont avérés à la fois très importants et très particuliers, soulignant la supériorité qualitative d'une prise en compte locale, au travers d'une étude de microzonage sismique, à une prise en compte "forfaitaire" dans le cadre d'une réglementation nationale. Ces effets de site présentent en outre une particularité utile : celle de pouvoir être prévus, au moins dans leurs grandes lignes, et beaucoup mieux en tout cas que les séismes eux-mêmes et le détail des caractéristiques de source. Cela est tellement vrai que la Californie a lancé après 1989 un vaste programme de microzonage, après le Japon où ce genre d'études est quasi courant depuis une bonne quinzaine d'années. Dans ces pays, quand on décide un programme, on dégage les moyens correspondants, en personnel comme en financement.

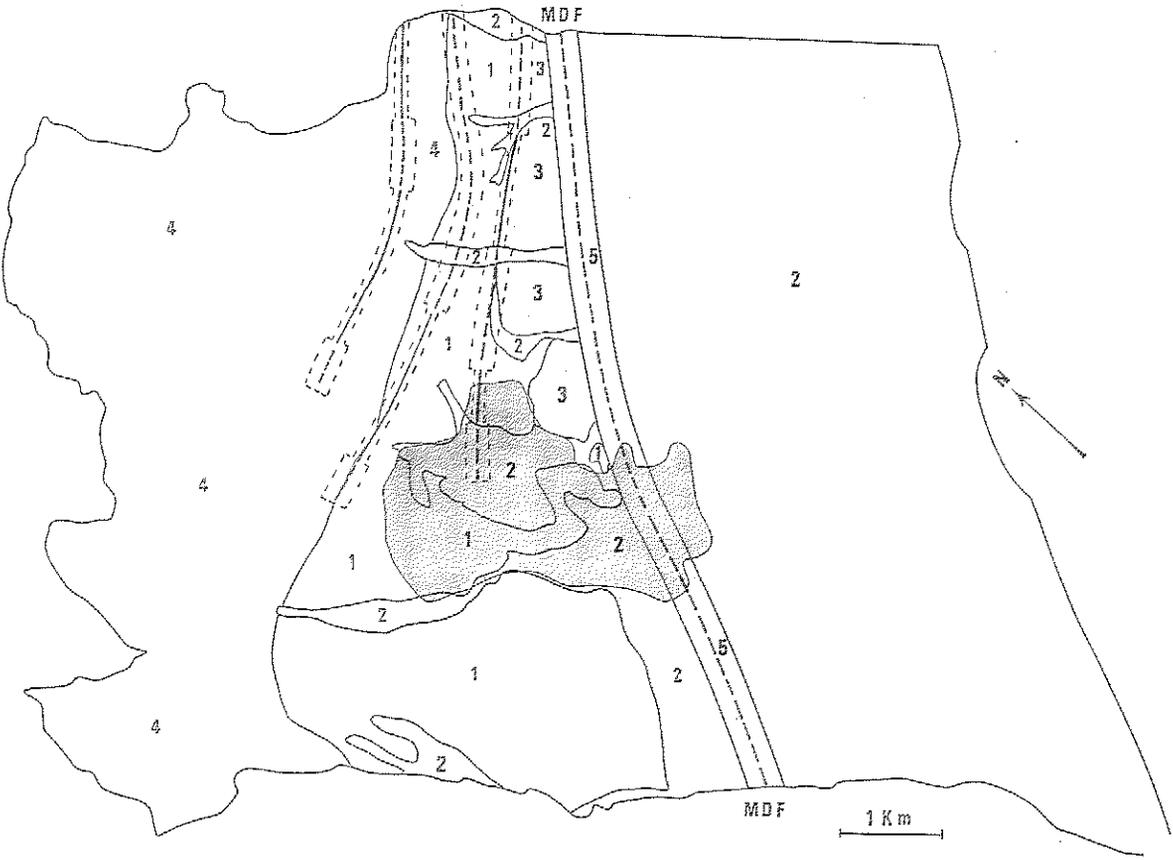
C'est malheureusement à ce sujet qu'on peut avoir des regrets au sujet du programme PER, au moins pour ce qui concerne les PER sismiques : du fait de la modicité des financements (auxquels on peut s'étonner que les sommes récoltées au titre de l'assurance catastrophe naturelle n'aient pas contribué), assez peu d'études techniques ont été réalisées (moins d'une cinquantaine) ; la plupart n'ont concerné que de petites communes, aucune des grandes villes situées en zone sismique comme Nice, Mulhouse, Strasbourg, Grenoble, Chambéry, Aix-en-Provence, Annecy, Lourdes, ... n'a donné lieu à un PER ; et enfin, presque aucune de ces études techniques n'a été transcrite en termes réglementaires dans les plans d'urbanisme locaux (sauf pour Manosque).

Par ailleurs, il est apparu que très souvent les élus et responsables techniques locaux n'étaient pas très sensibilisés au problème, ce qui dès lors faisait apparaître ces PER comme des injonctions venues d'en haut, véhiculant beaucoup plus de contraintes que de futurs avantages.

Les PER vont maintenant être remplacés par les PPR. Il semble donc souhaitable que les nouveaux PPR évitent ces écueils rencontrés par les PER,

- en dégageant des financements décents qui ne servent pas uniquement à pouvoir dire "on fait quelque chose"
- en s'attaquant aussi aux grandes agglomérations
- en intégrant mieux les élus et techniciens locaux dans le processus d'élaboration. Ce dernier point est probablement fondamental ; on peut aussi imaginer des études de scénario, à l'image des études "méthodologiques" en cours sur Nice dans le cadre DPCN, qui permettent d'essayer de prévoir à l'avance ce qui peut se passer dans telle ou telle ville en y intégrant aussi les aspects "organisation des secours" : par exemple, que peut-on imaginer si un

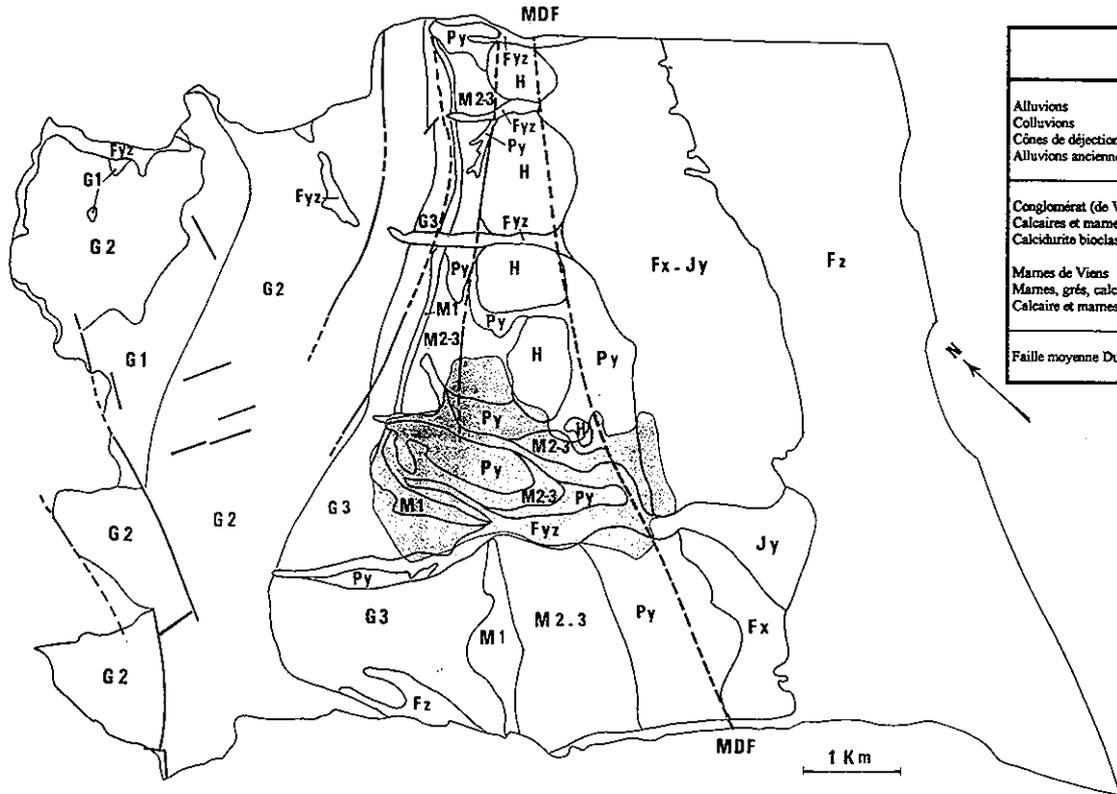
MANOSQUE
(ALPES-DE-HAUTE-PROVENCE)
EFFETS DE SITE - FAILLES



ZONE	$\delta(T)$
1	1
2	1.35 pour $T < 0.35$ s 1.00 pour $T > 0.35$ s
3	1.25
4	1.15
5	1.5

AGGLOMERATION

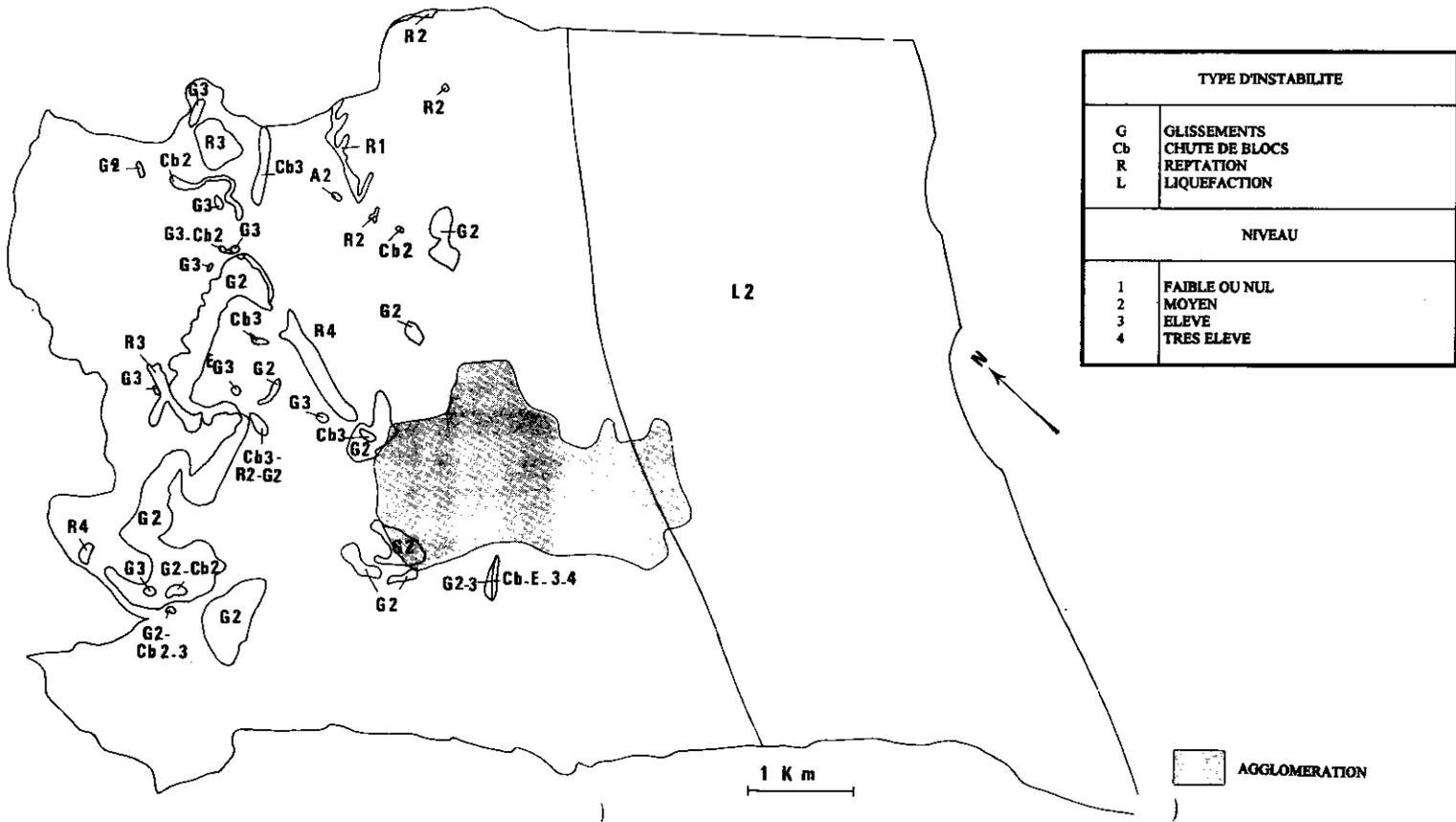
MANOSQUE
(ALPES-DE-HAUTE-PROVENCE)
CARTE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE



LITHOLOGIE		STRATIGRAPHIE
Alluvions Colluvions Cônes de déjection Alluvions anciennes	Fz, Fy Py Jy Fx	QUATERNAIRE
Conglomérat (de Valensole) Calcaires et marnes sableuses Calcairite bioclastique	H M2-3 M1	MIOPLIOCENE MIOCENE MOYEN MIOCENE INFÉRIEUR
Marnes de Viens Marnes, grès, calcaire en plaquette Calcaire et marnes rouges	G3 G2 G1	OLIGOCENE
Faïlle moyenne Durance	—	

AGGLOMERATION

MANOSQUE
(ALPES-DE-HAUTE-PROVENCE)
MOUVEMENTS DE TERRAIN - LIQUEFACTION



séisme de magnitude 5.5 se produisait exactement sous Grenoble, hypothèse qui ne peut être exclue bien que cela ne soit jamais passé dans l'histoire connue".

Le zonage semble donc bien insuffisant puisque s'il prend en compte l'aléa sismique régional, il ignore les effets locaux et induits du séisme et n'a pas d'impact sur l'aménagement. Le remède simple qui pourrait être préconisé serait le microzonage. L'AFPS a édité en novembre 1993 un "guide méthodologique pour la réalisation d'études de microzonage sismique". A partir d'un constat technique, il faut arriver à des prescriptions réglementaires opposables aux tiers, à une réglementation locale imposant des contraintes qu'une réglementation nationale ne peut imposer. C'est là un véritable problème politique, car cette réglementation devra dépasser les conflits d'intérêt, les pressions pour urbaniser des terrains peu chers, voire la négation du risque.

5-2 - la construction parasismique

Le génie parasismique est la conjugaison, dans l'art de construire, d'un grand nombre de disciplines parfois très éloignées les unes des autres.

S'il a fallu attendre le milieu du XXème siècle pour comprendre les principaux mécanismes des tremblements de terre, il n'en va pas de même de la construction parasismique.

Bien avant le développement des technologies parasismiques modernes, de nombreuses structures résistant aux séismes ont été bâties à travers le monde, telles que: églises, temples, mosquées, pagodes et de nombreux châteaux.

Les grandes civilisations ont donné naissance à des ouvrages intelligemment conçus et qui résistent de façon étonnante aux pires séismes. C'est le cas du site andin de Machu-Pichu, remarquable exemple d'architecture parasismique.

Le Palais Impérial de Tokyo et les murailles qui l'entourent, composées de blocs de pierre pesant jusqu'à plusieurs tonnes, se sont admirablement bien comportés dans des régions, souvent secouées de façon très sévère. Il est bien évident que ce sont des structures résistant aux séismes, puisqu'elles ont survécu à de nombreux tremblements de terre dévastateurs. Un fait surprenant retient l'attention. Bien qu'isolées par des milliers de kilomètres, ces civilisations se sont inspirées de techniques assez similaires.

Il est donc indéniable qu'il existe des règles élémentaires de construction permettant de résister efficacement aux séismes.

Dans le cas d'ouvrages courants, construire parasismique revient le plus souvent à respecter quelques règles simples et à se poser des questions de bon sens.

A la différence de l'action du vent, qui agit sur l'élévation de la construction, dans le cas d'un séisme, c'est le sol qui est moteur. Les sollicitations mécaniques que le séisme engendre sont diverses et il est certain qu'une bonne connaissance de son action permettrait de mieux construire.

Les séismes se manifestent à la surface du sol par un mouvement de va-et-vient, horizontal et vertical. Le mouvement est caractérisé par le déplacement, la vitesse et l'accélération du sol. Les constructions sont liées au sol au moins par leurs fondations, éventuellement par leurs parties enterrées (sous-sol). Les éléments de construction solidaires du sol suivent ces déplacements, par inertie les parties en élévation ne suivent pas instantanément le mouvement et il s'ensuit une déformation de la structure. Si les constructions ont été conçues et réalisées suivant les règles de l'art et de la bonne construction en zone sismique, elles passeront par leur position initiale et se mettront à osciller. C'est ce qu'on constate dans un bâtiment soumis à un tremblement de terre. Au cours du mouvement, cause du séisme "injecté", le bâtiment parasismique doit réagir dans un temps très court (quelques dizaines de secondes) sans endommagement. La rupture survient si le bâtiment n'a pas été conçu pour résister à ces mouvements.

Le problème est de savoir comment un bâtiment peut répondre aux sollicitations d'origine sismique pour atteindre les objectifs de protection définies par la Puissance Publique. Pour cela, une bonne connaissance du comportement des matériaux, des éléments composant la construction ainsi que celui de l'ensemble du bâtiment est indispensable. Les objectifs de tous ceux, entreprises, architectes, promoteurs et ingénieurs qui participent à l'acte de construire sont entre autres :

- d'assurer le non-effondrement des bâtiments courants pour le séisme correspondant à la protection minimale,
- de s'assurer que tous les bâtiments comportant des installations nécessaires aux secours d'urgence seront en fonctionnement après le séisme et notamment : centraux téléphoniques, hôpitaux, centres de secours, etc.,
- d'éviter les conséquences indirectes, c'est-à-dire empêcher que des désordres, même limités, dans certains ouvrages ou installations industrielles puissent entraîner des répercussions graves pour l'environnement.

Plusieurs aspects interviennent dans la réalisation d'un projet de construction parasismique :

- la sismicité de la région et la nature du sol,
- la qualité des matériaux,
- la conception générale,
- les éléments composant le bâtiment,
- l'exécution des travaux.

- la sismicité de la région et la nature du sol

L'implantation d'un ouvrage nécessite de prendre en compte la sismicité de la région mais aussi et surtout de procéder à une étude de sol sérieuse, permettant de dresser avec une bonne précision la coupe géologique et les caractéristiques des différentes couches. La qualité du sol joue un rôle important et c'est pourquoi, entre autres, le roc dur en place est à choisir plutôt qu'un remblai artificiel ou un terrain meuble, trop souvent gorgé d'eau et dès lors susceptible de se liquéfier sous l'effet des vibrations et de devenir en quelques instants incapable de soutenir un bâti quelconque. Le sol étant devenu une boue liquide, les bâtiments basculent. Par ailleurs, il faut garder présent à l'esprit le risque des effets induits dus aux tremblements de terre : éboulements, glissements de terrain, etc., qui peuvent mettre gravement en péril plusieurs bâtiments voire une partie de la ville. La construction parasismique dépend donc beaucoup du sol et les solutions techniques qui seront proposées pour un bâtiment ne seront pas toujours tout à fait identiques pour d'autres bâtiments.

- la qualité des matériaux

La nature des matériaux utilisés et leur qualité sont de première importance. Ils doivent être susceptibles de répondre le mieux possible aux sollicitations mécaniques anormales que les tremblements de terre imposent. Il n'existe pas a priori un matériau plus "parasismique" qu'un autre, toutefois il est bien évident que le béton armé ou la charpente métallique présenteront une plus grande résistance que l'aggloméré. Il convient donc d'apporter un soin particulier au choix des matériaux. Dans ce "bon choix", il ne faut pas hésiter à utiliser les ressources locales comme cela peut être ou doit être le cas dans certaines régions. Par ailleurs, les dimensions des éléments constituant le bâtiment devront être pensées en fonction de la qualité des matériaux pouvant réellement être obtenus sur le site. Par exemple, un mur en béton armé de faible performance devra avoir une épaisseur supérieure à celui pouvant faire appel à un béton de bonne qualité ; cette remarque reste valable pour d'autres types de matériaux tels que la pierre, la brique, etc.

Les cartes simplifiées de risque sismique, régionales ou nationales, permettent d'édifier un grand nombre de constructions et de dresser des plans d'urbanisme. Dans les pays sismiques, cependant, il faudrait beaucoup plus de

travaux sismologiques préparatoires sur le terrain pour des ouvrages tels que les grands barrages, les ponts, les autoroutes, les plates-formes de forage pétrolier en mer, les immeubles de grande hauteur et les installations nucléaires. Le coût de leur construction et l'importance de la population sont trop grands pour permettre une évaluation d'après les seules cartes régionales simplifiées.

Pour la plupart des projets, l'étude commence par l'analyse la plus approfondie possible de l'histoire géologique de la région. Les dernières étapes consistent à calculer les valeurs des accélérations (ou vitesses) et les durées des ébranlements sismiques prévisibles pour chaque projet.

5-2-1 - le neuf : la réglementation

L'AFPS et le BRGM ont réalisé en septembre 1990 un document technique dont les grandes lignes sont toujours valables à ce jour et dont certaines recommandations ont déjà trouvé une traduction législative ou réglementaire. Il est bon toutefois de rappeler ces recommandations techniques trop peu connues et dont certaines relèvent du simple bon sens.

5-2-1-1 - la réglementation technique

- la conception générale, des règles de bon sens :

Il est nécessaire que la préoccupation parasismique soit intégrée dès les premières phases de la conception du projet et qu'elle devienne un réflexe, de façon à en réduire et en contrôler les surcoûts probables. Ce réflexe, de "construire parasismique", ne peut résulter que d'une collaboration permanente entre utilisateurs, architectes, ingénieurs et entreprises.

Il convient de rappeler qu'une application stricte des règles générales de la construction lors de la conception du projet, ainsi qu'une bonne exécution des travaux, permettent aux bâtiments de résister de façon satisfaisante aux séismes de faible à moyenne intensité.

Il faut garder présent à l'esprit que la construction doit pouvoir se déformer sans ruptures et "digérer" l'énergie transmise au bâtiment par la secousse sismique. On introduit ainsi la notion de ductilité qui est la propriété d'une construction de se déformer notablement avant rupture. A la ductilité s'oppose la fragilité qui correspond à une rupture brutale avec peu de déformation. De façon imagée, pour la construction parasismique, il existe deux types de solutions :

- le chêne : une rigidité du bâti qui lui permette, grâce à sa cohésion et sa solidité mêmes, de ne pas se désintégrer,
- le roseau : une élasticité suffisante, il plie mais ne rompt pas.

L'attention doit être attirée sur le cas des constructions trop souples qui peuvent se déformer d'une façon telle que, même pourvue d'une capacité suffisante de résistance, il se produit la rupture. C'est pourquoi la tâche du concepteur est de trouver un compromis pour obtenir la combinaison optimale entre la résistance et la déformabilité, ce qui n'est pas chose facile, le comportement de l'ensemble du bâtiment dépendant du comportement de chacun des éléments et de la façon dont ils sont assemblés.

Les forces dans le bâtiment sont proportionnelles aux masses des éléments ; il convient donc de répartir les masses de manière continue dans le sens vertical, mais aussi horizontal. Les locaux comportant de lourdes charges devraient être placés le plus bas possible.

De par la conception de bâtiments, on est conduit à disposer des éléments résistants tels que murs, poteaux, planchers, poutres, etc. Ces éléments peuvent aussi être utilisés pour assurer la résistance face aux actions dues aux tremblements de terre : ils portent le nom d'éléments de contreventement. Les contreventements dans le sens longitudinal et dans le sens transversal sont aussi importants l'un que l'autre et doivent être pensés à la naissance même du projet. Il s'agit là d'un des aspects les plus importants de la conception parasismique.

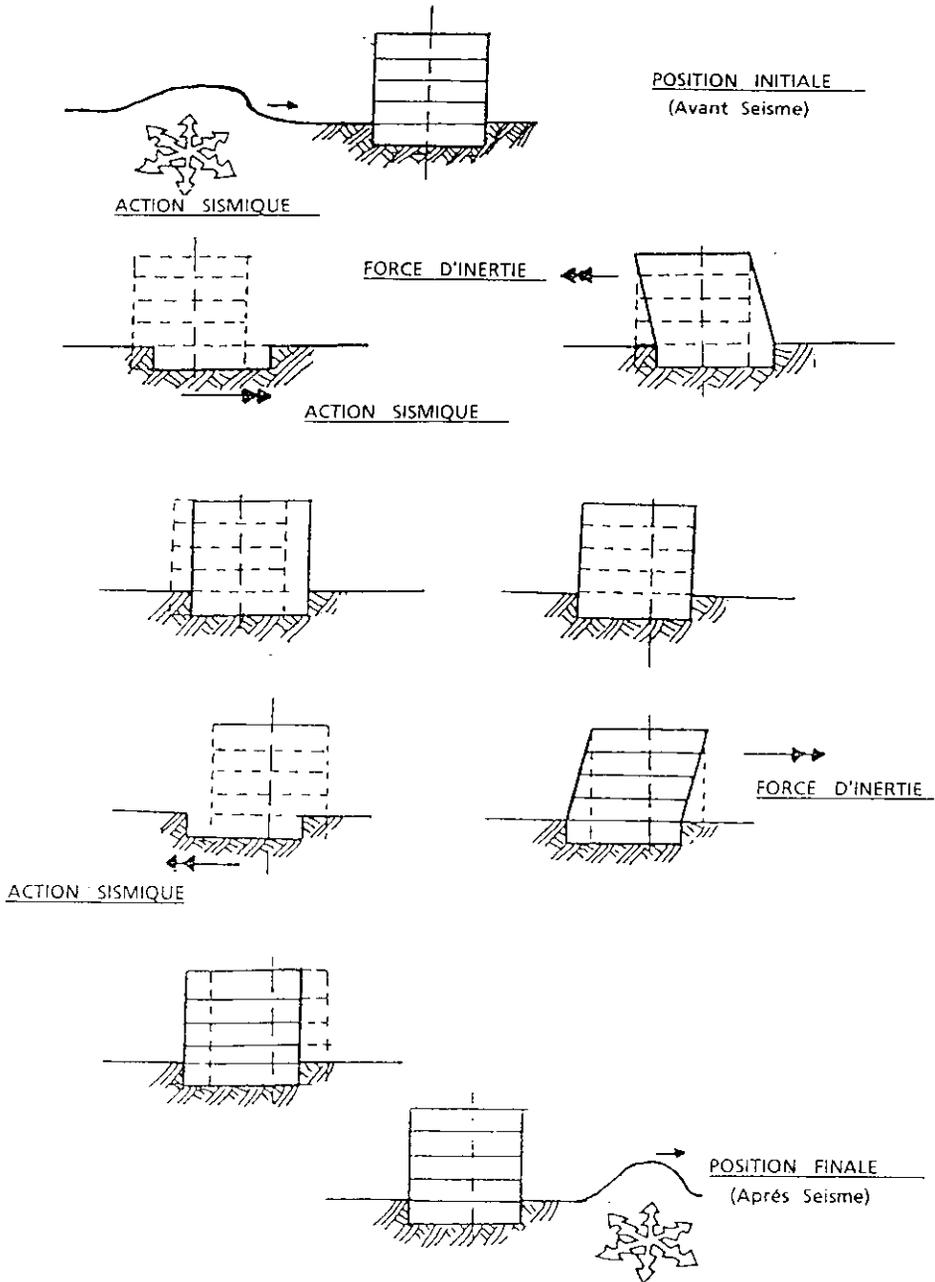
Il faut s'efforcer d'avoir des bâtiments de formes simples et aussi régulières que possible (rondes, carrées, rectangles, etc.). Les bâtiments n'ayant pas ces formes doivent donner lieu à une réflexion plus approfondie, des calculs particuliers et des dispositions spécifiques.

Lors des secousses telluriques, le bâtiment est soumis simultanément à une excitation horizontale et verticale. Il convient donc d'avoir une démarche globale à la conception du bâtiment : formes en plan, formes en élévation, irrégularités, dimensionnement et dispositions des éléments structuraux (murs, poteaux, etc.) et non structuraux (cloisons, faux-plafonds, canalisations, équipements divers, etc.).

Formes des bâtiments en plan :

Il apparaît lors de l'examen du comportement des structures ayant été soumises aux tremblements de terre que les formes les plus simples sont les plus fiables. Dans ce sens, il convient de favoriser les symétries et éviter les angles rentrant. Lorsque les bâtiments ont des configurations irrégulières (formes en T, L, U, H, X, Y), il se développe des efforts particuliers de torsion qui peuvent même être à l'origine de leur endommagement. La réalisation d'un seul tenant de tels bâtiments doit être évitée autant que possible.

Comportement au séisme, d'après document BRGM/AFPS septembre 1990



Les joints :

Les joints sont des dispositifs constructifs qui permettent à un bâtiment de se déformer sous les effets de variations climatiques. Ils sont par ailleurs largement utilisés dans le domaine parasismique pour ramener des configurations compliquées à des formes plus simples. L'espacement entre deux blocs est au minimum de 4 cm au rez-de-chaussée et ceci pour éviter l'entrechoquement. Il a été en effet constaté lors des tremblements de terre que deux blocs voisins n'ont pas forcément le même mouvement : le danger de collision est évident.

Cas des fausses symétries :

On peut rencontrer des bâtiments dont l'apparence est parfaitement symétrique, mais par la présence des murs de remplissage ils deviennent non symétriques. Cette dissymétrie peut aussi provenir de charges mal centrées.

Cas des bâtiments de grande longueur :

Pour ces ouvrages, au delà d'une certaine longueur et afin d'éviter les mouvements de torsion, il convient de disposer des joints verticaux, même si la forme du bâtiment est régulière, de façon à décomposer la structure en unités de forme simple et de longueur réduite.

Formes de bâtiments en élévation :

Comme pour les dispositions en plan, la conception des bâtiments en élévation doit prendre en considération simultanément les formes, les rigidités et les masses. Il est recommandé d'avoir des formes simples, ramassées et d'éviter d'élever inutilement le centre de gravité des constructions. Bien que tolérées dans certains cas, les irrégularités (étages en retrait) sont à éviter.

Lorsque les formes deviennent architecturalement compliquées et qu'il est impossible de scinder les divers éléments à l'aide de joints, il est nécessaire de procéder à une réflexion approfondie accompagnée parfois de calculs complexes.

Cas des bâtiments de grande hauteur :

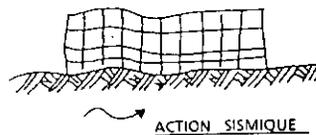
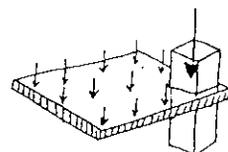
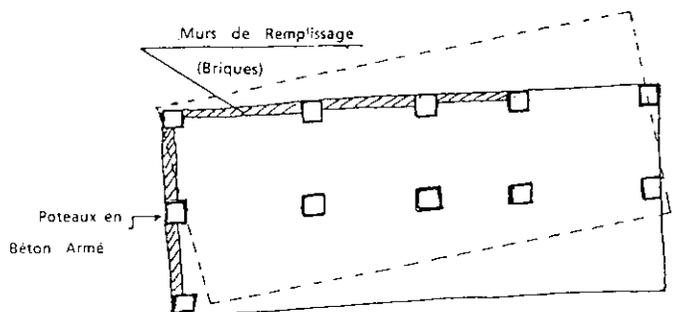
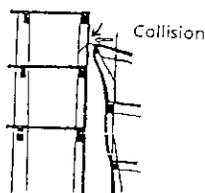
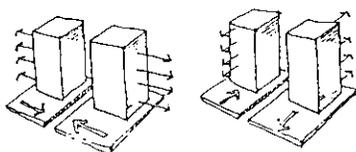
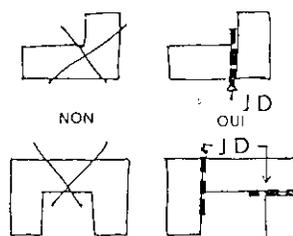
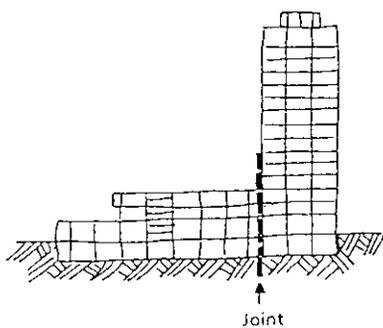
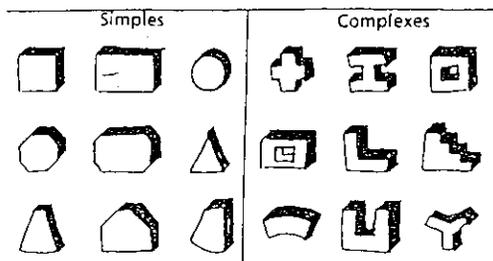
C'est peut-être un paradoxe, mais des immeubles élancés de plus de vingt étages sont généralement moins vulnérables que de modestes maisons parce que tout d'abord ce type de bâtiments est calculé pour résister au vent (l'action du vent peut être plus défavorable que celle du Séisme) et que par ailleurs, étant donné leur importance, ils font l'objet de plus de "soins" depuis la conception jusqu'à la réalisation.

Cas des porte-à-faux :

C'est la partie d'une construction qui n'est pas directement soutenue par un appui. On distingue les petits porte-à-faux (balcons), des grands porte-à-faux qui nuisent de manière significative à la stabilité et dont l'équilibrage

Recommandations techniques, d'après document BRGM/AFPS septembre 1990

FORMES EN PLAN



nécessite la mise en jeu d'efforts importants. Ils sont vivement déconseillés en raison des dissymétries qu'ils engendrent, vis-à-vis des composantes verticales notamment. Les porte-à-faux lourdement chargés sont des éléments très sensibles aux effets des composantes verticales des secousses telluriques, et donc susceptibles de donner lieu à de très graves accidents. Il convient d'être très prudent avec ce type de structure et de réaliser une étude détaillée.

Cas des maisons individuelles :

Bien qu'il s'agisse en général de constructions peu élevées avec un caractère massif et très rigide, on a souvent constaté que ce type de maisons subit d'importants dommages. Cependant, construire de façon parasismique des maisons individuelles ne demande rien de plus que l'application de quelques principes simples, l'utilisation des matériaux de bonne qualité et, d'une manière plus générale, le respect des règles de bonne construction.

- les éléments composant le bâtiment :

les fondations :

Il existe deux grandes catégories de fondations en fonction de la qualité du sol :

les fondations superficielles

Dans ce cas le bon sol se trouve pratiquement en surface. Il convient de lier ces fondations entre elles dans les deux directions par un système de poutres-semelles. Ce dispositif permet de limiter les déplacements relatifs en fondation. Les fondations isolées sont à proscrire.

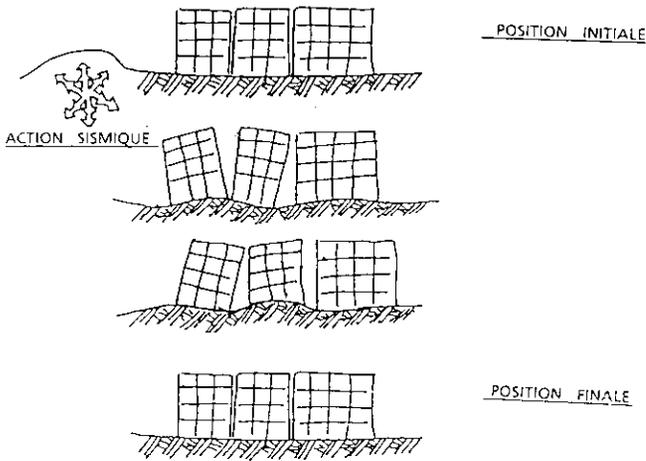
les fondations profondes :

En règle générale, les constructions sur sol mou se trouvent placées en situation plus défavorable que les constructions sur sol ferme. Lorsqu'on a un mauvais sol ou que les ouvrages sont trop lourds, il faut réaliser des fondations profondes, qui doivent être reliées à leur partie supérieure par un réseau de longrines.

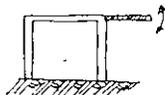
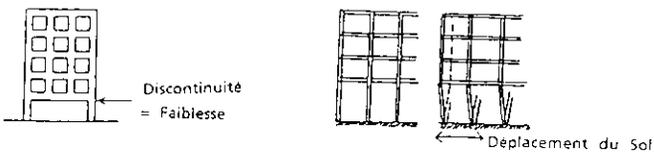
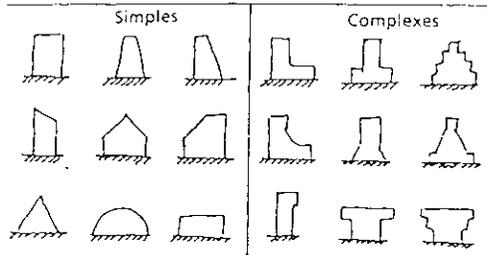
les éléments de structures :

Tout bâtiment parasismique doit se composer d'éléments (fondations, murs, planchers, etc. ou éléments assurant cette fonction) solidaires entre eux, à l'aide de chaînages.

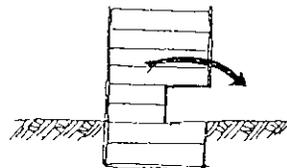
Recommandations techniques, d'après document BRGM/AFPS septembre 1990



FORMES EN ELEVATION



Porte-à-Faux



Les chaînages verticaux sont aussi indispensables que les chaînages horizontaux, l'ensemble formant un réseau à trois dimensions.

L'emploi de la maçonnerie doit se concevoir en association avec la structure du bâtiment : charpente métallique ou béton armé.

Les poteaux :

Ce sont des éléments verticaux de l'ossature qui à chaque niveau collectent les charges s'appliquant sur les poutres et planchers et qui reportent ces efforts sur les fondations. L'enseignement des expériences passées a montré qu'il existait des zones critiques se situant aux extrémités des poteaux.

Les cages d'escaliers :

Les escaliers constituent un élément essentiel dans le fonctionnement d'un bâtiment :

- fonction architecturale : accès aux différents niveaux et surtout issues de secours pendant et après séisme ;

- fonction structurale : les paliers, les paillasses et les murs forment un ensemble qui participe à la stabilité du bâtiment au même titre que la structure principale. En zone sismique, leur fonction d'issues de secours soulève de multiples problèmes ;

- en cas de dégradation des murs de remplissage entourant la cage, les débris risquent d'encombrer les escaliers ; il est préférable d'adopter des murs en béton armé ;

- les portes au rez-de-chaussée risquent d'être bloquées ; il est vivement conseillé l'utilisation du verre trempé ou feuilleté. Sans entrer dans les détails de calculs des escaliers en tant qu'éléments structuraux, il faut néanmoins rappeler des précautions élémentaires : les poutres palières, les paliers et les paillasses ou limons porteurs doivent former un ensemble rigide, lié à l'ossature ou aux chaînages du bâtiment.

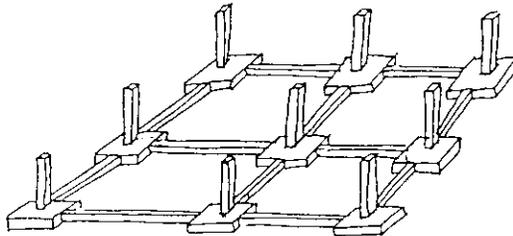
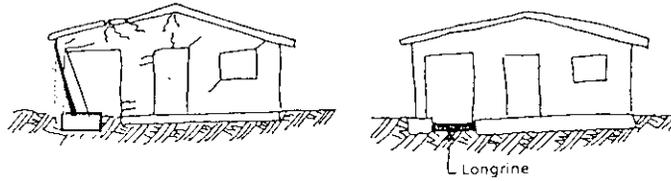
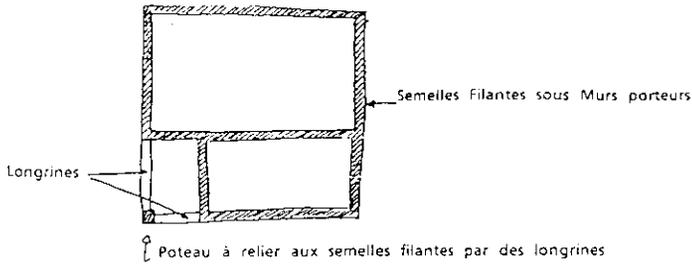
Le plancher :

Le plancher sépare deux étages successifs dans une construction. C'est un élément rigide, indéformable horizontalement et solidement attaché à ses points d'appuis. Les planchers doivent être conçus et organisés de façon à assurer le report sur les éléments porteurs verticaux des forces horizontales développées par l'action sismique.

les baies et les ouvertures :

Les ouvertures constituent en général des points faibles et des désordres apparaissent souvent dans les cloisons au droit des portes et des

Recommandations techniques, d'après document BRGM/AFPS septembre 1990



fenêtres. Les ouvertures sont classées par catégories en fonction de leur dimensions, mais elles doivent toutes recevoir un encadrement de béton armé, métal ou bois. Les encadrements doivent en principe être reliés à l'ossature ou au chaînage.

le second oeuvre :

Ce terme regroupe l'ensemble des éléments complétant une construction pour sa fermeture, sa distribution, ses revêtements. La réglementation parasismique s'est surtout attachée à l'aspect structural, sans traiter à fond le second-oeuvre.

Certains séismes ont revêtu un caractère tragique en raison de ruptures de canalisations de gaz ou d'eau. La rupture des premières a été à l'origine de graves incendies qui n'ont pu être éteints à cause des canalisations d'eau rompues. Les raccordements des réseaux extérieurs aux réseaux intérieurs doivent faire l'objet de préoccupations permanentes, il est impossible d'édicter des règles en raison même de la diversité des cas rencontrés. C'est donc encore une fois le bon sens qui doit diriger les constructeurs, complété par le savoir acquis suite aux constats effectués après séisme.

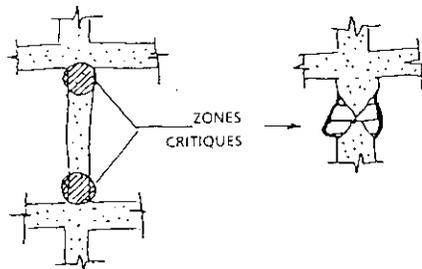
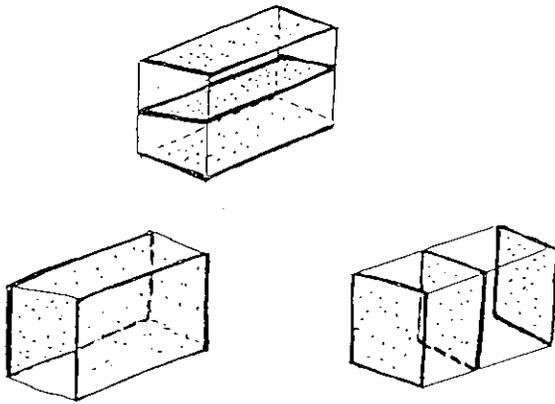
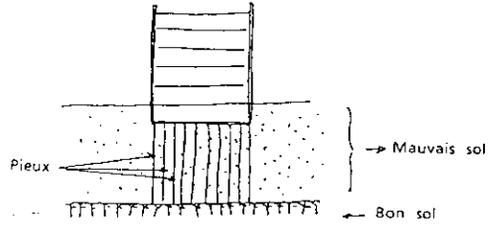
Comme on a coutume de le dire, les séismes, sauf cas exceptionnels (raz-de-marée par exemple), ne font de victimes qu'à travers le mauvais comportement des constructions édifiées par l'homme. D'où le principe de la détermination d'un niveau minimal de protection basé sur des considérations socio-économiques.

Les considérations principales sont :

- a) limiter les conséquences directes, c'est-à-dire l'effondrement meurtrier des constructions, sans toutefois éviter des désordres réparables ou non,
- b) limiter les conséquences indirectes, c'est-à-dire assurer la continuité du fonctionnement de tous les services de secours et de soins aux victimes, évitant ainsi d'augmenter le nombre de morts,
- c) éviter les conséquences induites, c'est-à-dire éviter que des désordres, mêmes limités, dans certaines constructions et installations n'entraînent des répercussions graves pour l'environnement, alourdissant ainsi le bilan du séisme.

Avec ces principes, la protection des biens n'est pas envisagée pour le point a) ci-dessus ; les dispositions prévues pour les points b) et c) y conduisent en général.

Recommandations techniques, d'après document BRGM/AFPS septembre 1990



Cette détermination du niveau minimal est en principe du ressort de la Puissance Publique ; toutefois tout Maître d'ouvrage peut souhaiter une protection supérieure, et faire l'investissement correspondant à la protection de ses biens.

Ces principes sont concrétisés par l'établissement d'une carte définissant un certain nombre de zones. Pour chacune d'elles un "coefficient de zone" variable suivant les catégories de bâtiment.

5-2-1-2 - l'historique des règles parasismiques

Parmi les plus anciennes règles parasismiques certaines ont été basées, pour les calculs, sur l'analogie de l'action du vent et des séismes sur les constructions et définissaient des forces horizontales uniformément réparties sur toute la hauteur.

Il est apparu assez rapidement que les masses et l'accélération qui leur était communiquée, constituaient des facteurs essentiels. Les règles ont évolué vers la définition d'un pourcentage de l'accélération de la pesanteur à appliquer aux masses, coefficient constant sur la hauteur, en d'autres termes les forces horizontales de calcul correspondaient à un pourcentage du poids des constructions.

Les règles françaises élaborées à la suite du séisme d'Orléansville (Chlef aujourd'hui) du 9 septembre 1954 définissaient de tels pourcentages, variables suivant les zones de séismicité et suivant la hauteur des bâtiments. Elles étaient applicables seulement à l'Algérie et sont connues sous l'appellation de règles A.S.55. Ces règles contenaient une nouveauté : la prise en compte des accélérations verticales.

En réalité le comportement dynamique des constructions sous action sismique ne correspond pas à une répartition uniforme des forces horizontales sur la hauteur.

La mise au point d'accéléromètres, l'enregistrement par ceux-ci de données dans des zones sinistrées (El Centro 1940, en particulier) et le développement des moyens de calcul informatique ont permis de tenir compte des caractéristiques dynamiques des constructions en accord avec les observations réalisées dans les zones sinistrées et avec les résultats d'essais en laboratoire.

Après le séisme d'Agadir en 1960, l'élaboration d'un nouveau règlement français a été entreprise. D'abord appliqué sous le nom de PS62 lors de la reconstruction d'Agadir, ce travail a abouti aux règles D.T.U. PS69

applicables à la France Métropolitaine et aux Départements et Territoires d'Outremer. Ce règlement tient compte des caractéristiques dynamiques, y compris pour les calculs simplifiés.

Toutefois les enseignements tirés des constatations effectuées après le séisme d'El Asnam (ex Orléansville, Chlef aujourd'hui) du 10 octobre 1980 ont conduit à compléter les règles PS69 par des addenda publiés en 1982 et à entreprendre l'élaboration de nouvelles règles parasismiques.

5-2-1-3 - les règles D.T.U. PS69 et addenda 1982

Les règles applicables en France sont les règles D.T.U. PS69 et addenda 1982. Comme la plupart des codes, elles concernent les constructions neuves et ne traitent pas du renforcement du bâti existant.

Les obligations d'application concernent les bâtiments suivants :

- toute construction réalisée dans le cadre d'un marché de l'État,
- immeuble de grande hauteur (I.G.H.), arrêté du 18.10.1977,
- établissement recevant du public (E.R.P.) des 1er, 2e, 3e, et 4e catégories ; règlement de sécurité applicable aux établissements suivants (et assimilés),
- magasins et centres commerciaux,
- salle de spectacle, de conférence, de danse, de jeux,
- restaurants et hôtels,
- établissements de soins, de culte, d'enseignement, sportifs,
- administrations, banques, bureaux,
- chapiteaux, tentes, structures gonflables,
- gares.

Le classement en 5 catégories dépend du nombre de personnes admises simultanément dans un établissement; la 5e catégorie n'est pas concernée, c'est celle où le nombre de personnes est le plus faible.

L'arrêté du 6 mars 1981 s'impose pour les habitations :

- individuelles en zone de séismicité 3 des règles PS69, c'est-à-dire maximum 1 étage sur rez-de-chaussée aux Antilles,
- collectives en zone de séismicité 2 et 3 des règles PS69, c'est-à-dire à partir de 2 étages sur rez-de-chaussée aux Antilles et dans certaines zones de la Métropole.

En dehors de ces obligations tout Maître d'Ouvrage peut imposer dans les pièces du marché l'application des règles parasismiques.

Les règles PS69 et addenda 82 contiennent les principes et prescriptions suivants :

- a) dans une première partie :
- la philosophie de la protection,
 - les principes de bonne conception,
 - les principes de calcul, en particulier pour la prise en compte des effets dynamiques.
- b) dans une deuxième partie :
- des règles générales de construction,
 - des règles particulières et dispositions constructives applicables aux différents types de construction, mais plus détaillées pour la maçonnerie et le béton armé, venant en complément des règles courantes,
 - des règles de calcul comportant une méthode pour les bâtiments simples et les éléments permettant de calculer des constructions plus complexes,
 - des prescriptions relatives à la vérification de tous les éléments de structure,
 - ces règles et prescriptions débouchent sur la détermination d'un coefficient sismique à appliquer au poids des constructions pour obtenir les forces horizontales de calcul à leurs divers niveaux.

Ce coefficient est égal au produit : $\alpha \times \beta \times \gamma \times \delta$, où :

α = coefficient d'intensité, correspond au niveau de protection,

β = coefficient de réponse, tient compte des caractéristiques dynamiques de la structure et des conditions de site,

γ = coefficient de distribution, variable sur la hauteur des constructions,

δ = coefficient de fondation, tient compte de l'influence du type de fondations sur le comportement des constructions

- en plus des éléments permettant de déterminer β , γ , δ , cette partie comporte la valeur du coefficient α correspondant au niveau minimal de protection, soit :

zone 0 : $\alpha = 0$

zone 1 : $\alpha = 0,5$

zone 2 : $\alpha = 1,0$

zone 3 : $\alpha = 1,5$

Une carte et une liste des cantons concernés permet de connaître la valeur du coefficient cas par cas.

Pour des raisons pratiques (décisions administratives, économiques), l'unité administrative choisie pour la cartographie est le canton, chaque canton étant classé en totalité dans la zone à risque le plus élevé le concernant, même partiellement ; le contour des zones épouse ainsi les limites des cantons.

c) dans les annexes :

- des renseignements sur la sismicité de la France,
- des notions sur la dynamique des structures et les méthodes de calcul courantes,
- un exemple de calcul.

Evolution des codes parasismiques

Les facteurs d'évolution des codes parasismiques sont essentiellement les suivants :

- recherche théorique et expérimentale,
- enseignements tirés des constatations dans les zones sinistrées,
- meilleure connaissance de l'aléa sismique.

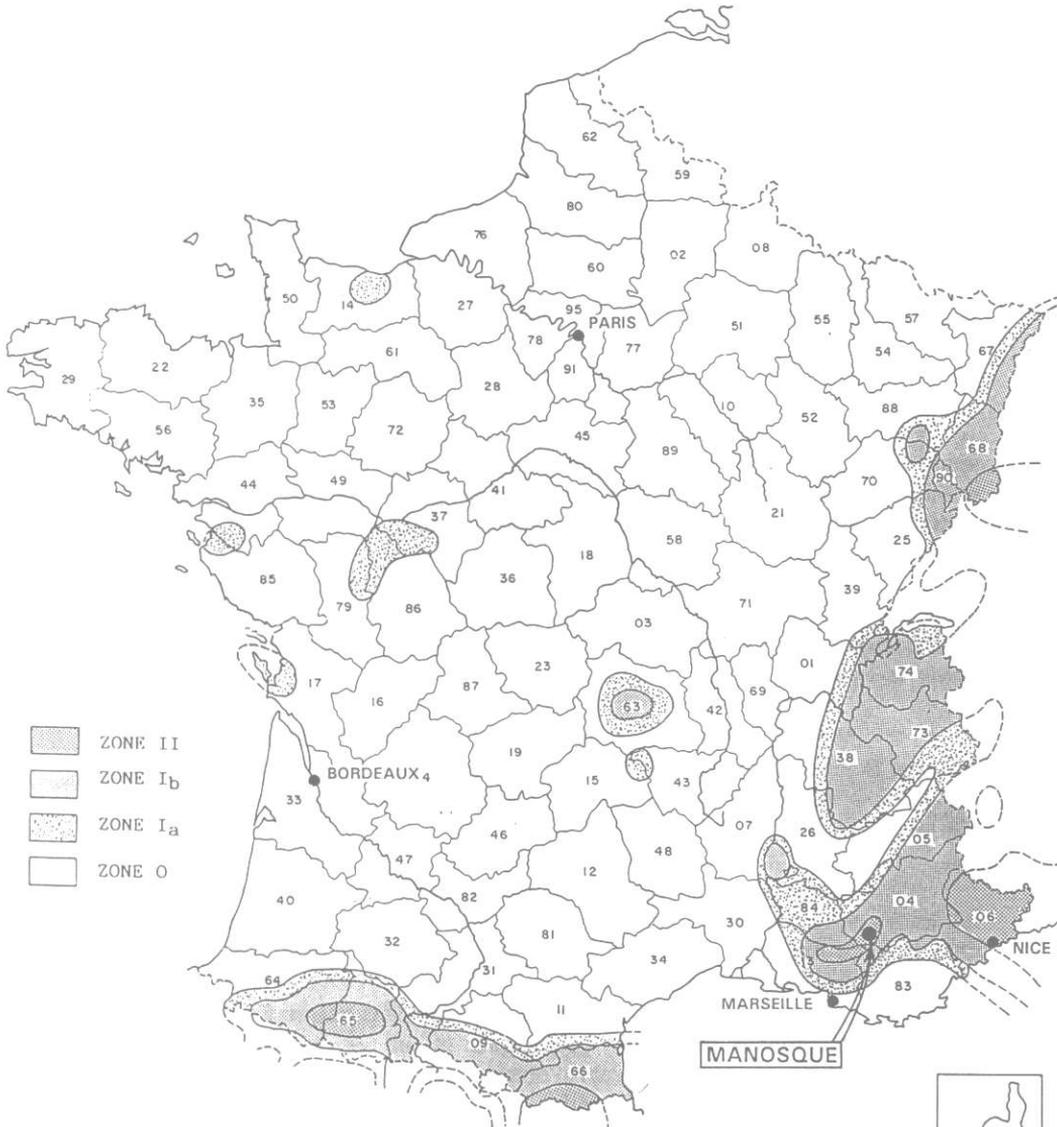
La recherche théorique et expérimentale permet, en particulier, d'approfondir nos connaissances sur le comportement des matériaux dans le domaine plastique jusqu'à l'approche de la rupture. Toutefois, le coût de l'expérimentation, les conditions généralement plus favorables que dans la réalité et la modélisation souvent nécessaire (maquettes à échelle réduite, secousse théorique, ...) en limitent un peu la portée et souvent le nombre.

Les expertises en zones sinistrées sont généralement très riches d'enseignements, les constructions endommagées correspondent à des essais en vraie grandeur, pour une secousse réelle. De plus, ces constructions comportent des imperfections inhérentes au travail sur chantier. La comparaison des constatations avec les résultats d'essais en laboratoire permettent éventuellement de valider ceux-ci et aussi de mieux orienter les recherches futures.

La connaissance de l'aléa sismique peut évoluer par la collecte de toutes les données historiques qui, traitées dans un fichier informatique, permettent de mieux délimiter les zones à risque ; elle peut aussi évoluer par des études de terrain destinées à déterminer les failles susceptibles d'être le siège de secousses sismiques.

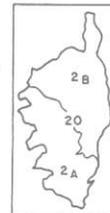
Outre une cartographie d'ensemble plus proche de la réalité, cette évolution peut aboutir à des cartes dites de microzonage, pour des zones d'étendue limitée, tenant compte d'éléments comme la topographie, la nature des sols.

NOUVEAU ZONAGE SISMIQUE DE LA FRANCE
 POUR L'APPLICATION DES REGLES PARASISMISTIQUES
 (OUVRAGES A "RISQUE NORMAL")
 ET LA MISE EN OEUVRE
 DES PLANS D'EXPOSITION AUX RISQUES (1985)



(*) Selon décret n° 91-461 du 14.05.1995
 Voir aussi l'arrêté du 16.07.1992
 (JO du 06.08.1992) pour les ouvrages
 à "risque normal"

0 100 200 km



5-2-1-4 - Le décret du 14 mai 1991

Le décret pour la prévention du risque sismique a été publié le 14 mai 1991. Ce décret impose d'adopter des mesures pour toutes les constructions et installations qui sont réparties en deux catégories :

- l'une dite à risque normal,
- l'autre dite à risque spécifique.

Pour la catégorie à risque normal, 5 zones de sismicités 0, Ia, Ib, II et III sont définies, et la liste des cantons concernés est publiée au Journal Officiel du 17 mai 1991 (*voir en annexe 2*).

Pour la catégorie à risque spécifique il est demandé une étude particulière, quelle que soit la zone d'implantation, afin d'éviter les risques induits. Une telle procédure est déjà utilisée depuis de nombreuses années pour la construction des centrales nucléaires par exemple.

5-2-1-4-1 - les ouvrages à risque spécial

Pour la plupart des projets, l'étude commence par l'analyse la plus approfondie possible de l'histoire géologique de la région. Les dernières étapes consistent à calculer les valeurs des accélérations (ou vitesses) et les durées des ébranlements sismiques prévisibles pour chaque projet.

Votre Rapporteur a rencontré les principaux spécialistes du secteur nucléaire français, constructeurs et autorité de sûreté. Vous trouverez en annexe leurs déclarations lors de la journée d'auditions ouvertes à la presse que j'avais initiée le 16 février 1995.

Mais il me semble important de reprendre l'analyse qu'en font Jacques Betbeder-Matibet du Service des Etudes et Projets thermiques et nucléaires d'EDF et Michel Livolant du Département des études mécaniques et thermiques du C.E.N. Saclay (C.E.A.).

"La prise en compte des séismes dans la conception des centrales nucléaires est actuellement imposée par les autorités responsables de la sûreté dans la quasi-totalité des pays qui sont engagés dans un programme nucléaire civil. Les raisons en sont les suivantes :

- l'appréciation du risque sismique dans une région donnée se fonde sur les résultats des études géologiques et sur les données historiques disponibles. Les renseignements ainsi obtenus sont souvent insuffisants pour permettre une appréciation quantitative du risque, exprimée en termes de probabilité ; en effet, les failles de l'écorce terrestre susceptibles de provoquer des séismes, peuvent ne pas être visibles dans les terrains superficiels et

échapper ainsi à l'analyse géologique ou géophysique ; d'autre part, la période couverte par les observations historiques (un ou deux millénaires au plus et souvent beaucoup moins) est trop courte pour qu'on puisse chiffrer en probabilité le risque de séisme important à partir des fréquences observées, sauf dans les régions où l'activité sismique est intense. Il convient donc de ne pas exclure la possibilité d'un séisme, même dans des zones réputées non sismiques ; on connaît d'ailleurs plusieurs exemples de zones considérées comme telles jusqu'à ce qu'un séisme notable s'y soit produit de façon imprévue.

- les effets des séismes, et notamment ceux dûs aux composantes horizontales du mouvement, sollicitent les ouvrages d'une façon particulière, qui n'a généralement pas d'équivalent dans les conditions de service normal. Ainsi, la plupart des bâtiments sont soumis à des charges de service essentiellement verticales, dues au poids propre et aux surcharges d'exploitation ; le dimensionnement requis pour résister à ces charges de service peut être insuffisant pour reprendre les efforts de cisaillement et de flexion induits par les forces d'inertie horizontales engendrées par un séisme.

Les coefficients de sécurité pris dans le dimensionnement vis-à-vis des charges de service ne sont donc pas a priori suffisants pour garantir que l'ouvrage peut résister à des efforts d'origine sismique lesquels doivent faire l'objet d'une étude et d'un dimensionnement spécifiques.

- une particularité du séisme par rapport aux autres accidents externes qui sont envisagés dans les études de sûreté (explosion d'un stockage d'hydrocarbures, chute d'avion) est qu'il sollicite simultanément tous les bâtiments et matériels de la centrale, alors que les autres accidents ont des effets essentiellement locaux. Il convient donc que tous les éléments jouant un rôle dans la sûreté de l'installation soient protégés contre l'effet du séisme, ce qui peut avoir une influence importante sur leur conception.

Les critères actuellement utilisés pour l'analyse sismique des centrales nucléaires s'inspirent, dans la majorité des pays construisant des réacteurs de la filière eau légère, et notamment en France, des pratiques américaines codifiées par l'USNRC (United States Nuclear Regulatory Commission) pour ce type de réacteurs. Ces pratiques ne constituent pas un code réglementaire complet, comme le code ASME (American Society of Mechanical Engineers) applicable aux chaudières nucléaires, mais plutôt un ensemble de critères de sûreté à respecter et de règles de l'art ayant obtenu le consensus d'une majorité d'experts. Elles sont évolutives et présentent des lacunes sur les points où un consensus n'a pu être dégagé.

Devant cette situation, beaucoup de pays, dont la France, ont entrepris actuellement un effort de réglementation qui vise, tout en s'appuyant sur l'expérience américaine, à :

- combler les lacunes existantes,

- adapter les prescriptions réglementaires aux codes de construction de génie civil et de mécanique en vigueur dans les différents pays,
- à tenir compte du caractère spécifique de la sismicité de certaines régions, qui peut différer par certains aspects de la sismicité de type californien qui a servi de base aux règles américaines".

En France, EDF soumet ses centrales au contrôle de l'autorité de sûreté, Service Central de Sûreté des Installations Nucléaires transformé en Direction de la Sûreté des Installations Nucléaires lorsque le gouvernement, en 1991, a suivi les recommandations de l'excellent rapport établi pour l'Office parlementaire d'évaluation par mon collègue Claude Birraux en 1990.

"Pour un site donné, la détermination du niveau sismique auquel les installations doivent résister s'effectue de la manière suivante :

- on détermine le "séisme maximal historique vraisemblable" (SMHV) qui est le plus fort séisme ayant été ressenti dans la "province sismotectonique" du site (région présentant une unité du point de vue structure géologique et activité sismique) dont on déplace le foyer au point le plus proche du site compatible avec la structure des accidents géologiques (failles) qui l'ont engendré. Le SMHV est caractérisé par son niveau d'intensité et par l'estimation de sa magnitude et de sa profondeur de foyer,
- à partir du SMHV on détermine le "séisme majoré de sûreté" (SMS) en majorant le niveau d'intensité d'une unité.

Au point de vue des critères de sûreté, on impose que :

- en cas de SMS, la centrale doit pouvoir être arrêtée et maintenue en état d'arrêt sûr,
- en cas de séisme égal à la moitié du SMS, tous les éléments ayant un rôle de sûreté doivent pouvoir continuer à fonctionner sans avoir subi aucun dommage, ce qui implique que la centrale pourra être remise en exploitation après une inspection détaillée et les réparations des dégâts éventuellement subis par les éléments ne jouant pas un rôle de sûreté et qui peuvent ne pas avoir été dimensionnés pour résister au séisme.

Pour l'exécution des calculs, ces séismes sont définis par un spectre de réponse qui est un diagramme fournissant les valeurs maximales des réponses en accélération, vitesse et déplacement d'un oscillateur simple (système masse-ressort-dash-pot schématisant une structure simple à un degré de liberté) en fonction de sa fréquence propre et de son taux d'amortissement, lorsque le support de cet oscillateur est animé du mouvement vibratoire correspondant au séisme considéré. Ce mode de représentation du séisme est plus parlant pour l'ingénieur qu'un accélérogramme, mais c'est à partir de l'étude d'accélérogrammes réels que les spectres de réponse ont été construits.

Faute d'enregistrements obtenus en France, les accélérogrammes utilisés pour définir le spectre proviennent d'enregistrements californiens.

La méthode de calcul la plus simple pour étudier l'effet des séismes consiste à se donner a priori la répartition des accélérations, et donc des forces d'inertie, dans la structure et à en déduire les efforts internes nécessaires pour équilibrer ces forces. Cette méthode suffit pour étudier le cheminement et la transmission des efforts dans la structure et permet le plus souvent de mettre en évidence les points où des renforcements sont nécessaires. Elle est cependant plus qualitative que quantitative, car la répartition réelle des forces d'inertie dépend, non seulement du mouvement sismique, mais aussi des caractéristiques dynamiques de la structure et le fait de se donner cette répartition a priori peut conduire à négliger des phénomènes d'amplification dynamique (résonance, couplage) difficiles à prévoir. Son emploi demande donc l'utilisation de coefficients de sécurité compatibles avec l'incertitude des hypothèses, ce qui peut conduire à adopter des dimensionnements peu économiques.

Cette méthode simpliste mais peu coûteuse reste utile au niveau de l'avant-projet et même, au niveau du projet définitif, pour certains composants d'un faible coût de fabrication, pour lesquels le gain sur le dimensionnement que l'on pourrait obtenir en utilisant une méthode d'analyse plus fine serait inférieur au coût de cette analyse ; c'est notamment le cas pour certaines tuyauteries de petit diamètre.

Ce cas mis à part, la grande majorité des éléments devant résister au séisme font l'objet d'un calcul dynamique, dans lequel les forces d'inertie sollicitant la structure résultent d'un calcul prenant en compte ses caractéristiques dynamiques. On utilise des modèles schématisant la structure étudiée, soit au moyen d'un ensemble de masses reliées entre elles par des ressorts, soit au moyen d'un découpage en éléments finis. Le mouvement sismique est imposé à la base du modèle qui peut être, pour un matériel, l'élément de Génie Civil auquel est fixé son support, et, pour un bâtiment, l'interface sol/fondation si le sol est suffisamment rigide pour qu'on puisse négliger ses déformations ou un substratum rocheux situé à une certaine profondeur, si les couches superficielles sont susceptibles de se déformer de façon appréciable. Dans ce dernier cas, un certain volume de sol doit être représenté dans le modèle.

Ces calculs dynamiques peuvent s'effectuer soit par une intégration numérique dans le temps des équations du mouvement, soit par décomposition de la solution suivant les modes propres de vibration de la structure et combinaison des réponses de ces modes, qui se comportent comme des oscillateurs simples indépendants les uns des autres (cette propriété montre l'intérêt de la notion de spectre de réponse). La première méthode est la plus

puissante, car elle permet de prendre en compte des non-linéarités de comportement; la seconde, qui n'est applicable que dans l'hypothèse d'un comportement linéaire élastique, a l'avantage de mettre en évidence les fréquences sensibles et les risques de résonance ou de couplage, ce qui est très utile au stade de la conception.

Les efforts et contraintes résultant de ces calculs, ajoutés à ceux provenant des autres cas de chargement dont l'action est supposée pouvoir s'exercer pendant le séisme, font l'objet des vérifications prescrites par les règlements utilisés (essentiellement le code ASME pour la chaudière, les règles CCBA 68 pour les ouvrages en béton). Il est probable que le fait d'admettre, pour les contraintes d'origine sismique, les mêmes limites admissibles que celles fixées par ces règlements pour des cas de charge essentiellement statiques est une hypothèse pénalisante pour les structures ductiles, c'est-à-dire possédant des capacités importantes de déformation avant rupture, en raison du caractère transitoire de ces contraintes. En attendant que des critères mieux adaptés soient disponibles, ce qui demandera d'importantes recherches expérimentales, il a paru prudent de s'en tenir à cette hypothèse.

Pour ce qui concerne les cas de charge dont l'effet est combiné à celui du séisme, il faut signaler que l'on suppose la simultanéité du séisme majoré de sûreté et de l'accident de rupture du circuit primaire principal, ce qui est une hypothèse très pénalisante puisque le circuit primaire est conçu pour ne pas se rompre en cas de séisme. Les efforts dus à la rupture étant généralement supérieurs à ceux dus au séisme, il en résulte que le dimensionnement du circuit primaire n'est que peu influencé par le séisme.

Certains matériels sont étudiés, non par le calcul, mais par des essais sur des tables vibrantes qui permettent de reproduire les secousses que subiraient ces matériels en cas de séisme. Il s'agit des matériels dont le bon fonctionnement doit être garanti pendant le séisme : matériels électriques de commande, vannes de sécurité, mécanismes assurant la chute des barres de contrôle".

Les essais sur table vibrante ont été réalisés, dans la majorité des cas, au Centre de Saclay du CEA. La table Vésuve, qui mesure 3x3 m et peut soumettre des masses de l'ordre de 15 tonnes à des accélérations de l'ordre de 2 g, fut longtemps la plus grande table vibrante existant en France. Mais le CEA a réalisé depuis le laboratoire TAMARIS, en concertation avec EDF et Framatome, qui regroupe en fait un ensemble de tables : Azalée, Vésuve, Mimosa et Tournesol. Tamaris qui a été inauguré le 30 mai 1990 continue à se développer pour répondre aux besoins de la prévention sismique. La table Azalée conçue au départ pour entraîner une charge de 100 tonnes à la vitesse de 1 m/sec, selon 2 axes (x,y) a été améliorée en 1991 pour disposer de 6 degrés

de liberté (x,y,z, tangage, roulis et lacet). C'est donc l'instrument idéal pour les essais dynamiques comme les murs de réaction le sont pour les applications de génie civil.

"L'influence du séisme est relativement faible sur la conception du circuit primaire principal ; elle se traduit essentiellement sur le dimensionnement des supportages qui doivent, soit être renforcés, soit être munis de dispositifs limiteurs de déplacement : butées avec jeux réduits, amortisseurs permettant les mouvements lents dûs aux dilatations thermiques, mais bloquant les mouvements rapides dûs au séisme. Pour les autres circuits, l'influence peut être plus importante, mais c'est aussi au niveau des supportages que des dispositions sont prises pour assurer la tenue au séisme. Par contre, certains matériels doivent être considérablement renforcés ; c'est le cas des réservoirs de stockage de liquides, pour lesquels le séisme représente le cas de charge le plus important en raison des efforts de flexion qu'il provoque et du risque de flambage des parties comprimées dont il convient de se protéger.

Pour les bâtiments, la prise en compte du séisme se traduit par un renforcement du ferrailage dans les sections les plus sollicitées et par des dispositions constructives visant à assurer une bonne transmission des efforts entre les différentes parties de l'ouvrage, sans accumulation excessive de contraintes en certains points, et à garantir une ductilité suffisante des différents éléments. Le gousset de l'enceinte de confinement, qui assure la liaison entre le radier et le bas de l'enceinte, est un exemple de section dont le ferrailage est significativement influencé par les efforts d'origine sismique.

Tant qu'on ne considère que des séismes d'un niveau d'accélération maximale inférieur à 0,2-0,25 g (ce qui correspond à des intensités macrosismiques de l'ordre de VIII, c'est-à-dire à des dégâts déjà importants dans des bâtiments ordinaires), le surcroît de dimensionnement nécessaire pour assurer la tenue des ouvrages et matériels reste relativement faible ; au-delà de cette limite, il croît de façon rapide.

Il a donc paru judicieux, pour des sites présentant un risque sismique important, ce qui est le cas des sites actuellement étudiés pour l'exportation (Afrique du Sud, Iran), et peut-être aussi de certains sites français susceptibles être retenus dans l'avenir, de mettre au point de nouvelles dispositions visant à réduire les efforts sismiques.

Une idée très séduisante, proposée par EDF et une société de BTP, a été récemment avancée dans ce but. Elle consiste à assouplir le supportage des bâtiments, de façon à abaisser les fréquences de résonance dans une zone où les efforts sismiques sont réduits. Pratiquement, il faut atteindre 1 Hz pour qu'une telle disposition soit efficace ; ce résultat peut être obtenu en plaçant sous le

radier des appuis constitués de blocs de caoutchouc spécial fretté, éventuellement recouverts d'une plaque de friction. Sous l'action des composantes horizontales du mouvement sismique, ces blocs travaillent au cisaillement et le bâtiment est animé d'un mouvement oscillatoire de translation ; pour des séismes extrêmement forts, la présence des plaques de friction à la partie supérieure des appuis permet d'écarter les accélérations subies par le bâtiment à une valeur d'environ 0,2 g, en rendant possible le glissement d'ensemble du bâtiment sur ses appuis, le coefficient de frottement des plaques étant voisin de 0,2.

Bien entendu, si les accélérations et les efforts sont réduits, les déplacements sont augmentés ; comme les bâtiments d'une centrale nucléaire présentent entre eux de nombreuses liaisons (tuyauteries), il faut, pour annuler l'effet des déplacements différentiels entre bâtiments, que ce soit l'ensemble de la centrale qui se déplace en bloc sur des appuis, ce qui implique de lier entre eux les radiers des différents bâtiments ou de réaliser un radier général.

Cette idée est à rapprocher de la pratique, très répandue pour les immeubles de grande hauteur, consistant à assouplir le premier étage. Elle n'est donc pas nouvelle dans son principe. Actuellement, des études sont activement menées pour préciser la technologie des appuis et vérifier l'applicabilité de cette conception à un projet concret ; des essais de validation ont été effectués sur les tables vibrantes du CEA et leurs résultats confirment les prédictions théoriques". La centrale nucléaire de Koeberg en Afrique du Sud utilise déjà cette nouvelle technique.

On assiste actuellement dans le monde à une évolution rapide dans tous les domaines : analyse des séismes passés, études géologiques et géotechniques, physique des mouvements sismiques, caractérisation du comportement des sols et matériaux sous chargement dynamique, calcul de structures, essais sur tables vibrantes, conception et réalisation de dispositifs spéciaux.

Cette évolution est suscitée en grande partie par les besoins de l'industrie nucléaire, dont les exigences en matière de sûreté dépassent de loin les précautions habituellement prises pour les ouvrages courants. Elle se concrétise par :

- le développement des réseaux de sismographes pour mouvements forts dans les pays à forte activité sismique, qui a permis d'augmenter le nombre des enregistrements significatifs et d'améliorer la compréhension des mouvements sismiques,
- les progrès spectaculaires des méthodes de calcul, dus à l'apparition d'ordinateurs de plus en plus puissants,

- les programmes de recherche très importants lancés dans différents pays. Pour ne citer qu'un exemple, le Japon a entrepris l'étude et la réalisation d'une "super table vibrante" pouvant supporter mille tonnes.

Tout ceci a été repris en grande partie dans l'arrêté du 10 mai 1993, concernant les installations énumérées à la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement sous la mention "servitudes d'utilité publique" et les autres installations classées pour lesquelles le préfet a constaté qu'elles présentent en cas de séismes des dangers aggravant notablement les conséquences premières du séisme.

L'exploitant d'une de ces installations doit évaluer de manière déterministe le ou les "séismes maximaux historiquement vraisemblables" (SMHV).

A partir du SMHV est déterminé le "séisme majoré de sécurité" (SMS) en majorant ce niveau d'intensité d'une unité. Le SMS est caractérisé par un spectre de réponse, c'est-à-dire la courbe représentant l'amplitude maximale de la réponse d'un oscillateur simple en fonction de la fréquence.

L'exploitant doit, en outre, établir la liste des éléments importants devant continuer à assurer leur fonction de sûreté pour chacun des SMS.

5-2-1-4-2 - les ouvrages à risque normal

L'arrêté du 16 juillet 1992, relatif aux mesures préventives et aux règles de construction parasismique applicables aux constructions à risque normal, et dont les dispositions sont applicables depuis le 1^{er} août 1993 (sauf pour les constructions individuelles au 1^{er} août 1994), prévoit :

- quatre classes de bâtiments,
- les règles applicables : règles PS 69 et addenda 82,
- le niveau minimal de protection.

Les classes de bâtiments sont les suivantes :

classe A :

- les bâtiments dans lesquels est exclue toute activité humaine nécessitant un séjour de longue durée et non visés dans une autre classe

classe B :

- les habitations individuelles et collectives (de moins de 28 mètres de hauteur),

- les E.R.P. des 4e et 5e catégories (articles R. 123.2 et R. 123-19 du code de la construction et de l'habitat),
- les divers bâtiments, à fréquentation peu élevée (au plus 300 personnes simultanément), comprenant :
 - . les bâtiments industriels
 - . les bâtiments à usage de bureaux, non classés E.R.P.

classe C :

- les immeubles de grande hauteur (plus de 28 mètres),
- les E.R.P. des 1ère, 2e et 3e catégories,
- les divers bâtiments pouvant accueillir simultanément plus de 300 personnes et notamment :
 - . les bâtiments industriels
 - . les bâtiments à usage de bureaux, non classés E.R.P.
- les bâtiments des établissements sanitaires et sociaux, autres que ceux prévus en classe D

classe D :

- les bâtiments dont la protection est primordiale pour les besoins de la protection civile, de l'ordre public et de la défense, dont :
 - . les bâtiments civils et militaires, abritant les moyens de secours en personnels et matériels et présentant un caractère opérationnel,
- les bâtiments contribuant au maintien des communications et notamment :
 - . les centres de télécommunications,
 - . les centres de diffusion et de réception de l'information,
 - . les relais hertziens,
 - . les tours de contrôle des aéroports,
 - . les salles de contrôle de la circulation aérienne,
- les bâtiments des établissements sanitaires et sociaux, dispensant des soins de courte durée ou concernant des affections graves pendant leur phase aiguë en médecine, chirurgie et obstétrique,
- les bâtiments de production et de stockage d'eau potable,
- les bâtiments des centres de distribution publique de l'énergie,
- les bâtiments des centres météorologiques.

Un tableau définit le niveau minimal de protection (valeur de a_n : accélération nominale) en fonction des zones de sismicité et des classes de bâtiments. Aucune disposition n'est requise pour les bâtiments de classe A en

toutes zones et pour toutes les classes de bâtiments en zone 0. Pour une secousse d'intensité donnée, la catégorie B correspond au niveau minimal pour la sauvegarde des vies humaines. Pour la catégorie C, la protection prévue est supérieure à cette dernière, compte tenu de l'importance de la fréquentation et pour la catégorie D, la protection est maximale pour conserver la possibilité de secourir et soigner les victimes.

La valeur du coefficient à appliquer pour respecter ces impératifs est donc définie par le tableau ci-après :

ZONE	CLASSES			
	A	B	C	D
0	0	0	0	0
1a	0	0,5	0,5	0,75
1b	0	0,5	0,75	1,0
2	0	1,0	1,2	1,5
3	0	1,5	1,7	2,0

De plus, pour éviter d'effectuer des calculs pour de petits bâtiments de classe B, il est prévu dans l'arrêté la possibilité d'utiliser pour ces constructions des règles simplifiées, à la place des règles générales, telles que les règles PS MI 89 révisées 92. Les règles, entérinées par le groupe D.T.U. en décembre 1989, ont été publiées en mai 1990. Elles concernent les maisons individuelles et bâtiments assimilés, comportant au plus 2 niveaux sous-sol, et éventuellement un comble habitable. Elles comportent essentiellement des conditions d'implantation et des dispositions constructives pour les constructions réalisées en maçonnerie, bois, métal et grands panneaux préfabriqués en béton.

5-2-1-5 - la réglementation parasismique française en cours d'agrément

La réglementation future aura pour base les recommandations A.F.P.S., dont la première partie a été publiée dès le 14 Juin 1990, et aura un champ d'application plus étendu que celui des règles PS69.

La première partie devrait comporter les principes essentiels applicables à tous les types de constructions :

- domaine d'application, détermination de la sécurité,
- règles générales de conception,
- mouvement sismique de calcul,
- action d'ensemble, modélisation, méthodes de calcul,
- actions locales,
- règles de vérification.

On retrouvera pour l'essentiel les grandes lignes des règles PS 69, en particulier la possibilité d'utiliser des méthodes simplifiées pour certaines constructions, mais il a été tenu compte de l'état actuel des connaissances et parmi les différences les plus importantes, on peut mentionner :

- a_n : accélération nominale pour définir le niveau minimal de protection à la place du coefficient d'intensité,
- q : coefficient de comportement variable suivant les matériaux de structure et les dispositions constructives adoptées.

Une deuxième partie serait constituée d'un ensemble de chapitres traitant du calcul et des dispositions constructives complémentaires des divers procédés et types de constructions :

- fondations,
- maçonneries,
- béton armé et béton précontraint,
- constructions métalliques,
- construction mixte,
- préfabriqué en béton armé ou précontraint,
- bois,
- ouvrages de soutènement,
- bâtiments,
- constructions industrielles,
- réservoirs,
- équipements,
- réseaux.

Les règles parasismiques ont une incidence économique. La conception et le calcul viennent en complément des règles courantes applicables en situation normale et, de ce fait, engendrent généralement un surcoût, bien que le terme soit à prohiber, de la construction.

Ce surcoût comporte essentiellement trois postes :

- 1 - études complémentaires,
- 2 - dispositions constructives minimales,
- 3 - augmentation des quantités de matériaux à mettre en oeuvre.

L'importance de ces postes dépend de plusieurs facteurs :

- a - conception architecturale,
- b - conception technique,
- c - niveau de protection imposé.

Le surcoût est donc variable, de quelques pour cent (certains calculs le tiennent même pour négligeable, voire nul) à quelques dizaines de pour cent

du montant de la construction seule, pourcentages moindres vis-à-vis de l'investissement global et souvent minimes vis-à-vis des pertes en vies humaines et économiques que l'absence de dispositions parasismiques pourraient entraîner.

Les exemples ci-après peuvent servir de points de repère :

- Surcoût minime :

. Maisons individuelles (dans le cadre d'application des règles PS MI 89) ;

. Immeuble de grande hauteur pour lequel l'action du vent est prépondérante vis à vis de l'action sismique (poste 1 + éventuellement 2)

- Surcoût faible :

Bâtiment d'habitation de forme simple (a), contreventement bien disposé (a, b) système constructif bien adapté (b), situation en zone Ia ou Ib (c) (incidence faible des postes 1 et 3)

- Surcoût plus élevé :

. Bâtiment industriel qui, du fait d'impératifs fonctionnels, est complexe, en plan et en élévation, avec appareillages lourds en partie supérieure, planchers partiels, et pour lequel le Maître d'Ouvrage impose une protection supérieure au niveau minimal. Toutefois dans ce cas le surcoût peut être faible par rapport à l'investissement global.

Les progrès des connaissances en matière de construction parasismique ont fait apparaître que certains des concepts des Règles PS 69 étaient dépassés. Il était donc important que de nouvelles règles soient mises en vigueur en France sans plus attendre. La norme PS 92 pallie les insuffisances des règles PS 69/82 et apporte une amélioration très sensible de la fiabilité des constructions.

Le niveau de protection visé

L'objectif principal des règles est d'assurer la protection des vies humaines, avec une faible probabilité de ruine des bâtiments par écoulement pour un niveau d'agression nominal du séisme. Un deuxième objectif important est la limitation des dommages matériels, mais, dans la mesure où sont admises de larges incursions des matériaux dans leur domaine plastique, une proportion un peu plus importante de bâtiments peut ne pas être réparable après l'épreuve d'un séisme. La probabilité de réparabilité s'améliore rapidement si on considère des niveaux inférieurs au niveau nominal. En revanche, la probabilité de ruine par écoulement augmente rapidement quand le niveau d'agression dépasse le nominal.

L'action sismique est considérée comme accidentelle et les coefficients de sécurité partiels adoptés sont ceux relatifs à cette situation. Néanmoins, afin de répondre aux objectifs fixés, on a cherché à éviter les risques de rupture fragile au voisinage de l'accélération nominale en utilisant des coefficients de sécurité partiels complémentaires (par exemple pour l'effort tranchant et la contrainte de compression dans les murs en béton armé), et on a pénalisé les structures présentant des irrégularités de nature à augmenter le risque de comportements mal maîtrisés.

Enfin, comme dans les règles PS 69/82, l'importance socio-économique du bâtiment considéré est prise en compte par une modulation de l'accélération nominale. Cette disposition est d'ordre réglementaire, car rendue obligatoire par l'arrêté du 16 juillet 1992, paru le 6 août 1992, pris en application du décret du 14 mai 1991 relatif à la prévention du risque sismique.

La couverture du risque sismique

La norme PS 92 vise à améliorer de manière significative la couverture du risque sismique par rapport aux Règles PS 69/82 :

- Elle apporte des éléments très complets et nouveaux concernant les fondations et les problèmes liés au sol : la prévention des risques de liquéfaction des sols et d'instabilité des pentes, la prise en compte des effets amplificateurs liés à la topographie, des méthodes d'analyse de l'interaction dynamique sol-structure, la définition de l'action des sols sur les niveaux enterrés des bâtiments. Les différents types de fondations usuelles des bâtiments sont traités.

- En ce qui concerne les dispositions constructives, elles concernent essentiellement les ossatures en béton armé et les murs en maçonnerie, et, par rapport aux Règles PS 69/82, elles évoluent dans le sens d'une plus grande exigence, justifiée par l'expérience acquise, et apportent des compléments indispensables pour traiter un plus grand nombre de cas.

- Elle apporte une meilleure différenciation de la prise en compte de la ductilité en fonction des matériaux et des types de structures : cette modulation apparaît par le biais d'un coefficient de comportement qui dépend du matériau, du type de contreventement, de la régularité du bâtiment et, dans certains cas, des dispositions constructives.

- Les méthodes de calcul proposées, dont le niveau de simplification dépend de la régularité du bâtiment, imposent une modélisation plus fine dans le cas des bâtiments irréguliers, notamment pour une meilleure prise en compte de la torsion.

- Les différents types de constructions (béton, acier, etc.) sont traités de façon beaucoup plus complète, tant du point de vue de leur conception générale que de leurs dispositions constructives. Les constructions à murs porteurs en béton armé, qui n'étaient pas spécifiquement traités dans le texte PS 69/82 malgré leur très large usage en France, font l'objet de spécifications détaillées. De même, les constructions métalliques et en bois font l'objet de traitements spécifiques.

Incidence sur l'économie des projets

Les comparaisons faites avec les Règles PS 69/82 montrent que les actions sismiques de calcul diffèrent peu entre les deux textes pour les portiques en béton armé, qu'elles augmentent sensiblement pour les murs en béton armé et en maçonnerie, mais qu'elles peuvent être plus ou moins fortes pour les structures en charpente métallique selon le type de contreventement utilisé. De façon générale, les structures moins ductiles sont pénalisées, et dans la très grande majorité des cas, les nouvelles valeurs de la résistance requise sont supérieures à celles obtenues par l'application des Règles PS 69/82, l'augmentation résultante restant néanmoins raisonnable.

Il apparaît que les majorations d'actions les plus sensibles, auxquelles conduit l'application des nouvelles règles, concernent les constructions dont le contreventement est assuré par des murs rigides en béton (refends, pignons, cages,...). Ce parti constructif est presque retenu systématiquement dans les bâtiments à usage d'habitation.

Perspectives d'évolution

Néanmoins la rédaction de ce texte et sa discussion ont bien montré qu'il subsistait des zones d'ombre. Ainsi, les précédentes spécifications sont susceptibles d'être révisées dès que des avancées suffisamment significatives donneront matière à les améliorer.

Un Eurocode 8 est en cours de réalisation, 6 groupes de travail de 6 personnes y travaillent. Dans cinq des six groupes figurent un Français, mais il faudra au moins encore un an de travail, ce qui semble bien tardif pour une bonne application !

Dans cette perspective, on doit compter sur des travaux du Comité Européen de Normalisation (CEN) où s'élabore l'Eurocode 8 relatif aux constructions en zone sismique. Cet Eurocode sera publié dans un premier temps sous forme de norme expérimentale (ENV). Bien que le texte Eurocode 8 ne soit pas complet actuellement, on peut juger qu'en ce qui concerne les orientations principales, il y aura une assez bonne correspondance entre les deux textes. Néanmoins, des différences subsistent soit dans le détail, soit sur des sujets

particuliers tels les murs porteurs en béton armé pour lesquels les schémas de justification diffèrent. Pour devenir applicable, l'Eurocode 8 (ENV) devra faire l'objet d'un Document d'Application Nationale (DAN). Ce document devra s'attacher à concilier les dispositions de l'Eurocode 8 et des Règles PS 92.

5-2-1-6 - la situation à l'étranger

Dans son ouvrage paru en 1982, "Les tremblements de terre", le sismologue Bruce A. Bolt s'intéresse tout particulièrement aux installations de sécurité dans les hôpitaux et les écoles :

"L'une des graves conséquences du séisme de San Fernando, le 9 février 1971, en Californie méridionale, a été le nombre des hôpitaux endommagés. Certains des bâtiments du vieil hôpital d'Olive View, construit en maçonnerie, s'écroulèrent. Heureusement ils étaient vides à ce moment. Inquiétantes aussi ont été les insuffisances constatées au nouvel hôpital d'Olive View, qui était construit en béton armé : le premier étage du Service de Psychiatrie a été complètement cisailé, les principaux services généraux de l'hôpital ont été gravement endommagés et il a fallu les démolir plus tard (il n'y eut pourtant que deux morts à Olive View). Le comité du *Structural Engineers Association of Southern California* émit l'opinion suivante : "*en ce qui concerne les forces latérales, la conception de la construction du nouvel hôpital d'Olive View correspondait en général aux normes existant à l'époque. Pour les deux unités, des défections se produisirent dans les piliers de soutènement, suite à l'augmentation de la charge verticale liée aux accélérations verticales du sol et suite aux fortes accélérations latérales qui ont entraîné des contraintes sévères de cisaillement et de torsion*". Au Sud-Est d'Olive View, vers le Nord-Est de la vallée de San Fernando, ainsi que dans la zone macrosismique du choc de 1971, il y avait un hôpital de la Veteran Administration. Le centre fut créé en 1925 et, en février 1971, il était formé de 47 bâtiments séparés et de six services supplémentaires, ce qui constituait un complexe hospitalier de 420 lits, plus une unité de 36 lits de soins à domicile. Le tout était situé à moins de 5 kilomètres de la zone de rupture de la faille observée lors du séisme. Des recherches ultérieures ont établi que les dégâts avaient été causés par les secousses sismiques et non par suite directe du mouvement d'une faille locale. L'inspection des bâtiments de l'hôpital montra que 26 constructions et leurs annexes, construites avant 1933, avaient souffert de très grands dommages structuraux. Quatre de ces constructions furent complètement détruites pendant les secousses, tuant 38 personnes. Les constructions édifiées après 1933 et celles qui avaient des murs de maçonnerie ou en béton armé résistant bien au cisaillement, ne s'effondrèrent pas. Il fut décidé en 1972 d'abandonner cet emplacement et depuis, la plupart des constructions ont été démolies. Au total, quatre grands hôpitaux furent sérieusement endommagés en 1971. Suite à ces événements, il fut rapidement décidé de lancer une étude pour que des règles de construction hospitalière parasismique soient appliquées aux États-Unis.

Un programme d'investigation fut lancé dans tous les hôpitaux de la Veteran Administration afin d'évaluer le risque sismique et de décider des mesures éventuelles de renforcement des bâtiments. Les experts géotechniciens firent des études géologiques et sismologiques des sites, aussi bien pour ceux déjà construits que pour ceux projetés : ils suivirent une procédure semblable à celle énumérée dans l'encadré. Le but de ces études était de localiser tout risque géologique particulier et aussi d'établir les paramètres sismiques décrivant les fortes secousses du sol que le site pourrait avoir à supporter. Ces paramètres sismiques ont servi de base aux études et aux analyses des ingénieurs. Certains équipements, bien entretenus et très utiles à la Veteran Administration, n'ont pas subi les tests de façon satisfaisante; on les a évacués et démolis : il fallait qu'une structure, après modification ou renforcement, soit capable de résister à un niveau de secousse du sol raisonnablement prévisible ; on admettait pourtant qu'elle pût subir quelques dégâts architecturaux. En Californie, certaines constructions ne correspondaient pas à cette règle et il n'était pas possible de les améliorer de façon économiquement acceptable. Elles furent évacuées et démolies. Une exigence propre aux hôpitaux -peut-être plus spécifique que pour les autres équipements publics- est qu'ils doivent rester opérationnels après les séismes. Les blessés et les malades doivent pouvoir y être traités en urgence.

Un hôpital ne requiert pas un fonctionnement parfait après les secousses mais les services d'urgence et les moyens d'accès doivent rester utilisables. Examinons, par exemple, l'alimentation électrique. Un dispositif doit être prévu pour fournir la puissance électrique indispensable aux équipements vitaux de l'hôpital après le séisme, sans oublier les unités de ventilation, mais la blanchisserie et les équipements de nettoyage n'ont pas besoin d'être alimentés. Une réserve de secours de carburant de plusieurs jours doit être maintenue dans des réservoirs conçus pour résister à la même intensité sismique que l'hôpital lui-même. Le conditionnement d'air doit pouvoir alimenter au moins une salle d'opération et une unité de réanimation. L'alimentation en eau de l'hôpital doit aussi être assurée par plusieurs systèmes indépendants. De même, on sous-évalue souvent la sécurité de certains matériels critiques de petites dimensions dans les équipements médicaux. Les réserves de produits pharmaceutiques et de matériel médical doivent, par exemple, être protégées contre la casse au cours des secousses du séisme. La plupart des précautions mentionnées plus haut pour les maisons s'appliquent aux hôpitaux. Mais la solution n'est pas aussi simple à l'hôpital, parce que toutes les mesures de protection augmentent les charges normales de l'activité et peuvent les perturber. Le verre, qui est constamment utilisé, peut difficilement être protégé et certaines destructions d'objets fragiles sont probables au cours d'un séisme. Certains équipements orientables peuvent être rangés en position non dangereuse ou bloqués par des freins ou attachés aux lits et autres points fixes pour éviter qu'ils ne se renversent ou qu'ils roulent au cours du séisme. Par dessus tout, puisque les séismes importants ne sont pas fréquents, même dans les régions sismiquement actives, la sécurité dans les

hôpitaux et les services publics comparables demande une attention constante de la direction et de continuel contrôles des plans d'urgence.

Il faut aussi et surtout parler des écoles. La tragédie que représente la mort soudaine de nombreux enfants d'une collectivité est particulièrement cruelle. A ce sujet, la fatalité a joué un rôle trop important dans beaucoup de régions sismiques au cours de ces dernières années. Des écoles se sont écroulées sous l'effet des séismes ; heureusement l'événement s'est souvent produit durant la nuit ou au cours des week-ends.

Un des exemples les plus frappants d'une telle éventualité est celui du séisme de magnitude 6.3 près de Long Beach et de Compton en Californie du Sud, le 10 mars 1933. Le choc se produisit à 17 h 54, heure locale, alors que le crépuscule tombait : à cette heure la plupart des écoles et des collèges étaient vides, mais ils subirent de grands dégâts et plusieurs s'écroulèrent. On recensa 120 morts au cours de ce séisme et des professeurs furent tués au lycée d'Huntington Beach. Cet événement brutal amena tant de protestations de la part du public contre les constructions de basse qualité, que les instances législatives californiennes promulguèrent la même année une loi immédiatement applicable, pour contrôler la construction des nouvelles écoles publiques. Cette loi, appelée le *Field Act* impose des normes strictes pour réduire les risques sismiques dans les écoles publiques de Californie. Elle s'appliqua d'abord aux nouvelles écoles. Depuis, on a aussi promulgué des règles pour les écoles privées, les collèges, les édifices et locaux publics : cela a été fait de diverses façons mais, en général, sans les contrôles stricts et sans les sanctions qui sont appliquées aux écoles publiques.

Le *Field Act* implique un contrôle et des décisions par l'*Office of Architecture and Construction of the State of California*. Cet office supervise les plans de toute école et peut agir contre les écoles de district si elles n'ont pas appliqué les normes de construction. L'efficacité du *Field Act* a été éprouvée plusieurs fois et les résultats ont généralement été très satisfaisants. L'épreuve de San Fernando en 1971 a été particulièrement remarquable parce que ce choc était de même magnitude que le séisme de Long Beach en 1933. Une étude spéciale dans la vallée de San Fernando, faite après le séisme, montra que sur les 568 vieux bâtiments d'école qui ne satisfaisaient pas aux spécifications du *Field Act*, 50 au moins furent si sévèrement endommagés qu'il fallut les démolir. Mais environ 500 bâtiments scolaires qui correspondaient aux règlements parasismiques ne présentèrent aucun dégât dans leur structure. Et même si le séisme s'était produit aux heures de classe, la probabilité que les enfants soient blessés aurait été faible. Au cours des ans, en Californie, on a réduit par étapes les risques courus par les plus vieilles écoles, qui n'étaient pas en accord avec le *Field Act*. La publicité favorable qui résulta des statistiques lors du séisme de San Fernando, en 1971, encouragea par la suite les autorités

législatives et celles des districts scolaires à continuer dans cette voie, en remplaçant d'urgence les bâtiments scolaires construits au-dessous des normes. La loi californienne est actuellement respectée, de telle sorte qu'à peu près tous les bâtiments scolaires publics de l'État qui ne sont pas sûrs ont été fermés, démolis ou réparés. Cependant, l'attitude des populations locales devant les problèmes de financement fut surprenante : dans plusieurs communes, la majorité vota contre les demandes d'emprunts nécessaires pour renforcer ou rebâtir les bâtiments scolaires inadéquats. Cela nonobstant les subventions substantielles qui devaient venir de l'État.

Depuis 1980, la plupart des enfants sont à même d'avoir en Californie des écoles résistant aux séismes.

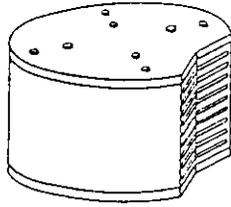
On considère généralement dans le monde entier que, si un gouvernement oblige de façon légale les gens, plus particulièrement les enfants, à se réunir dans certains bâtiments à certaines heures, il a la responsabilité d'assurer que ces constructions puissent résister aux risques géologiques comme les séismes. Bien qu'il soit presque impossible de garantir qu'une construction soit parfaitement parasismique, l'expérience montre qu'on peut construire des bâtiments dans une grande variété de styles et de matériaux, de façon à assurer une protection maximale en cas de séisme. On a démontré en Californie et ailleurs que l'application des règlements aux écoles et autres édifices publics devient effective quand le contrôle en est assuré par une organisation compétente disposant de règles claires et ayant le pouvoir de sanctionner."

En ce sens, la France a d'énormes progrès à faire. A ma connaissance, un seul établissement scolaire en France métropolitaine répond à ce souci : le collège Jean Guéhenno à Lambesc. Cela fait évidemment partie de la culture "risque sismique" existant depuis 1909 dans cette localité.

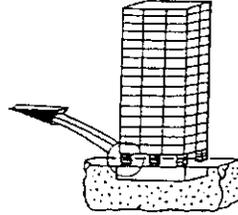
Construit en 1977, ce collège est de la classe C.E.S. 600. Le collège est un ensemble de 77 x 26 mètres, comportant un bâtiment à un étage et deux bâtiments à deux étages. Cet ensemble est monté sur 152 isolateurs de type Gapec, de 300 mm de diamètre ; il est dimensionné pour résister à un séisme d'intensité VIII. L'effet de ces isolateurs est le suivant :

- la période propre fondamentale sans isolateurs était de 0.25 s dans la direction transversale et 0.18 s dans la direction longitudinale. Elle est passée à 1.7 s dans les deux directions avec la mise en place des isolateurs,
- les accélérations spectrales, les efforts tranchants et les moments de renversement ont été divisés par 3 en moyenne,
- les contraintes de flexion dans le béton, sous sollicitation sismique, qui étaient de 247 bars pour les poutres et 213 bars pour les poteaux, ont été ramenés respectivement à 136 bars et 112 bars : le coefficient de sécurité du bâtiment a donc été doublé.

Description des isolateurs Gapec, d'après Cahier technique n°9 ISOLTEC

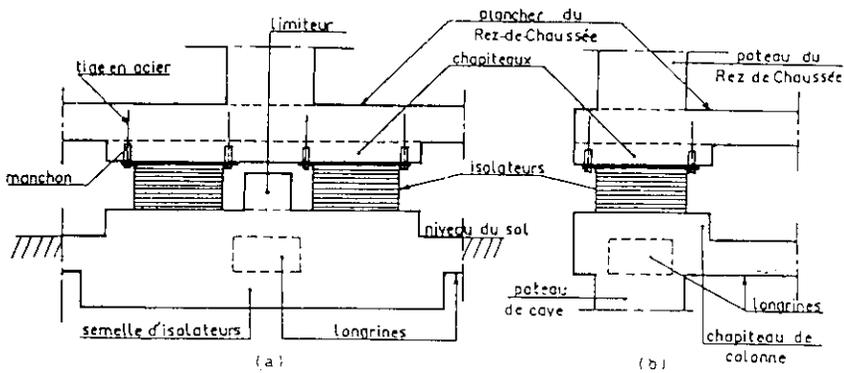


Un modèle d'isolateur GAPEC

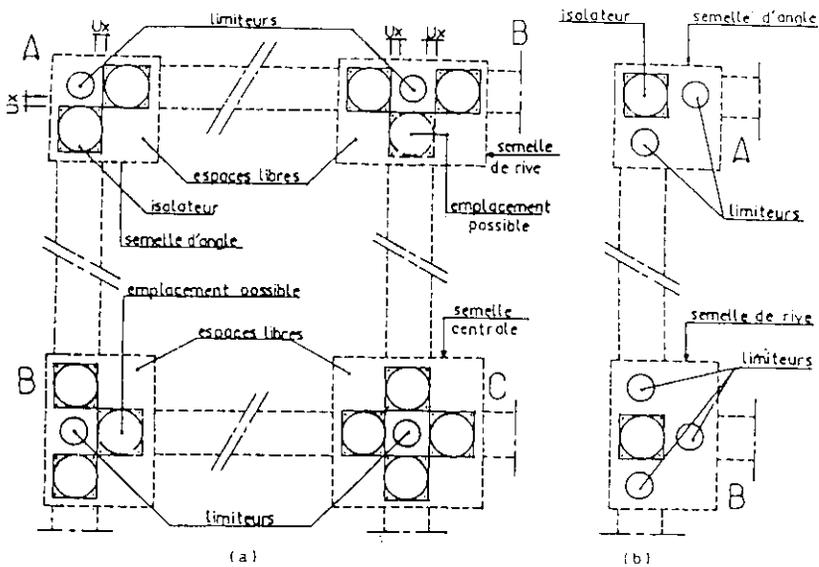


Emplacement des Isolateurs GAPEC

TECHNOLOGIE DE MISE EN OEUVRE



- Coupes types sur isolateurs GAPEC : (a) sans sous-sol ; (b) avec sous-sol.



- Vue en plan de dispositions types des isolateurs GAPEC

Les isolateurs de la marque Gapec sont des appareils constitués de plaques d'acier et de caoutchouc naturel adhérentes entre elles à chaud. Ils sont placés à la base de la construction dans l'axe des éléments porteurs. Le vieillissement du caoutchouc serait satisfaisant. Le caoutchouc est protégé contre l'ozone et l'oxygène de l'air par des produits incorporés dans le mélange au moment de la vulcanisation ; les plaques d'acier sont revêtues d'une peinture anti-corrosion à haute résistance et les isolateurs sont protégés du rayonnement solaire direct. La durée de vie attendue de ces isolateurs est au moins égale à celle de l'immeuble.

A tel point qu'au collège de Lambesc, aucune vérification du caoutchouc n'a été effectuée depuis la pose. Il serait peut-être souhaitable qu'une vérification périodique soit effectuée tout de même.

Cette réalisation française a fait appel à une technique, à un produit commercial déterminé, il existe d'autres isolateurs commercialisés par d'autres fabricants et notre propos n'est pas de privilégier une marque par rapport aux autres, il se trouve simplement que c'est le seul exemple connu en France.

Mais il y a aussi des installations industrielles entrant dans le risque normal. Reprenons ce qu'en dit Bolt :

"Les oléoducs aussi subissent les effets des séismes. Ainsi les 1 260 kilomètres de l'oléoduc transalaskien ont été conçus pour supporter les risques sismiques. Cet oléoduc traverse un certain nombre de zones sismiques sur son tracé qui va de l'océan arctique à Port Valdez (dans le Prince William Sound). Les tubes sont étudiés pour résister à de fortes actions horizontales aux croisements des failles, à la liquéfaction du sol qui les supporte et à différents niveaux d'intensité de secousse ajustés sur la zone traversée." Qu'en est-il de la situation en France ?

Au cours de la mission au Japon, j'ai rencontré le Professeur Tsuneo Katayama, Directeur de l'"International Center for Disaster Mitigation Engineering" dépendant de l'Institut des Sciences industrielles à l'Université de Tokyo ; il a développé un réseau des hommes concernés par les séismes : 450 personnes dont la moitié d'universitaires et l'autre moitié des représentants d'organismes gouvernementaux. La coopération se fait avec 90 pays dont la moitié dans le continent asiatiques, et une bonne participation européenne.

Si le Professeur Katayama était sceptique sur la prévision, il est sûr de l'efficacité de la prévention. Le Japon a déjà un bon niveau, mais à Tokyo quand il y a autant de concentration, on peut craindre une grande confusion dans la ville en cas de séisme. Beaucoup de progrès dans ce domaine restent à faire, mais plus sur le savoir-faire que sur le côté matériel qui semble bon.

Les réseaux -téléphone -eau et électricité- ne doivent pas être coupés, c'est un problème majeur. L'ingénieur sismologue ne pensait que structures avant, il doit penser maintenant environnement.

Que fait-on en cas de séisme à Tokyo ? La mairie a élaboré des scénarios de dégâts importants pour un grand séisme. Une grande entreprise comme celle du gaz de Tokyo à 7 millions de contrats ; elle s'inquiète beaucoup du sort de ses clients. Idem pour l'électricité.

Des mesures de protection en cas de séisme s'imposent et deux questions sont à poser :

- comment préserver ?
- comment réparer très vite ?

On a installé 350 sismographes autour de Tokyo pour déterminer des zones, et ensuite Tokyo a été fractionné en blocs, afin d'avoir des isolations en cas de séisme.

La remise en état après une coupure de gaz prend beaucoup de temps. La solution la plus sûre est d'arrêter chez les 7 millions de consommateurs, mais la reprise serait sur plusieurs mois. Un zonage permet la coupure sur les seuls blocs à risque.

Les Japonais ont toujours craint les constructions en briques depuis 1923 : de ce séisme meurtrier, le Professeur Katayama tire trois grandes leçons :

- 1 - ne plus utiliser les briques ;
- 2 - dans les ports, la terre derrière la digue peut beaucoup nuire à cause des pressions et des contraintes ;
- 3 - si on ne peut faire de mesures, on va faire beaucoup plus résistant qu'il ne le faut. Les normes au Japon doivent offrir 4 fois plus de résistance qu'aux Etats-Unis.

Depuis l'adoption de ces normes, et avant Kobe, 1950 séismes avaient fait moins de 100 pertes humaines. Actuellement dans le bassin méditerranéen, la plupart des morts viennent des constructions en briques ou en ciment : la solution préconisée par les ingénieurs japonais est le renforcement par des entretoises en fer. Les entretoises ne sont pourtant pas la panacée, la composition de l'acier et le problème des soudures n'étant pas entièrement résolu. Mais tant les Japonais que les Américains de l'équipe du John A. Blume Earthquake Engineering Center de l'Université de Stanford privilégient cette recherche.

On parle beaucoup des isolations de base mais le Professeur Katayama aurait tendance à considérer cela comme un jouet de chercheurs !

Il considère toutefois que l'idée lancée en France de coussins de caoutchouc, idée reprise puis perfectionnée par les Néo-Zélandais, peut apporter des solutions dans des pays à moyenne sismicité.

La nature des sols est un facteur aggravant dans bien des cas. Cependant sur des sols défectueux, il y a toujours possibilité de faire quelque chose en aménageant, en consolidant à grande profondeur, en enfonçant des piliers à 30 mètres de profondeur.

Même pour les cloisons intérieures les parties sensibles sont les constructions en brique. Si M. Katayama ne sait comment se comportent les baies vitrées, il redoute les constructions du style Le Corbusier, qui ne tiennent absolument pas compte des séismes. Les plus grandes contraintes sont sur le rez-de-chaussée, il faut veiller aux piliers.

La suppression des structures faibles est une priorité. Un appareillage est particulièrement surveillé et à ce jour aucun accident mortel n'est venu prendre en défaut les constructions d'ascenseurs : l'envers de la médaille est que la sécurité les rend trop sensibles.

Toutefois le Professeur Katayama redoute l'incendie, où il n'y a pas de solution à apporter, la concentration des maisons en bois étant trop importante dans certains quartiers.

Aujourd'hui, beaucoup d'efforts vers la prévention sont encouragés par les assurances, mais peu de contrats parasismiques existent. A Tokyo, où le risque est le plus élevé, le taux de couverture est de 15 %. Avec le système actuel, l'encouragement n'est que moral, il n'y a pas de reflet sur les primes très lourdes, et l'indemnisation est limitée à 10 millions de yens ; c'est trop peu pour faire quelque chose au Japon. Mais une indemnisation plus grande ne semble pas économiquement possible pour les assurances japonaises.

De l'avis du Professeur, les Japonais ne lésinent pas sur les moyens quand il s'agit de séismes. La mentalité est conservatrice : la protection du bâtiment est recherchée. Rares sont ceux qui font une étude économique pour déterminer s'il vaut mieux économiser pour reconstruire en cas de séisme, ou essayer de se protéger et résister à la catastrophe.

5-2-2 - vulnérabilité du bâti existant : problème du confortement

La problématique de la prévention sismique de l'existant, en France, est souvent posée mais rarement développée.

Rappelons tout d'abord que le renouvellement du parc immobilier est de l'ordre de 1 % par an, il faudrait donc près de 100 ans pour avoir des constructions aux normes s'il n'y a pas d'incitation forte et que les valeurs statistiques soient respectées. Cette situation n'est pas valable pour un certain nombre d'établissements publics dont le temps de renouvellement est plus court, mais ne peut être acceptable tout de même.

Il n'y a guère que la thèse de doctorat de Corinne Madelaigue (Université Paris VI), soutenue le 2 juillet 1987 sur le "Renforcement du bâti existant en zone sismique" qui tente de faire une synthèse. L'AFPS a un projet de manuel pratique sur le bâti existant, mais sa parution n'est pas pour l'instant programmée et cet ouvrage fait défaut.

Peu de colloques y sont consacrés, sauf dans le cadre de colloques bilatéraux comme ceux de la journée franco-suisse du 20 novembre 1992 à Genève, à l'initiative du Groupe Suisse de Génie Parasismique et de la Dynamique des Constructions (SGEB) de la Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA) et de l'Association Française du Génie Parasismique (AFPS), ou encore des journées franco-italiennes des 17, 18 et 19 octobre 1994 à Nice, mais qui en fait reposent essentiellement sur quelques cas concrets, et ne permettent pas de dégager une doctrine applicable à tous le bâti existant.

5-2-2-1 - les grands axes du colloque franco-suisse de 1992

Dans son exposé introductif au colloque genevois, M. Jean-Louis Doury, Chef de la Division Stabilité des Structures au Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, faisait le point sur le bâti existant :

"Les lois françaises ainsi que les décrets, arrêtés et circulaires, qui forment la réglementation, relatifs à la prévention du risque sismique, ont toujours porté sur les bâtiments neufs. En mai 1988, M. Jacques Tanzi, Ingénieur Général des Ponts, a été chargé de constituer et d'animer un groupe d'étude et de proposition pour élaborer des projets de textes réglementaires, décrets et arrêtés, en application de la loi.

Mais à ce jour, aucun texte n'existe ni n'est prévu pour l'existant.

Cependant, au sein du "Groupe Tanzi", il a été récemment décidé d'engager une réflexion sur la prévention de l'existant en commençant par

établir la "problématique" de ce sujet, restreinte aux bâtiments dans un premier temps.

L'aspect technique

La parasismicité est codifiée par des règles de conception, des méthodes de calcul de stabilité et des dispositions constructives. Ce sont les règles PS établies jusqu'à présent pour les bâtiments seulement.

Ces prescriptions techniques n'impliquent ni ne préjugent du caractère novateur des constructions. Elles sont donc applicables à tous les bâtiments, nouveaux ou existants.

Les premières réflexions

Elles sont ordonnées suivant les trois questions suivantes :

- Quel est le but recherché ?
- Quels sont les bâtiments concernés ?
- Comment "traite-t-on" ces bâtiments ?

L'examen de ces questions fait très vite prendre conscience de la quantité considérable des moyens matériels et financiers à mettre en oeuvre et, par voie de conséquence, de la nécessité de restreindre la portée de la prévention sismique à envisager.

En principe, il faudrait conférer au bâti existant le même niveau de protection que celui exigé pour le bâti neuf. Toutefois, il est raisonnable d'envisager aussi une amélioration limitée du comportement des bâtiments dans la mesure où les moyens disponibles ne sont pas suffisants.

Les bâtiments concernés sont, bien évidemment, ceux situés dans les zones de séismicité non nulle ni négligeable et, parmi ceux-ci, ceux qui présentent un risque pour la population.

Du point de vue du "risque pour la population", on est tout naturellement conduit à hiérarchiser ce risque en adoptant la classification retenue dans le décret et dans les arrêtés publiés pour les bâtiments nouveaux.

Il apparaît clairement que l'insuffisance de moyens pour être en mesure de traiter tous les bâtiments conduit à définir des priorités qui commencent par les bâtiments de la catégorie dite "à risque spécial" et par ceux de la classe D de la catégorie dite "à risque normal".

Pour chacun des bâtiments concernés, le problème se pose dans les termes suivants :

- soit il n'y a rien à faire ;
- soit le bâtiment est traité.

Dans le cas du traitement :

- soit on le renforce ;
- soit on le démolit et on le reconstruit.

Le dernier choix, entre un renforcement et une reconstruction après démolition, résulte d'une étude économique dans laquelle les coûts globaux des deux solutions sont comparés. Le tableau ci-après énumère les principaux coûts à considérer.

En outre, le choix se trouve compliqué dans la réalité par le fait qu'on ne reconstruit pratiquement jamais à l'identique : les améliorations apportées à la construction neuve peuvent être difficilement chiffrables en termes de coûts.

SOLUTION : RENFORCEMENT	SOLUTION : RECONSTRUCTION	
	sur place	à côté
Coût de relogement	Coût de relogement	Coût de construction neuve
Coût de renforcement	Coût de démolition Coût de déblaiement Coût de construction neuve	Coût de déménagement Coût de démolition Coût de déblaiement Coût de reconstruction de l'espace initial

Le premier choix de décisions, entre ne rien faire et traiter, résulte de deux groupes de critères :

- des critères de pérennité des bâtiments :

- * la vétusté : inutile de s'occuper des bâtiments qui doivent être démolis à court terme ;

- * la servitude : inutile de s'occuper des bâtiments condamnés à disparaître à court terme en raison, par exemple, du tracé d'une nouvelle autoroute ou d'une nouvelle ligne de chemin de fer.

- un critère de vulnérabilité :

- * il y a lieu de traiter en première urgence les bâtiments dont l'effondrement est probable, selon l'aléa sismique de leur implantation ;

- * par contre on traite en deuxième urgence les bâtiments pour lesquels des détériorations importantes sont prévisibles avec un danger certain pour les occupants, sans effondrement total ;

* et on ne traite pas les bâtiments pour lesquels les dégâts prévisibles sont limités et ne mettent pas en danger la vie des occupants.

L'organisation à concevoir et les problèmes qu'elle pose

L'inventaire des bâtiments existants à considérer est, de fait, la première opération à mener. Cet inventaire est limité en fonction de la quantité des moyens en personnel, en matériels et financiers disponibles.

La réalisation de l'inventaire nécessite l'établissement d'une méthode précise et simple applicable par des non-spécialistes. On peut imaginer un repérage sur cadastre, agrémenté de renseignements sur la destination des bâtiments et donc leur classification, leur état de vétusté, leurs servitudes éventuelles.

La détermination de la vulnérabilité des bâtiments concernés pose un problème difficile car elle rend nécessaire une véritable expertise des bâtiments, un par un, par un expert très qualifié ; mais comment disposer d'experts qualifiés en nombre suffisant ?

Une idée de simplification peut être d'établir une typologie du bâti : on range les bâtiments dans un nombre restreint de familles de bâtiments de même comportement sous séisme. Il n'y a alors plus à expertiser au cas par cas que les bâtiments inclassables dans les familles établies et, pour les autres, l'expertise se réduit à déterminer leur apparentement à l'une des familles étudiées et définies au préalable.

Les modes de renforcement sont dictés par l'expertise de la vulnérabilité des bâtiments. Encore faut-il disposer de techniques de renforcement (recueil de techniques) dont en outre on connaît le coût de mise en oeuvre.

La prévention sismique de l'existant ne se fera pas sans astreinte réglementaire décidée par la Puissance Publique. Pour être opérationnelle et efficace, cette astreinte réglementaire ne doit pas être rédigée en termes d'objectifs mais en termes de moyens à mettre en oeuvre, de méthode à suivre et de critères précis de décision."

Dans leur intervention, Walter J. Ammann, Daniel Kluge et Thomas Wenk ont essayé d'établir un recueil des techniques de renforcement sismique à partir de leurs expériences.

"En Suisse la plupart des bâtiments construits avant 1970 ont été dimensionnés sans tenir compte de l'effet des séismes. Par rapport aux prescriptions parasismiques d'aujourd'hui on obtient de grandes différences

notamment dans les régions d'activité sismique élevée de la Suisse (Valais, Bâle, Suisse centrale, vallée du Rhin à Saint-Gall).

Pour des raisons économiques et écologiques on tend de plus en plus à conserver les bâtiments âgés par rénovation. Actuellement les dépenses pour la rénovation, l'entretien et des mesures de renforcement atteignent presque les 50 % du coût total des constructions dans le secteur du bâtiment. Il faut s'attendre à ce que la proportion des rénovations augmente encore à l'avenir. En conséquence, la part des bâtiments qui sont dimensionnés sans tenir compte de l'effet des séismes restera à un niveau élevé. La question n'est pas encore définitivement résolue à quel degré il faudra appliquer les nouvelles prescriptions parasismiques lors de transformations, ainsi que lors d'agrandissements, de changements d'affectations, de travaux d'entretien, etc... En appliquant les nouvelles normes seulement lors de la construction de bâtiments neufs, on n'arrivera pas à réduire suffisamment le potentiel de dégâts en Suisse. Il est indispensable d'analyser critiqueusement les constructions existantes et de renforcer celles qui montrent un niveau de sécurité insuffisant.

La question "quand faut-il renforcer ?" est actuellement à l'étude dans le cadre de l'élaboration d'une directive de la société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA 462). La question "Comment faut-il renforcer ?" a été abordée au sein du sous-groupe spécialisé en génie parasismique et dynamique des constructions (SGEB). Depuis 1990 le groupe de travail "Techniques de renforcements" est en train d'élaborer un manuel pour l'ingénieur de la pratique. Ce manuel est un recueil de méthodes de renforcement et de règles générales à observer lors de l'élaboration d'un projet de renfort.

Il existe déjà des manuels de techniques de renforcement aux Etats-Unis et au Japon. Le travail du groupe est basé en partie sur ces manuels existants. Mais le nouveau manuel est limité intentionnellement aux méthodes de construction de l'Europe centrale (F, D, A, CH) et aux régions qui présentent une activité sismique moyenne ou faible. Des mesures pour l'amélioration de la résistance de bâtiments en béton armé ou en maçonnerie comprennent la partie essentielle du manuel. L'orientation vers la situation en Suisse, c'est-à-dire vers une région d'activité sismique moyenne ou faible, permet de tenir compte aussi des possibilités d'amélioration de l'aptitude au service et du comportement des éléments secondaires. C'est surtout en Suisse, où il faut s'attendre que la plupart des dégâts ne se produiront pas dans la structure porteuse au sens propre, mais aux éléments non porteurs (plafonds suspendus, éléments de façade, etc.)."

"Le manuel ne prétend pas être complet, il ne sert pas non plus de livre de cuisine pour le praticien. Le manuel veut simplement donner quelques suggestions et idées pratiques. L'ingénieur devra en général faire quelques études supplémentaires avant de réaliser une de ces méthodes de renforcement."

"En effet, dans une région comme la Suisse, il est important de considérer lors d'un renforcement sismique non seulement l'aspect de la sécurité structurale mais aussi l'aptitude au service. Dans le contexte de la sécurité structurale il faut comprendre la résistance ultime et la ductilité comme deux quantités étroitement liées. La résistance ultime d'une structure peut être réduite sans que la sécurité structurale soit affaiblie, si l'on augmente la ductilité dans la même mesure.

Le projet d'un renforcement sismique commence par un recalcul de la construction ou de l'élément de construction concerné sur la base des prescriptions parasismiques. Pour ce faire, il faut d'abord estimer la valeur de la ductilité disponible avec un soin particulier. A partir des résultats de ce recalcul, une solution de renforcement doit être développée en respectant les exigences à l'aptitude au service.

La notion "mesure de renforcement" comprend plusieurs significations. Une mesure peut avoir le but suivant :

- en vue de la sécurité structurale :
 - . augmentation de la résistance ultime avec réduction de la ductilité,
 - . augmentation de la résistance ultime et de la ductilité,
 - . réduction de la résistance ultime avec augmentation de la ductilité,
 - . changement de la rigidité, c'est-à-dire de la fréquence propre, provoque un changement de l'action sismique ;
- en vue de l'aptitude au service :
 - . augmentation de la rigidité (il en résulte généralement une augmentation de l'action sismique,
 - . séparation des éléments de construction non porteurs de la structure porteuse.

Très souvent il n'est possible de renforcer qu'une partie des éléments porteurs pour des raisons pratiques. Des différences de rigidité entre éléments renforcés et non renforcés peuvent alors conduire à des sollicitations différentes et à un déplacement du centre de rigidité. En général, un renforcement peut aussi changer la distribution des masses dans un bâtiment et, par conséquence, provoquer une variation de la fréquence propre et un déplacement du centre de masse. Les déplacements possibles des centres de masse et de rigidité conduisent à des sollicitations de torsion dont il faut absolument tenir compte.

Un renforcement local (par exemple un renforcement d'un étage seulement) ne provoque souvent qu'un transfert des points faibles dans des zones voisines non renforcées. Il est donc d'une importance primordiale d'examiner intégralement le bâtiment à renforcer.

Le manuel élaboré par un groupe de travail du SGEB décrit des mesures de renforcement proprement dit et l'application de ces mesures aux éléments de construction existants. Le manuel s'applique aussi au renforcement par addition de nouveaux éléments de construction. Beaucoup de ces mesures peuvent d'être utilisées non seulement pour un renforcement préventif mais aussi pour la réparation des dégâts de séisme."

Le grand argument présenté à chaque fois que la construction parasismique est évoquée est son coût. Si pour le neuf, on peut limiter considérablement les surcoûts au point de les rendre négligeable, cela semble plus problématique pour l'existant.

Le Dr. Helmut Krawinkler, professeur de génie civil à l'Université de Stanford, le précisait d'ailleurs en doutant quelque peu du programme développé sur 5 ans aux Etats-Unis. Cela ressemblait plus à un désir national de créer un code supplémentaire plutôt qu'à une réelle demande, sauf peut-être de la part des compagnies d'assurance. Le coût de certaines consolidations pour des constructions individuelles est si élevé que la population préfère prendre le risque de reconstruire si un séisme se produisait. On peut tout de même se poser la question du coût des vies humaines qui pourraient être épargnées !

Henri Fierz et Sener Tinic sont intervenus sur ce sujet lors de cette journée genevoise, mais en se limitant à des bâtiments industriels ou collectifs :

"Les interventions parasismiques sur le bâti existant réalisées en Suisse à ce jour se limitent à 2 types de construction :

- des bâtiments nucléaires d'un certain âge,
- des bâtiments publics représentant un danger potentiel élevé.

Un exemple d'intervention pour chacun de ces types est présenté par la suite. Dans le premier cas il s'agit d'une intervention achevée, dans le deuxième cas d'une intervention en cours de réalisation. Ces exemples illustrent d'une part les problèmes rencontrés et les solutions adoptées, et d'autre part les coûts des interventions. Ces coûts sont comparés à la valeur actuelle estimée des bâtiments. En conclusion quelques réflexions sur le bénéfice réel d'une intervention parasismique mesuré en terme de réduction de risque, devraient montrer que ces coûts sont justifiés.

Le premier exemple concerne la centrale nucléaire de Beznau, située au Nord de Zurich, et faisant partie des centrales du Nord-Est de la Suisse.

Pour les bâtiments des réacteurs et les bâtiments annexes de la classe de sécurité sismique 1, les exigences parasismiques demandent un comportement élastique des structures porteuses soumises aux contraintes du séisme SSE (safe shutdown earthquake). Ce dernier est défini par une accélération horizontale

maximale de 0,15 g au niveau du rocher pour une probabilité d'occurrence de 10^{-4} par an.

Lors de la requalification technique de Beznau, toutes les structures importantes ont été examinées et jugées conformes aux exigences, à l'exception des bâtiments annexes AI, AII et DI qui sont hachurés dans la figure 1.

Les trois bâtiments contestés (voir figures 2 et 3) présentent tous une faible résistance à la torsion au niveau du rez-de-chaussée. En effet les éléments porteurs sont avant tout des piliers. Il y a peu de murs de renforcement, et en plus ils sont placés de façon asymétrique.

La solution d'intervention parasismique adoptée pour les trois bâtiments consiste à rajouter des murs au rez-de-chaussée. Capables de reprendre les poussées horizontales, ils augmentent ainsi la résistance à la torsion.

L'emplacement et les dimensions des murs de renforcement ont été choisis sur la base des critères suivants :

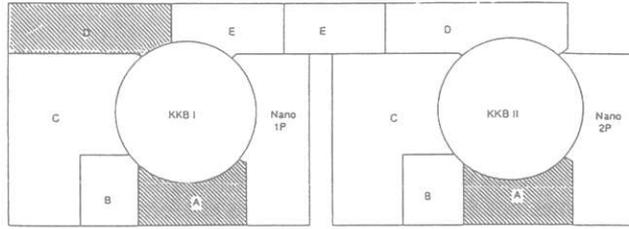
- amélioration sensible du comportement dynamique et de la résistance des bâtiments,
- pas de limitations pour l'exploitation après mise en place,
- la réalisation des travaux doit être possible durant le révision annuelle pour les bâtiments A.

La construction des murs dans les bâtiments A est caractérisée par les détails suivants :

- murs en béton armé,
- raccords au sol et aux piliers par des tiges d'ancrage,
- joint de séparation du bâtiment voisin réalisé à l'aide de laine de verre et de styrofoam,
- raccord au plafond par des étriers placés dans des trous forés à travers la dalle,
- trous de 200 mm de diamètre dans la dalle supérieure pour le bétonnage,
- tuyaux d'injection pour la finition.

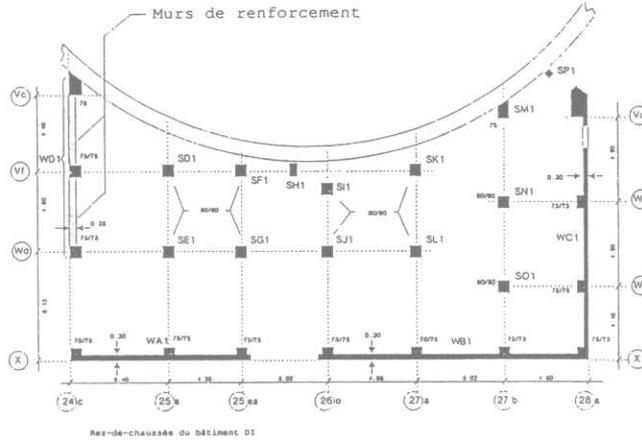
Les sommes relativement élevées pour le projet et la réalisation s'expliquent par le fait, que pour la mise en place des murs, il a fallu déplacer un certain nombre de systèmes d'exploitation.

Il est particulièrement intéressant de mettre les coûts en rapport avec la valeur actuelle des bâtiments.

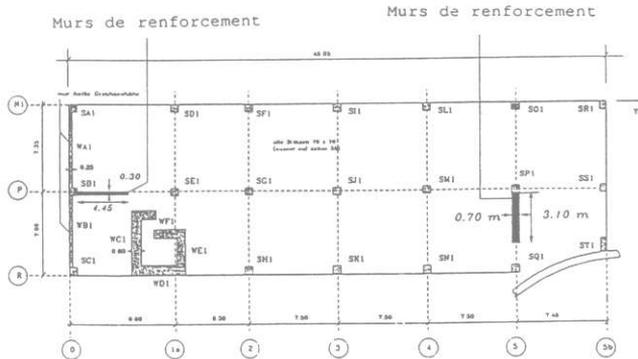


Vue d'ensemble des centrales nucléaires de Beznau

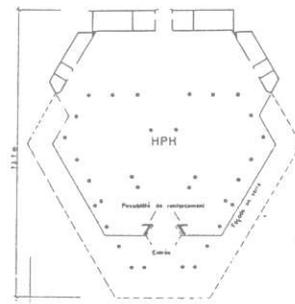
Rez-de-chaussée d'un bâtiment annexe A



Rez-de-chaussée du bâtiment D1



Eléments porteurs du rez-de-chaussée du bâtiment des amphithéâtres



amphithéâtres de l'EPFZ

L'estimation donne 4,55 millions de francs suisses pour chaque bâtiment A et 7,55 millions de francs pour le bâtiment DI. Les coûts de l'intervention parasismique représentent donc 6 % et 4 % de la valeur actuelle des bâtiments A et du bâtiment DI.

Le second exemple concerne le rez-de-chaussée du bâtiment des amphithéâtres de l'École Polytechnique Fédérale de Zurich situé au Höggerberg. Les exigences parasismiques sont définies par la norme SIA-160 et peuvent être résumées comme suit :

- zone de danger 1 à activité sismique faible
- accélération horizontale maximale du sol de 0,06 g pour le séisme de dimensionnement avec une période de récurrence de 300/500 ans
- classe de bâtiment II (école)
- pas de défaillance de la structure porteuse soumise aux contraintes du séisme de dimensionnement.

Le rez-de-chaussée présente les traits typiques d'un "soft story". En plus il a comme dans l'exemple précédent une faible résistance à la torsion due à la disposition asymétrique des principaux éléments porteurs, murs d'un côté et piliers de l'autre. La vérification du comportement du bâtiment a montré qu'il faut s'attendre à une défaillance de la structure porteuse pour le séisme de dimensionnement.

La limitation principale imposée à une intervention parasismique est dans le cas présent d'ordre architecturale. En effet l'aspect du bâtiment ne devrait si possible pas être modifié. Toute une palette de solutions a été étudiée. Il s'est avéré que des éléments de renforcement placés du côté de l'entrée du bâtiment répondraient le mieux aux exigences d'efficacité parasismique, de faisabilité et d'esthétique.

Il n'y a pas encore de projet définitif d'intervention parasismique. Les coûts sont provisoirement chiffrés à 500 000 francs suisses alors que la valeur du bâtiment est de 75 millions de francs. Les coûts de renforcement se montent donc à environ 0.7 % de la valeur du bâtiment.

Dans un article publié en 1991 par K. Moser "Ist die Erdbebensicherung in Hochbau gerechtfertigt ?" dans "Schweizer Ingenieur und Architekt", les coûts annuels moyens pour les mesures parasismiques qui seraient à appliquer à tous les genres de bâtiments nouveaux et anciens sont estimés à 0,6 % des coûts annuels totaux de construction en Suisse. Ce chiffre correspond à celui donné pour le deuxième exemple, alors qu'il est d'un ordre de grandeur inférieur à celui obtenu dans le premier exemple. L'explication en est, que pour un type et des coûts d'intervention semblables, les valeurs des

bâtiments estimées sur la base de leurs volumes sont différentes. De toute manière il est à retenir que les mesures relativement simples qui ont été proposées et qui auraient été bon marché au moment de la construction peuvent devenir coûteuses lorsqu'elles sont réalisées après coup. Les principaux facteurs déterminant ces coûts sont :

- limitations imposées par l'exploitation à l'emplacement d'éléments de renforcement,
- déplacement et remplacement d'équipements,
- raccords des nouveaux éléments aux structures existantes,
- aspects architecturaux.

Pour terminer il est permis de se demander quel profit les interventions parasismiques apportent. Dans l'article déjà cité il est estimé que le montant annuel à investir en Suisse pour l'application systématique de mesures parasismiques adéquates permettrait d'éviter des pertes annuelles moyennes dues à des séismes trois fois supérieures à ce montant. Pour les bâtiments étudiés et représentant un danger potentiel élevé, le rapport entre l'investissement et les pertes évitées est certainement plus favorable sans compter qu'un accident dans une centrale nucléaire ou l'effondrement d'un amphithéâtre seraient perçus comme des événements inadmissibles. Les coûts des interventions parasismiques sont donc amplement justifiés."

Cet avis fort enthousiaste n'a pas eu l'air de convaincre les différents interlocuteurs que j'ai pu rencontrer et interroger sur ce sujet.

5-2-2-2 - les grands axes du colloque franco-italien de 1994

Le colloque franco-italien dont on peut regretter que les actes ne soient disponibles qu'en anglais, n'a présenté que d'autres exemples, qui sont autant de cas particuliers les uns les autres et ne peuvent être généralisés.

Toutefois l'un de ceux-ci mérite une attention : il s'agit de l'application de méthodes de consolidation parasismiques sur un monument ancien, le monastère d'Apostolache, dans le județ de Prahova en Roumanie. La partie la plus ancienne fut construite vers 1650, mais de façon médiocre, ce qui fit que peu de travaux d'entretien furent effectués. En avril 1992, ce monastère fut choisi comme support concret à la coopération culturelle entre la France (Direction du Patrimoine du Ministère de la Culture) et la Roumanie. L'originalité développée devait permettre aux monuments de garder leurs peintures murales intérieures et extérieures, et éviter de la sorte des dégâts irrémediables. Les travaux doivent se poursuivre jusqu'en 1997/1998.

5-2-2-3 - les politiques de confortement aux Etats-Unis et au Japon

M. Tom Remillard, Superintendant du département de "Construction" du comté de Los Angeles me confiait qu'aux Etats-Unis les codes étaient réactifs, modifiés au minimum tous les 3 ans, plus rapidement si des événements majeurs surviennent et nécessitent de les changer.

Les travaux à effectuer pour être en conformité sont obligatoires, sinon le Comté peut demander la démolition des ouvrages. Depuis Northridge, et à la date de la mission soit le 21 septembre 1994, 500 bâtiments ont été consolidés, 40 n'ont pas été rénovés mais la plupart seront vraisemblablement démolis par leur propriétaire.

C'est le service du Comté, 200 personnes pour couvrir 4 000 miles² qui a la charge de l'application du code, ce code ayant valeur de loi. Toute infraction à ce code est un délit. L'inspecteur qui suspecte une infraction a le droit d'entrer dans un bâtiment pour protéger la sécurité des habitants, mais ne peut évidemment s'immiscer dans la vie privée, la cause probable de sa venue doit être exprimée clairement.

Des chapitres du code (95 et 96) répondent au problème de la consolidation de l'existant. Des vidéos à destination du grand public sont disponibles pour aider les particuliers à consolider leurs maisons.

Le surcoût pour la consolidation d'un bâtiment en béton armé est évalué à 10 \$ par pied², à 2 ou 3 \$ par pied² pour un entrepôt, où des renforcements de joints de toiture peuvent suffire.

Les travaux de rattrapage sont justes prévus pour éviter les effondrements catastrophiques, mais pas pour empêcher une éventuelle démolition après un séisme.

Le responsable des travaux d'assainissement a des contacts avec les assurances, surtout avant les démolitions : il y a là le problème de la destruction de preuves.

Le Dr. Helmut Krawinkler, Directeur du John A. Blume Earthquake Engineering Center de l'Université de Stanford était un peu plus pessimiste lorsqu'il me déclarait :

"Il est très difficile de faire respecter des règles précises, il faut se servir de la "carotte". Le coût de la consolidation est si élevé que la population préfère prendre le risque de reconstruire si le séisme a endommagé leur habitation".

M. Kouichi Koshiumi, Directeur adjoint du "Building Guidance Division, Housing Bureau" du Ministère de la Construction, a rappelé d'entrée la finalité du code japonais :

- pas de dégâts acceptables pour faibles et moyens séismes,
- préservation de toutes les vies humaines pour un grand séisme, quelques dégâts matériels sont tolérés.

La durée de vie espérée d'un bâtiment et la fréquentation du bâtiment sont les priorités retenues pour une construction parasismique ; lorsque le bâtiment doit contenir des instruments de précision, il faut une isolation à la base.

M. Hiroshi Kaneko, Directeur adjoint du "Building Guidance Division, Housing Bureau" a insisté sur le fait que depuis l'édification des normes 1980, le contrôle sur tous les nouveaux bâtiments a été effectué par ce ministère, mais n'a pas précisé le nombre de fonctionnaires dont le ministère disposait pour cette mission.

Les travaux d'aménagement sont soumis à un mode d'évaluation à 3 niveaux. On n'utilise pour les évaluations les programmes informatiques que si les 2 premiers niveaux d'évaluation ne sont pas assez bons, donc pour des cas très précis.

La loi prévoit pour les bâtiments les plus exposés l'obligation des travaux sous peine de sanctions. Toutefois des incitations sont prévues :

- décote sur les impôts (société ou revenu)
- prêts bonifiés prioritaires mais jamais de subvention.

Les bâtiments les plus dangereux sont ceux de 5 à 10 étages, les grandes tours ont des normes très sévères à cause des grands vents.

Il avait été constaté pour les bâtiments (sauf écoles et hôpitaux qui sont du ressort de leurs ministères de tutelle) beaucoup de dégâts de cisaillement dans les rez-de-chaussée des constructions à 2 ou 3 étages en béton armé. Des études pour y remédier sont en cours.

Le patrimoine historique n'est pas concerné par ces travaux de mise aux normes.

Les réseaux -gaz, eau, électricité- sont de la compétence des municipalités, mais il peut y avoir une coopération des différents ministères en cas de séisme.

5-2-2-4 - quelques grandes réalisations dans le monde

Lors de la mission accomplie en Californie, votre Rapporteur a observé les travaux de mise aux normes parasismiques de certains bâtiments. Trois ont particulièrement retenus l'attention : un, achevé et qui a subi l'épreuve d'un séisme, et deux en cours de réalisation. Il s'agit dans le premier cas du centre 911 à Los Angeles, pour les deux autres des énormes travaux accomplis pour sauvegarder le City Hall d'Oakland et le Musée de la Légion d'Honneur à San Francisco.

Votre Rapporteur a donc visité le Centre de commandement des pompiers du comté de Los Angeles (Fire Command and Control Facility). Ce centre de commandes des pompiers, datant de 1984; représente un élément important dans l'organisation des secours de Los Angeles notamment à la suite d'un séisme, car il doit protéger le système pendant un séisme majeur, donc préserver le système de communication dans le centre principal.

L'ensemble du projet de ce centre 911 (bâtiments mais aussi services de communications) est de 40 millions de dollars. Le coût du bâtiment central était évalué à 5,6 millions de dollars ; dès lors pour le mettre aux normes parasismiques deux approches existaient : consolidation ou fondations spéciales

- consolidation : centre toujours fonctionnel mais 1 400 000 dollars de dégâts prévisibles
- isolation de la fondation, amortissement par caoutchouc qui absorbe l'énergie des séismes : 40 000 dollars de dégâts.

C'est la solution isolation qui a été choisie, et on peut estimer maintenant le coût du bâtiment à 6 millions de dollars.

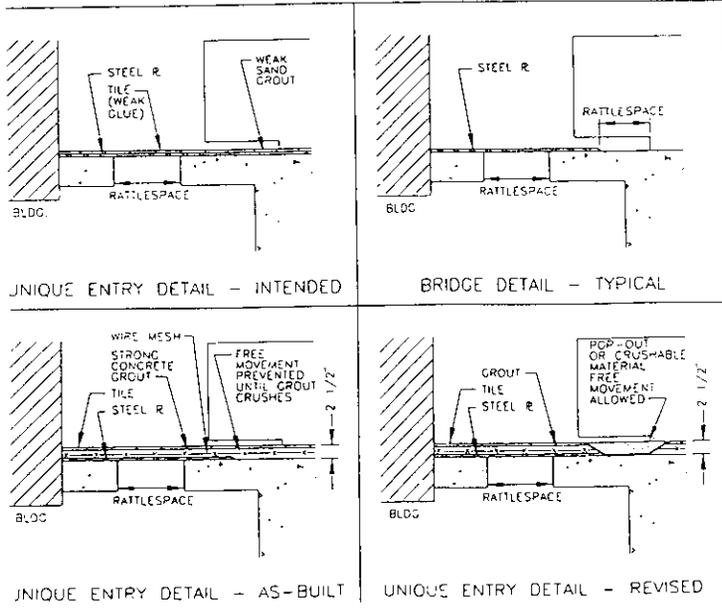
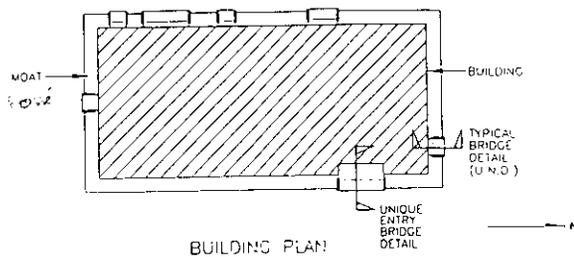
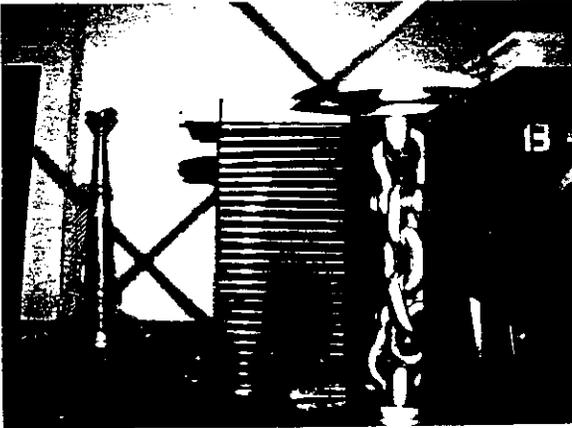
Depuis la réalisation de ces travaux d'isolation, 3 séismes majeurs ont été ressentis sans provoquer de dégâts au bâtiment, sinon mineurs, au niveau d'un joint qu'il a fallu remplacer.

Le séisme du 17 janvier 1994 n'a pas provoqué de dégât physique ; Dennis Martin, le manager du Centre 911, a eu l'impression d'être dans un bateau par temps calme, seul un joint de passerelle extérieure a du être revu.

Il y a eu une flexion, pour l'ensemble du bâtiment, d'un pouce en bas, d'un pouce et demi en haut, l'oscillation possible allant jusqu'à 15 pouces.

Toujours de l'avis de Dennis Martin, des bâtiments en structure acier peuvent absorber la plupart des séismes, mais les soudures sont toutes à vérifier après un séisme tel celui de Northridge.

Centre 911 de Los Angeles, d'après document AFPS Northridge



Dans le bâtiment voisin construit en 1951 selon les normes antinucléaires, avec des murs épais, tout le monde doit évacuer en cas de séisme ; par contre, dans le nouveau centre tout le monde reste à son poste, les responsables attendent les appels pour déterminer l'épicentre, grâce au programme informatique CUBE (*CALTECH-USGS Broadcast Earthquake*).

Ce bâtiment sur appuis parasismiques, à ossature métallique contreventée par palées de stabilité, est constitué d'un rez-de-chaussée et d'un étage (*photo*). Il repose sur 32 appuis en élastomère fretté, régulièrement espacés sous la structure suivant un quadrillage régulier de 8 appuis sur la longueur et 4 appuis sur la largeur.

Tous les appuis ont une section carrée de 40 cm de côté et une hauteur de 30 cm (*photo*). Ils sont constitués de 26 frettes de 3 mm d'épaisseur et de couches d'élastomère de 10 mm d'épaisseur environ. L'amortissement de ces appuis est de l'ordre de 15 %. Les appuis délimitant le périmètre du bâtiment possèdent une chaîne métallique logée à l'intérieur de l'appui lui-même. Le rôle de cette chaîne est de retenir la structure en cas de déplacements extrêmes. Les autres appuis situés à l'intérieur du périmètre du bâtiment ne contiennent pas ce dispositif.

Ces appuis sont dimensionnés pour résister à un séisme majeur, mais il fut avancé que la magnitude 8.3 semblait un maximum, sans autre précision.

Par ailleurs, le concepteur a prévu l'ancrage au sol et au plafond de certains équipements (armoires, tablettes, ...). Ceux-ci n'ont subi aucun dégât. Les ordinateurs qui étaient simplement posés n'ont pas souffert du séisme.

Les tuyauteries de gaz et d'eau sont pourvues de joints à rotules pour permettre les mouvements par rapport au sol.

La mission AFPS qui s'est rendue en Californie en février 1994 a mentionné dans son rapport de mission que les accélérations maximales enregistrées étaient les suivantes :

- en champ libre (à environ 30 m du bâtiment): 0,32g et 0,26 g dans les deux directions horizontales et 0,13 g en vertical,
- au niveau des fondations (sous les appuis) : 0,22 g et 0,18 g dans les deux directions horizontales et 0,11 g en vertical,
- dans la structure : 0,35 g en horizontal au rez-de-chaussée et 0,30 g en vertical.

Le joint évoqué et qui fut le seul dommage enregistré lors du séisme de 1994 est situé au niveau de l'accès principal du bâtiment et était prévu pour être "fusible" en cas de séisme (mortier de faible résistance et carrelage).

Ce "fusible" a bien joué son rôle lors du séisme de Landers, mais la réparation qui a suivi était plus rigide que celle prévue initialement. En effet, le joint a été remplacé par une couche de béton de quelques centimètres d'épaisseur, armée par un treillis métallique. L'AFPS note que cet événement met une nouvelle fois en lumière l'importance qu'il convient d'accorder, en zone sismique, au traitement des joints et d'une façon générale aux modifications de structures.

Les appuis parasismiques ont donc assuré leur fonction de supportage pendant le séisme pour les déplacements qu'ils ont subis (≈ 3 cm), ce qui a permis à l'installation de rester en fonctionnement et d'assurer l'organisation des secours nécessaires après le séisme.

Les deux autres réalisations étaient en cours de travaux en septembre 1994, sur le point de se terminer pour le City Hall et moins avancés pour le palais de la Légion d'Honneur.

Oakland, commune jouxtant San Francisco a pour mairie un bâtiment ancien, classé monument historique, non dimensionné aux normes parasismiques, mais les habitants y sont fortement attachés. Cet immeuble de 19 étages (dont 15 sont occupés) et d'environ 107 mètres de haut, est donc en cours de confortement tout en maintenant une activité administrative dans les étages supérieurs. En quoi consiste ce confortement ?

Le bâtiment a été littéralement découpé à sa base, et surélevé. Entre les fondations et les étages, 113 isolateurs de base (coussins de caoutchouc) ont été introduits, le bâtiment étant soulevé par des vérins puis reposant sur ces appuis parasismiques. Du caoutchouc liquide peut-être injecté dans ces supports, dès que l'élasticité voulue n'est plus obtenue. Cette opération de mise à niveau des coussins est prévue tous les 10 ans environ, le bâtiment sera à nouveau mis sur vérins, et soulevé par quartiers, le temps de procéder au renouvellement de la matière amortissante. Cette opération gigantesque est chiffrée à 76,8 millions de dollars et doit s'achever en mai 1995, soit après 47 mois de travaux.

Le musée de la Légion d'Honneur à San Francisco est une réplique du musée de la rue de Lille à Paris, à l'échelle 2/3. Offert par des mécènes américains, il est symbolique de l'amitié franco-américaine. Mais il est situé près d'une faille et donc très exposé. La solution adoptée est le ferrailage intérieur des murs. Estimant qu'il était impossible pour des entreprises de refaire les façades à l'identique actuellement, le palais est reconstruit totalement de l'intérieur. Les architectes en ont profité pour repenser l'aménagement intérieur et les sous-sols pour répondre aux besoins contemporains (accès pour les livreurs, salle audiovisuelle, restaurants, ...). Les fondations ont été recreusées et consolidées, les murs porteurs ont été renforcés par des ferrailages sur lesquels les panneaux ont été refixés. Le coût total de l'opération est de

plusieurs dizaines de millions de dollars, mais il est difficile d'imputer à la seule mise aux normes parasismiques cette dépense, de très nombreux aménagements de "confort" et de "facilités" ayant été introduits.

A Tokyo, votre Rapporteur a pu voir une réalisation particulièrement intéressante et qui nous touche directement : le lycée franco-japonais à Fujimi. Datant de 1967, le bâtiment avait été construit suivant les normes antisismiques de l'époque. Des travaux ponctuels avaient été réalisés : vannes de gaz se fermant automatiquement en cas de fortes secousses, vitrage antisismique de toutes les salles de classe. Cependant le Proviseur Claude Gernot avait réclamé après le séisme du 2 février 1992 un confortement de l'établissement, le seul en fait à n'avoir pas fait de travaux en ce sens dans le quartier. Grâce à la compréhension de la tutelle, les travaux pour une valeur de 6 millions de francs ont pu être réalisés et la mise aux normes effectuée durant l'été 1994. Ces travaux ont consisté en l'installation de 20 contreventements métalliques, pas toujours très esthétiques d'ailleurs, sur la plupart des baies et des espaces vides du rez-de-chaussée. Compte tenu du nombre d'enfants présents et de l'exiguïté voire de la praticabilité de l'issue de secours, il est souhaitable que l'accès principal soit opérationnel.

5-2-2-5 - les balbutiements en France

Comme on l'a vu précédemment, l'arrêté ministériel du 10 mai 1993 fixe les règles parasismiques applicables aux installations soumises à la législation sur les installations classées pour la protection de l'environnement et définit une méthodologie pour tout d'abord caractériser le risque sismique à prendre en considération sur un site déterminé et ensuite traduire les chargements mécaniques induits dans le dimensionnement des équipements devant faire l'objet de mesures de protection.

Les installations industrielles auxquelles cet arrêté s'applique sont répertoriées sous la mention "servitude d'utilité publique" dans la nomenclature des installations classées. Ce sont donc les usines potentiellement les plus nuisantes ou présentant les risques les plus importants, à l'exception de celles dont l'étude des dangers montre qu'elles ne présenteraient pas, en cas de séisme, des dangers d'incendie, d'explosion ou d'émanation de produits nocifs aggravant notablement les conséquences premières du séisme.

Pour les installations existantes dont l'activité pourrait conduire à aggraver notablement les conséquences d'un séisme, le texte prévoit la possibilité de rendre applicable tout ou partie des dispositions qu'il contient sous la forme de prescriptions techniques complémentaires.

Actuellement une opération que l'on peut qualifier de pilote se déroule en région Provence-Alpes-Côte d'Azur sous l'égide de la DRIRE.

La première étape est donc l'évaluation du comportement au séisme de certaines installations à risques technologiques.

Les installations concernées sont les suivantes :

- 1. les stockages de gaz toxiques liquéfiés sous pression ;
- 2. les unités de fabrication mettant en oeuvre des gaz toxiques en pression ;
- 3. les stockages de gaz inflammables liquéfiés sous pression.

Pour ces installations, il est nécessaire de réaliser une évaluation du comportement de leurs structures porteuses et de leurs équipements sensibles aux sollicitations définies par le spectre de réponse en fréquence caractérisant physiquement l'aléa sismique local.

Ce sujet est techniquement complexe et nécessite une approche méthodologique élaborée avec l'aide de spécialistes, afin qu'une telle évaluation soit suffisamment juste et fiable tout en admettant des hypothèses simplificatrices concernant notamment la caractérisation des installations objet de l'étude.

Pour l'aborder, la DRIRE propose d'associer dans un groupe de travail de la commission risques technologiques du S.P.P.I. un représentant de la direction technique locale et autant que possible un spécialiste national dans ce domaine de chaque société ou groupe industriel.

La première réunion de ce groupe de travail s'est tenue le 16 février 1995, avec l'ordre du jour suivant :

- contraintes sismiques à considérer,
- recensement des installations à examiner,
- caractérisation des différents types de matériels (sphères, réservoirs, réacteurs, canalisations,....) et équipements importants pour la sécurité,
- détermination des objectifs de ces travaux :
 - guide méthodologique d'analyse,
 - facteurs favorables et défavorables,
 - potentiel d'adaptation,
- choix d'experts et modalités de leur association aux travaux.

De telles mesures (maintien de l'intégrité des réservoirs de stockage, conservation de la fonctionnalité des équipements de sécurité) devront être

techniquement et économiquement réalisables comme l'impose la réglementation.

Les 14 établissements concernés sont essentiellement des raffineurs, des chimistes, des pétrochimistes de Fos-Etang de Berre. Le travail entrepris doit se poursuivre jusqu'au premier semestre de l'année 1996.

C'est un début pour la France, certes très encourageant et responsable, mais peut-on se permettre de n'entreprendre une telle démarche que j'encourage vivement qu'en une seule région ?

Il est vain de croire que sans aiguillon les travaux seront entrepris dans d'autres régions. Et il me semble tout aussi dangereux que la mise en conformité ne soit contrôlée par les DRIRE que lorsqu'une entreprise voudra modifier ses bâtiments ; il y aurait là un risque de paralysie de notre développement industriel ou une incitation à la non-déclaration de travaux vitaux pour certaines exploitations.

Aux Antilles, la situation s'amplifie par la conjonction d'aléa. Comme le rappelait M. Serge Lallier, un séisme peut induire un mouvement de terrain. On ne peut rien contre l'aléa, la seule action possible est la prévention : il faut protéger les vies humaines et l'existant. Pour cela, il faut instrumenter les failles à proximité de "failles actives", identifier les zones liquéfiables. Pour illustrer ses propos, il rappelle qu'un centre de secours en Martinique devait être construit sur une faille qui pourrait être active. Il faut absolument connaître davantage la nature du sol avant une telle construction.

Les PER, très longs à établir et chers, ont vécu. Les PPR devraient mieux répondre aux besoins. Les atlas communaux des aléas dont la DDE a la maîtrise d'oeuvre, sont en voie d'achèvement. Le BRGM les réalise et les présente aux élus. Mais pour l'instant, rien n'en a été fait, ces documents sont purement indicatifs. Le moindre mal serait de les utiliser comme base à la réalisation des futurs PPR.

L'adjoint au Directeur départemental de l'Equipement a insisté sur la nécessité de développer ces travaux dans toutes zones appelées à connaître un essor urbanistique. Les aléas sont souvent opposés aux enjeux, la cartographie communale met en valeur les aléas, pas toujours les enjeux. Lors de l'établissement du Schéma d'Aménagement Régional, il sera indispensable de connaître très précisément la nature du sous-sol des zones touristiques ou futures urbanisables, mais on peut regretter comme M. Max Etna que la cartographie des SAR soit effectuée au 1/100 000.

M. Michel Feuillard voit tout de même dans le SAR la possibilité d'harmoniser les POS, tout en laissant entier le problème de l'aménagement des bourgs du bord de mer que rien ne protège des raz-de-marée. Cette question qui aurait été posée à la DRM et au Ministère de l'Equipement ne semblait pas avoir obtenu de réponse à la date de ma mission.

5-3 - l'efficacité des constructions parasismiques et le contrôle de l'exécution des chantiers

Même le respect le plus strict des règlements parasismiques est inutile sans une bonne mise en oeuvre et une exécution sur chantier soignée, menée par des personnes responsables. La mauvaise exécution est hélas trop souvent la cause de désordres importants et de pertes humaines qui auraient pu être évités.

Un contrôle s'avère donc indispensable, avec un corps de contrôleurs particulièrement étoffé. Mais quand doit se dérouler ce contrôle ? A chaque stade de la construction ? Si un constructeur veut tricher, comment l'en empêcher ?

Pour l'instant, mis à part pour certaines installations -et notamment celles à risque spécial-, le contrôle sera un contrôle a posteriori lors d'un tremblement de terre. Les missions d'observation envoyées après séismes sont donc très utiles, même si elles ne font que relever les dysfonctionnements ou les manquements qui ont pu se produire.

Dans le rapport de mission AFPS après Northridge, M. Jacques Betbeder-Matibet tirait les premières conclusions :

"Le séisme de Northridge apparaît sans aucun doute comme un épisode important dans l'histoire du génie parasismique. Le nombre très élevé et la diversité des constructions qui ont été fortement secouées, le fait que la plupart d'entre elles aient été conçues suivant les normes parasismiques et la multiplicité des enregistrements obtenus sont des circonstances rarement réunies qui font de ce séisme un test en vraie grandeur, dont les activités de recherche, de validation des méthodes d'analyse, et de mise au point de la réglementation devraient tirer un grand profit. Plusieurs années seront vraisemblablement nécessaires pour exploiter complètement cette immense base de données.

Dans l'attente de ces travaux d'analyse et d'interprétation quelques conclusions de portée générale peuvent dès maintenant être tirées :

La faille dont le mouvement a causé le séisme n'était pas répertoriée parmi les failles potentiellement dangereuses de cette région où, dans un passé récent, d'autres séismes, tels que ceux de San Fernando (1971), Whittier Narrows (1987), Big Bear et Landers (1992), avaient également étonné beaucoup de spécialistes des analyses sismo-tectoniques. Que de telles surprises soient non seulement possibles, mais aussi relativement fréquentes, dans une zone aussi intensivement étudiée, est une leçon de modestie qui illustre les difficultés et les incertitudes des évaluations de l'aléa sismique.

Les nombreux enregistrements obtenus pour les mouvements de sol et les particularités remarquables qu'ils présentent soulignent la complexité et la diversité des phénomènes sismiques. Les responsables de la conception parasismique d'un ouvrage ne doivent jamais oublier à quel point l'action sismique peut être variable et que le fait de l'avoir codifiée dans un règlement ne les dispense pas de réfléchir aux conséquences d'un éventuel dépassement, notamment pour éviter les comportements de type fragile.

Le bilan des victimes, même si l'on doit considérer qu'il aurait été sensiblement aggravé si le séisme s'était produit pendant la journée, est remarquablement faible, compte tenu de la violence des secousses et du très grand nombre de bâtiments concernés. Ceci constitue un succès incontestable à l'actif du code parasismique Californien, bien qu'il y ait eu quelques effondrements spectaculaires (ponts, parkings). La comparaison avec des séismes récents ayant affecté d'autres pays (Arménie 1988, Iran 1990), qui ont chacun fait plusieurs dizaines de milliers de victimes, montre que la construction parasismique, jointe à une bonne préparation des agents de la Sécurité Civile et de la population, atteint effectivement l'objectif qu'elle s'est jusqu'à présent fixé, c'est-à-dire la sauvegarde des vies humaines.

De nombreuses constructions parasismiques récentes ont subi, sans dommages structuraux majeurs, des accélérations et des vitesses du sol nettement supérieures aux valeurs maximales actuellement retenues par le code Californien. D'autres, en moins grand nombre, ont été fortement endommagées. Certaines, enfin, ont été complètement ruinées. Si l'on admet, ce qui doit être vrai dans la grande majorité des cas, que le code a été correctement appliqué et que l'exécution a été de bonne qualité, ce constat montre que le coefficient de sécurité effectivement obtenu dépend fortement de la conception, certains types de structures présentant des réserves considérables de résistance, alors que d'autres sont très vulnérables vis-à-vis d'actions sismiques plus fortes que celles prises en compte dans les calculs.

L'analyse des dégâts observés souligne, une fois de plus, la nécessité d'une cohérence entre le schéma de résistance conçu par le projeteur et le comportement réel de la structure. Des dispositions constructives inadéquates ou des ajouts irréfléchis d'éléments non structuraux sont susceptibles de fragiliser considérablement des constructions dont la conception était initialement saine.

En dépit d'un comportement globalement très satisfaisant du parc immobilier vis-à-vis du risque d'effondrement, les pertes économiques ont été très lourdes (de l'ordre de 30 milliards de dollars) et font de ce séisme la plus grave catastrophe naturelle de l'histoire récente des Etats-Unis. Dans de nombreux cas où les structures ont bien résisté, des dégâts considérables ont été causés aux éléments non structuraux, aux équipements et au mobilier. On ne

saurait donc trop insister sur l'importance des bonnes dispositions d'installation pour le second oeuvre, qui n'ont peut-être pas reçu jusqu'ici toute l'attention nécessaire. Ce séisme contribuera certainement à une prise de conscience dans ce domaine."

Le séisme de Kobe, encore dénommé Hyogo-Ken Nambu, a confirmé des informations déjà connues pour la plupart. Des conclusions du groupe AFPS, on peut retenir les points suivants :

Les ruptures d'effort tranchant de poteaux ou de piles en béton armé, avec un ferrailage transversal insuffisant, sont observées une nouvelle fois. La violence des mouvements a dépassé le niveau de séisme modéré vis-à-vis duquel les règlements japonais visent à obtenir l'absence de dégâts et s'est approchée du séisme ultime pour lequel on se borne à prévenir l'effondrement.

Du point de vue de la résistance des structures au séisme, la situation est similaire à Tokyo et à Kobe, ces deux régions étant en particulier placées par les codes de dimensionnement dans la même zone sismique. Certaines autoroutes aériennes sont plus anciennes que l'autoroute Hanshin, terminée en 1970, qui s'est effondrée à Kobe sur plusieurs centaines de mètres.

Le génie parasismique est une véritable science en évolution continue et les indications données seront sans doute complétées à l'aide des enseignements tirés de l'observation in situ des séismes à venir.

Les règles exposées sont simples, mais les derniers séismes ont montré que ces règles n'étaient pas toujours respectées. Il est bon que la préoccupation parasismique soit intégrée dès les premières phases de la conception du projet, au même titre que l'étanchéité ou l'isolation. Cette approche doit devenir un réflexe et la réglementation un aiguillon.

5-4 - le cas spécifique des Petites Antilles

Le problème des permis de construire est le problème crucial rencontré aux Antilles. Selon le Président de l'Ordre des architectes de Martinique, 80 % des constructions seraient effectuées sans permis de construire (dans les autres réunions, un consensus semblait se dégager sur une estimation de 50 %).

Sur les constructions avec permis de construire, l'interprétation sur le recours à un architecte pour les constructions de 170 m² fait que 83 % d'entr'elles sont inférieures à 169,90 m². Et il n'est qu'à constater que nombre de ces demeures s'adjoignent ensuite d'annexes, fragilisant l'ensemble, dépassant toute mesure.

La responsabilité des politiques, à tous les niveaux, est bien engagée ici, mais cette critique est plus facile à énoncer qu'à réaliser.

Un autre problème évoqué par les techniciens est celui du manque de réel contrôle à l'entrée sur les îles des matériaux de construction, notamment pour les fers à béton.

Grâce au programme GEMETIS, la vulnérabilité des bâtiments de Pointe-à-Pitre fait l'objet d'une étude. Une approche générale, par blocs d'immeubles, sera disponible.

Si un séisme majeur survient, les secours ne pourront venir de l'extérieur car les ports et les pistes des aéroports seront certainement endommagés ; il faudra réparer en première urgence avec les moyens disponibles.

De même, l'hôpital régional avec ses grandes baies vitrées inquiète la plupart des techniciens -privés ou publics- et les associations s'en font le relais auprès des populations, alors que les autorités administratives affichent un optimisme certain.

6 - LA FORMATION ET L'INFORMATION, OU COMMENT ETRE CREDIBLE SUR UN RISQUE AUSSI ALEATOIRE ?

C'est en effet bien le problème de la crédibilité qui se pose ici. Il y a une quasi-certitude que le territoire national subira en un quelconque endroit, dans un temps indéterminé, un séisme de magnitude supérieure à 7 sur l'échelle de Richter et d'intensité X. Comment se préparer à cette catastrophe ? Comment motiver des habitants qui n'ont jamais vécu de tremblements de terre et n'en vivront certainement jamais ? Cela étant, il est impossible de faire l'impasse sur cette possible catastrophe et il faut pour cela s'y préparer sereinement.

6-1 - formation : cursus en génie parasismique

Les tremblements de terre sont une menace permanente pour les vies humaines, pour le parc immobilier, ainsi que pour l'économie de nombreuses régions. Plus de 90 % de décès qu'ils occasionnent sont dus à l'effondrement de constructions. La seule prévention efficace contre ce fléau est donc la construction parasismique des bâtiments neufs et le confortement préventif du bâti existant.

L'architecte peut avoir dans ce domaine une action déterminante. Les études postsismiques montrent que les dommages graves aux bâtiments sont en grande partie directement imputables à des erreurs et négligences commises par les concepteurs de projet. En zone épiscopale, parmi les bâtiments semblables calculés conformément aux règles parasismiques, seuls ceux dont la conception architecturale est correcte au plan parasismique échappent à des dommages importants ou à la destruction sous action sismique violente. En effet, les bâtiments sont réglementairement calculés pour une intensité sismique inférieure à celle des grands tremblements de terre survenus dans le passé, comme ceux de Nice (intensité X), de Lambesc en Provence (intensité IX) ou de Bâle (intensité X), la probabilité qu'une construction se trouve durant son existence à proximité de l'épicentre d'un tel séisme étant très faible.

Ainsi, des ouvrages construits suivant des normes parasismiques anciennes se sont effondrés, pour ne citer que les événements les plus récents, à Kobe en 1995, à Los Angeles en 1994, en Turquie en 1992, à San Francisco en 1989 et en Arménie en 1988. En revanche, on a observé que des bâtiments correctement conçus aux niveaux de l'avant-projet et du projet d'exécution ont résisté aux séismes les plus violents.

Une formation adéquate des concepteurs de projet, actuellement absente du programme d'enseignement de la plupart des écoles d'architecture françaises, apparaît par conséquent comme indispensable.

A la connaissance de votre Rapporteur, seule l'École d'Architecture de Marseille-Luminy propose, dans le cadre d'un troisième cycle, un certificat d'études approfondies en architecture parasismique dont le responsable scientifique de la formation est Milan Zacek. Originalité de cette formation, elle s'adresse à des architectes mais aussi à des ingénieurs. Mais si cette formation est mondialement appréciée, cela est dû à la très grande qualité des enseignants, on ne peut que regretter que bien peu d'architectes et de futurs architectes français se sentent concernés.

L'École d'Architecture et du Paysage de Bordeaux a mené une étude en 1991, à la demande de la DRM, sur l'historique et la théorisation du risque et les réponses apportées par l'architecture et le paysage. Cette étude, dirigée par Alain Billard, remise en son temps, portant essentiellement sur le risque inondation, n'est toujours pas publiée et ceci est fort dommageable quant à la crédibilité de travaux ainsi commandés et à l'usage réel qui devait en être fait. Dans le cadre de la 3^{ème} année d'un programme TEMPUS, avec la Belgique (École de La Cambre) et la Bulgarie (Institut de Sofia), 21 étudiants se sont formés sur les risques en 1994-1995. Un projet avec l'Université de Lusiada à Porto et l'Institut d'architecture de Liverpool, lié à la problématique des ports sur l'Atlantique et donc des risques du littoral, est à l'état embryonnaire actuellement. Mais d'ores et déjà, existent des cours sur l'ensemble des risques, cours sanctionnés par un certificat par semestre en 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} année. Un 3^{ème} cycle "Aménagement et Architecture au regard des risques environnementaux", sur deux semestres, est également mis en place.

Victor Davidovici, sa modestie dut-elle en souffrir, que l'on peut considérer comme l'un des pères du génie parasismique en France, avait fait établir un état de l'enseignement et de la recherche en génie parasismique et dynamique des structures de génie civil, dans les établissements publics et parapublics. Cet état a été publié en mai 1991 et n'a guère évolué depuis.

Le bilan était le suivant : 37 équipes pédagogiques dispensent l'enseignement du génie parasismique et de la dynamique des structures ; 25 centres de recherche travaillent dans ces domaines. Mais cet enseignement est assez disparate et Victor Davidovici considère que la recherche n'est pas au niveau du potentiel disponible.

Au plan de l'enseignement supérieur, il n'existe pas de cursus bien individualisé en matière de génie parasismique, même si plusieurs écoles et universités proposent des modules ou certificats spécialisés (Ecoles centrales de

Lyon et Paris, Ecole des Ponts et Chaussées, Ecole des Mines, Ecole nationale supérieure de géologie de Nancy, Institut des sciences et techniques de Grenoble, etc.). Les enseignements universitaires restent plutôt orientés vers la physique du Globe (sismologie fondamentale) et n'intègrent encore que très peu, des éléments de sismologie de l'ingénieur.

C'était pourtant une recommandation véhémente du rapport de 1982 de l'Académie des Sciences. Un effort important reste donc à engager pour créer des enseignements de troisième cycle spécialisés, des cycles de fin d'étude d'écoles d'ingénieurs et des formations plus techniques (DUT, maîtrises, mastères, etc.).

Le Président de l'AFPS M. Alain Pecker, qui est aussi professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées, souhaitait mettre en place un master en génie parasismique, la direction de l'Ecole a refusé. L'Ecole Centrale de Lyon a également un projet, nécessitant au moins 4 mois de stage, ce n'est toujours qu'un projet.

Le génie parasismique en fait est une science qui dérange les habitudes dans de nombreux cas ; les superbes études réalisées dans nombre d'écoles d'architecture ne peuvent donner lieu à une réalisation correcte. Et plutôt que de revoir le contenu des formations en y impliquant le génie parasismique, on l'ignore totalement, tant de la part d'un certain nombre d'enseignants que des élèves dont l'enthousiasme s'évanouit avec l'avancée dans le programme.

Il serait donc souhaitable, si l'on veut que se développe une culture parasismique plus particulièrement ou même du risque en général, de prévoir cet enseignement de manière obligatoire dans un certain nombre d'établissements, tant pour les architectes que pour les ingénieurs.

6-2 - information :

L'article 21 de la loi 87-565 du 22 juillet 1987 relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des risques majeurs mentionne que : "les citoyens ont un droit à l'information sur les risques majeurs auxquels ils sont soumis dans certaines zones du territoire et sur les mesures de sauvegarde qui les concernent".

Le décret 90-918 du 11 octobre 1990 relatif à l'exercice du droit d'information demande que les communes, où il existe un risque majeur, établissent un dossier d'information répondant aux mesures de sauvegarde face à ce risque et le mettent à la disposition de la population, à la Mairie.

SEISMES

SITUATION

Avignon et ses environs n'ont pas été épargnés par les séismes, notamment en 1428 (Avignon même), 1738 (Carpentras), 1769, (Bédarides), 1863 (Lagnex), 1887 (Cavillon), 1909 (Lambesc).

Comme la majeure partie du Vaucluse, Avignon est classée en zone de sismicité I a, c'est-à-dire dans une zone où aucun séisme d'intensité supérieure à VIII sur l'échelle MSK n'est connue.

L'intensité d'un séisme est déterminée par les observations visuelles (dégâts aux constructions) et à l'aide des échelles MSK ou Mercalli qui comprennent 12 degrés.

Le degré VIII sur l'échelle MSK se caractérise par la rupture de canalisations, par l'effondrement des murs de pierres, des petits glissements de terrain dans les ravins, des crevasses dans le sol pouvant atteindre plusieurs centimètres, un changement dans le débit et le niveau de l'eau, des dommages sérieux sur des bâtiments en béton armé.

Un séisme est également caractérisé par sa magnitude qui correspond à la quantité d'énergie libérée par les ondes sismiques, mesurée par instruments à partir de l'échelle de Richter comprenant 9 degrés.

Il n'existe pas de correspondance entre intensité et magnitude.

On peut cependant citer l'exemple du séisme de Lambesc, où pour une intensité de VIII sur l'échelle MSK ou Mercalli, la magnitude a été évaluée à 6 sur l'échelle de Richter.

PREVENTION

Les règles parasismiques 1969 et 1982 sont imposées par décrets ou arrêtés pour la construction de

différents types d'immeubles de grande hauteur et d'établissements recevant du public.

Le décret du 21 septembre 1977 prescrit la prise en compte du séisme dans les études de danger des installations classées.

Les décrets autorisant la construction des centrales nucléaires prescrivent également la prise en compte d'un niveau élevé de séisme.

PREVISIONS ET MESURES

Aucune méthode scientifique ne permet actuellement de prévoir de manière certaine le moment où surviendra un séisme. Toutes les expériences réalisées dans divers pays, dont la France, constituent des recherches qui ne sont pas utilisables opérationnellement. Une alerte de la population par les services chargés des secours n'est donc pas possible.

Les sapeurs-pompiers disposent d'équipes spécialisées en sauvetage-déblaiement, susceptibles d'intervenir rapidement en cas de séisme et de s'acquitter de toutes les missions de reconnaissance, d'écoute, de sauvetage, d'étalement, de percement. Leurs équipes cynophiles participent au secours.

Une structure élaborée est de plus mise en place : poste de commandement mobile, poste médical avancé et chaîne médicale.

La DDASS en liaison avec le service communal d'hygiène et de santé :

- met éventuellement en alerte les services d'aide médicale urgente (Samu) ;

- met en œuvre avec la Protection civile et les communes un plan d'hébergement ;

- évalue les effets sur les ouvrages d'alimentation en eau et d'assainissement ;

- définit les mesures palliatives

pour assurer l'alimentation en eau et l'évacuation des eaux usées ;

- évalue les risques d'apparition des maladies contagieuses et propose des mesures préventives (vaccination, désinfection) en liaison avec le Conseil général.

CONSIGNES

Lorsque vous ressentez les premières secousses :

- si vous êtes dans un bâtiment, abritez-vous sous une table solide, sous un lit, ou à l'angle d'un mur, éloignez-vous des fenêtres ou des vitrages, ne fumez plus ;

- si vous êtes dans la rue, éloignez-vous des constructions ou à défaut, abritez-vous sous un porche ; éloignez-vous des lignes électriques ;

- si vous êtes dans une voiture, restez-y et éloignez-vous de ce qui risque de tomber. La suspension peut vous faire balancer fortement et longtemps, mais vous ne risquez rien. Dès que les premières secousses sont terminées :

- si vous êtes dans un bâtiment, coupez l'eau, le gaz et l'électricité. Si vous êtes chez vous, prenez vos objets de première nécessité (et en hiver une couverture). Evacuez le bâtiment par les escaliers ;

- surtout ne pas utiliser l'ascenseur ; éloignez-vous des constructions, dirigez-vous vers un endroit isolé, en prenant garde aux chutes d'objets ;

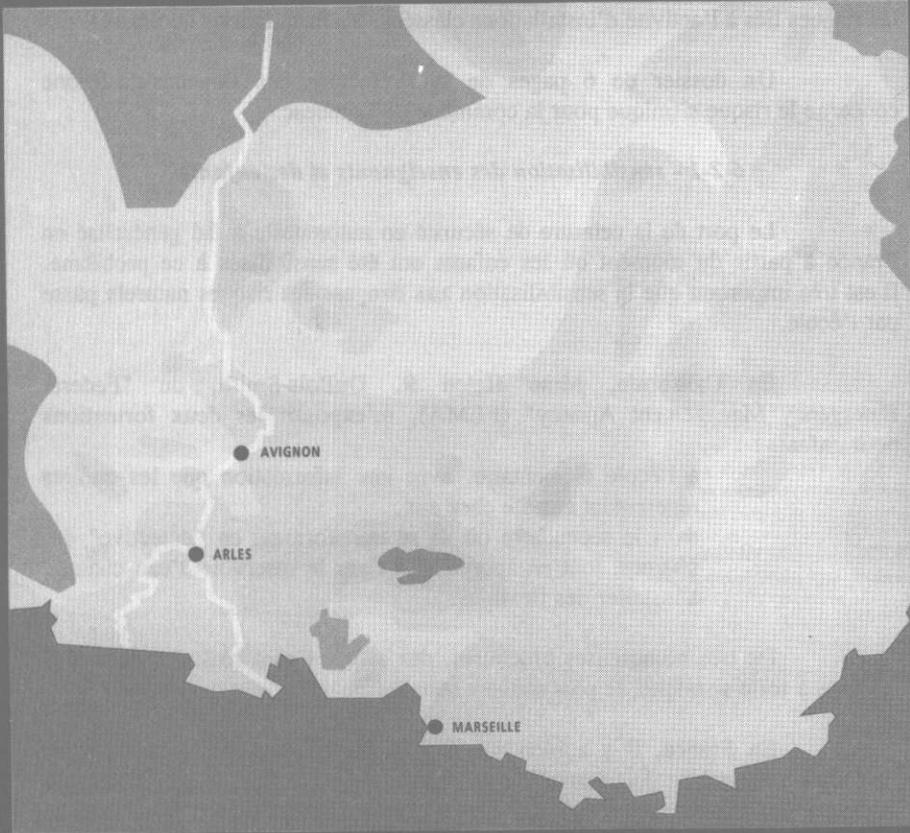
- ne téléphonez pas, ne fumez pas ; après le séisme, ne pas rentrer dans les immeubles ;

- lorsque cela n'est pas possible, se positionner dans un secteur de survie (sous un meuble, dans un coin de pièce) ;

- en cas d'ensevelissement, se manifester en tapant contre les parois ;

- commencez dans la mesure de vos moyens, à dégager les ensevelis éventuels ;

- tenez-vous à l'écoute des radios locales.



-  Intensite M.S.K. 5
-  Intensite M.S.K. 6
-  Intensite M.S.K. 7
-  Intensite M.S.K. 8
-  Intensite M.S.K. 9

Un certain nombre de préfectures ont établi des dossiers synthétiques sur l'ensemble des risques majeurs, naturels et technologiques ou d'autres plus particuliers sur un risque.

Le dossier de la Préfecture du Vaucluse pour Avignon est un dossier synthétique de 20 pages concernant les inondations, les chutes de neige et les grands froids, les séismes (reproduction ci-après), les feux de forêts, la rupture de grands barrages, les accidents de transport de matières dangereuses, les risques liés à l'activité d'installations classées, les installations nucléaires.

Un dossier de 6 pages de la Préfecture des Bouches-du-Rhône concerne le risque sismique pour la commune de Lambesc.

6-2-1 - sensibilisation des enseignants et des enfants

Le port de la ceinture de sécurité en automobile a été généralisé en France à partir du moment où les enfants ont été sensibilisés à ce problème. Il est très important que la sensibilisation aux dangers des risques naturels passe par l'école.

En Californie, Mme Helen R. DuBois-Smith, du "Federal Emergency Management Agency" (FEMA), m'exposait les deux formations pour enfants :

- à l'école élémentaire, avec une information que les enfants répercutent ensuite chez eux,
- dans le secondaire où ils se transforment en "détective" des séismes, tout en apprenant à fixer le réservoir d'eau chaude, à installer des flexibles.

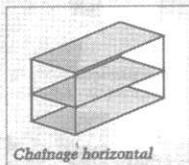
De très nombreuses brochures, des affiches sont réalisées dans tous les pays à forte sismicité, le plus souvent sous forme de bandes dessinées.

En France, il y a bien sûr des efforts qui sont faits en ce sens. Le Centre national de documentation pédagogique avec l'aide de spécialistes du ministère de l'environnement (DRM notamment) et du secrétariat général de la défense nationale a produit une mallette pédagogique, très exhaustive, très pédagogique mais trop peu connue, trop peu exploitée. Pourquoi ? Cette mallette (en fait elle comprend une vingtaine de livrets de 50 pages en moyenne, 150 diapositives, une cassette audiovisuelle de 14 minutes) est diffusée par le CRDP de Dijon, où l'accueil est parfois difficile, souvenir de mon expérience quand j'ai voulu me la procurer. De plus cet outil coûte cher, voire très cher pour le budget de nos écoles.

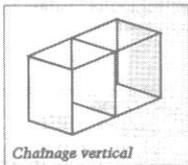
L'exécution

Les matériaux choisis doivent être de bonne qualité et leur mise en œuvre doit être très soignée.

C'est pourquoi il conviendra de prêter attention à l'exécution si on utilise des murs en briques, parpaings ou pierres.



Chaînage horizontal



Chaînage vertical

Lors de l'exécution il faudra mettre en place des chaînages verticaux et horizontaux (murs, planchers, longrines, armatures...) qui permettent la continuité de la structure.

Les joints, larges au moins de 4 cm et les plans, devront être particulièrement soignés.



À S'ADRESSER ?

Pour plus d'informations sur le risque sismique, contacter :

La Mairie de votre commune

La Direction Départementale de l'Équipement

Le Conseil d'Architecture, d'Urbanisme et d'Environnement du Département.

La construction en zone parasismique est délicate. Dans votre intérêt il convient de vous adresser à des professionnels expérimentés.

En cas de séisme

AVANT

- "Repérer" les points de coupure du gaz, eau, électricité.
- Fixer les appareils et les meubles lourds.
- Préparer un plan de regroupement familial.

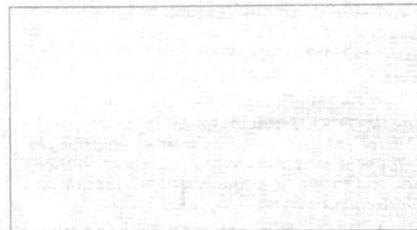
PENDANT

- **Rester où l'on est :**
 - à l'intérieur : se mettre près d'un mur, d'une colonne porteuse, ou sous des meubles solides, s'éloigner des fenêtres ;
 - à l'extérieur : ne pas rester sous des fils électriques ou ce qui peut s'effondrer (ponts, corniches, toitures...) ;
 - en voiture : s'arrêter et ne pas descendre avant la fin des secousses.
- Se protéger la tête avec les bras.
- Ne pas allumer de flamme.

APRÈS

- Après la première secousse, se méfier des répliques : il peut y avoir d'autres secousses.
- Ne pas prendre les ascenseurs pour quitter un immeuble.
- Vérifier l'eau, le gaz, l'électricité : en cas de fuite, ouvrir les fenêtres et les portes, se sauver et prévenir les autorités.
- S'éloigner des zones côtières, même longtemps après la fin des secousses, en raison d'éventuels raz-de-marée.

Cachet de l'organisme diffuseur :



INFORMATION
PREVENTIVE

Construction
en zone
sismique



UNE NOUVELLE
REGLEMENTATION

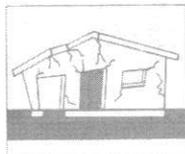
POUR SE
PROTEGER

Règles obligatoires
pour les nouvelles
constructions
à compter du :
1^{er} août 1993 (cas général)
1^{er} août 1994
(maisons individuelles)

MINISTÈRE DE
L'ENVIRONNEMENT

De nouvelles normes obligatoires pour plus de sécurité

Les règles de construction applicables dans les régions sujettes aux séismes, (tremblements de terre), ont pour principal objet de proportionner la résistance des constructions aux secousses sévères, pour leur permettre un comportement qui assure la sauvegarde des vies humaines. Elles tendent aussi à limiter les dommages subis par les constructions.



Les constructeurs, les particuliers, les architectes, les entrepreneurs et les artisans doivent désormais tenir compte de ces règles, dans la conception et la construction de tous les nouveaux bâtiments.

Le respect et la vérification des règles de construction parasismique sont de leur responsabilité.

ATTENTION :

La conformité aux règles de construction parasismique n'est pas techniquement vérifiée par l'autorité qui accorde le permis de construire.



DOCUMENTS D'URBANISME

Le Plan d'Occupation des Sols (P.O.S.) et le Plan d'Exposition aux Risques (P.E.R.) peuvent donner des indications précieuses.

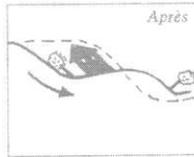
Ces documents d'urbanisme sont consultables en mairie.

Le Terrain

Un terrain à construire est caractérisé notamment par sa catégorie, c'est-à-dire la composition du sous-sol, et la topographie (relief).



Chute de blocs de pierre



Glissement de terrain

Dans certains cas les séismes peuvent déclencher des chutes de blocs de pierre (ci-contre) ou des mouvements de terrain (ci-dessous).

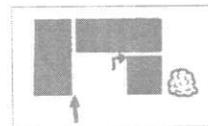
En cas de doute sur la nature du terrain : consulter un géologue.

Cette brochure a été réalisée par Pascal PINET de la DIREN PACA, avec le concours de Victor DAVIDOVICI et sous le contrôle du groupe d'études et de protections en matière de prévention du risque sismique, présidé par l'Ingénieur général Jacques TANZI.

Le Projet

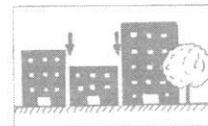
Les dispositions parasismiques doivent être prises en compte dès l'esquisse, respectées tout au long de la conception et achevées avec l'exécution.

Le plan de masse est découpé en blocs rectangulaires par des joints "parasismiques".

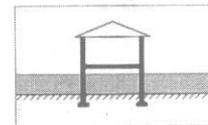


Joints parasismiques

En élévation, de grandes différences de hauteur sont à éviter, sauf si des joints parasismiques sont prévus. Les joints (plus de 4 cm) sont vides de tous matériaux.



Les fondations doivent descendre jusqu'au sol résistant.



La structure du bâtiment doit être aussi simple et symétrique que possible. La structure doit être suffisante pour transférer les forces d'origine sismique.

POINTS DELICATS

- balcons et auvents
- avant toits
- souches de cheminées
- garde corps

Il faut donc en améliorer sa diffusion, en la rendant accessible à tous, tant par le prix que par l'aléa examiné.

Le risque "avalanche" n'a pas le même intérêt pour la Martinique que pour l'Isère, inversement le risque "cyclone" sera plus demandé dans les DOM qu'en métropole.

Des exemples sporadiques de formation aux risques se développent. Ainsi, à Lambesc, un samedi de formation a réuni 23 enseignants volontaires à cette sensibilisation. Mais à part cet exemple, et vraisemblablement une équipe qui travaille sur le sujet dans l'académie de Bordeaux et une autre dans celle de Toulouse, combien d'enseignants en France métropolitaine se sentent-ils concernés ? Cette formation "Risques majeurs et Environnement" a été proposée dans les stages MAFPEN, 7 000 journées/stagiaire étaient prévues pour l'année scolaire 1993-1994. Cet effort ne pourrait-il être développé et inclus dès la formation professionnelle des futurs enseignants ?

Pourtant une circulaire 91-324 du 10 décembre 1991 du ministère de l'Éducation nationale prévoit une formation des professeurs des lycées et collèges. Indépendamment de la mallette qui est considérée comme l'une des deux actions à mener, des équipes de formateurs au risque majeur et à l'environnement devraient être mises en place dans chaque académie (il y en aurait, à la rentrée scolaire 1994, 31 équipes constituées, soit 250 formateurs).

Lors de ma mission en Martinique, l'un des deux départements les plus exposés de France, j'ai rencontré des gens très compétents et qui déploient d'énormes efforts pour mener à bien un projet pédagogique sur la sensibilisation aux risques naturels. A noter cependant la volonté des autorités, rectorat et inspection académique, de confier à deux fonctionnaires (un professeur de lycée détaché à cet effet et une conseillère pédagogique) la tâche de mener cette formation.

M. Max Deleray, professeur de lycée est le responsable de la sensibilisation aux risques pour l'enseignement secondaire. Il a constitué des équipes mixtes de formateurs (enseignants formés, professionnels de la protection civile et spécialistes des risques naturels et technologiques) et pour chaque établissement secondaire il cherche à mettre en place un "Groupe sécurité aux risques majeurs" de 15 à 20 stagiaires, avec une cellule de crise composée de 6 à 8 membres. Après un exercice de simulation d'un séisme au collège Petit Manoir du Lamentin le 26 octobre 1992 lors de l'Université d'été sur les risques naturels majeurs, l'action s'est poursuivie par l'élaboration du plan d'organisation des Secours dans un Etablissement Scolaire face à un Accident Majeur (Plan SESAM) ayant un support vidéo de présentation et la réalisation de documents simples, par établissement, des recommandations en cas de séismes (document de 8 pages à l'usage du personnel de l'établissement du collège des Terres Sainville, document de 4 pages à l'usage des élèves, document de 4 pages à l'usage des parents d'élèves).

**VULNERABILITE DU COLLEGE DES TERRES
SAINVILLE VIS-A-VIS DU RISQUE SISMIQUE
FACTEURS TECHNIQUES ET HUMAINS DE RISQUE
RECOMMANDATIONS**

A L'USAGE DU PERSONNEL DU COLLEGE

Sommaire

- ☞ Vulnérabilité des usagers du collège en cas de séisme: les principaux résultats de l'enquête réalisée en septembre 1992 auprès des élèves de quatre classes (6° et 4) et du personnel du collège
- ☞ Problèmes techniques posés par le collège en cas de séisme et conséquences en matière de gestion d'une situation de crise
- ☞ La zone de refuge (Place de l'abbé Grégoire): problèmes à considérer
- ☞ Que faire lors d'un séisme alors que vous êtes en classe avec les élèves ou que les élèves se trouvent en récréation?
- ☞ La prise en compte du risque sismique au collège des Terres Sainville: une expérience pilote

Les consignes et les informations présentées dans ce document constituent avant tout une base. Tous les cas de figure prévisibles ne sont pas évoqués. Pour de plus amples informations, adressez-vous au groupe "Sécurité aux risques majeurs" ou aux membres de la cellule de crise de votre collège.

VULNERABILITE DES USAGERS DU COLLEGE EN CAS DE SEISME LES PRINCIPAUX RESULTATS DE L'ENQUETE

LES ELEVES

- ↳ Perception du risque
 - une perception du risque dans l'ensemble élevée et cohérente
 - le risque sismique est considéré comme le plus grave
- ↳ Connaissance des moyens de protection en cas de séisme
 - en cas de séisme, seules les mesures de protection s'appliquant lorsqu'on se trouve à l'intérieur d'un édifice sont relativement connues
 - elles sont généralement ignorées dans d'autres situations qui verraient les enfants totalement désemparés
 - connaissance souvent mécanique des moyens de protection ou jeu de l'intuition
- ↳ Connaissance et reconnaissance du phénomène sismique
 - connaissance insuffisante du phénomène sismique et de ses manifestations
 - absence d'expérience personnelle en matière de séisme
 - un séisme ne sera pas forcément reconnu immédiatement
- ↳ Sources d'information
 - les sources d'information dont disposent les élèves en matière de risque et de prévention sont nombreuses en apparence (médias, famille, école)
 - mais elles pèchent par leurs insuffisances et/ou leur inadaptation
- ↳ Sentiment de sécurité
 - en cas d'urgence, les enfants ne trouveraient pas à l'école (auprès des adultes et notamment des professeurs), une compensation affective de ce qu'ils rencontreraient à la maison auprès de leurs parents
 - cela est en partie lié à la faible implication et au peu de crédibilité des enseignants en matière de gestion des risques
- ↳ Vulnérabilité plus importante des plus jeunes

Si tous les élèves présentent des points de faiblesse, les élèves de 6^e, surtout en début d'année scolaire, sont les plus vulnérables et méritent une attention spécifique:

 - un bagage d'informations inférieur
 - des réactions plus intuitives que réfléchies
 - rôle plus important de l'affectif
 - moindre connaissance des locaux
- ↳ Maturité des élèves vis-à-vis de la question du risque
 - de nombreux élèves qui ont conscience de leurs faiblesses
 - des besoins clairement exprimés en matière d'éducation (contenu et moyens)



**Si les adultes le veulent, il est donc possible
d'agir efficacement avec les élèves**

LE PERSONNEL ADULTE

Perception du risque

- la majorité estime que le risque sismique est le risque le plus à craindre pour le collège
- mais une forte minorité tend à sous-estimer ce risque (surtout en raison d'une sur-estimation de la capacité de résistance du bâti)

Connaissance des moyens de protection en cas de séisme

- les consignes de sécurité devant être appliquées en classe sont à peu près connues par tous, mais
 - contradictions et erreurs lorsqu'il s'agit:
 - de sortir de la classe avec les élèves après que les secousses aient cessé
 - de faire face à un séisme survenant alors que les élèves se trouvent à l'extérieur au moment du séisme

Gestion d'une situation de crise sismique

- libre jeu de l'intuition, chacun a sa solution (parfois valable en théorie, inefficace en pratique)
- à l'action individuelle d'un professeur en classe avec les élèves, se substitue, dès lors que l'on franchit le seuil de la porte, une action collective à l'échelle de l'établissement et dans ce domaine, il n'existe clairement aucune concertation.
- de toute évidence, sans formation spécifique, le personnel du collège aurait de grandes difficultés à gérer efficacement une situation de crise

Crédibilité du personnel vis-à-vis des élèves

- Crédibilité sécurisante du personnel vis-à-vis des élèves, insuffisante
- Motivation très inégale du personnel
- Besoin de formation et d'implication personnelle

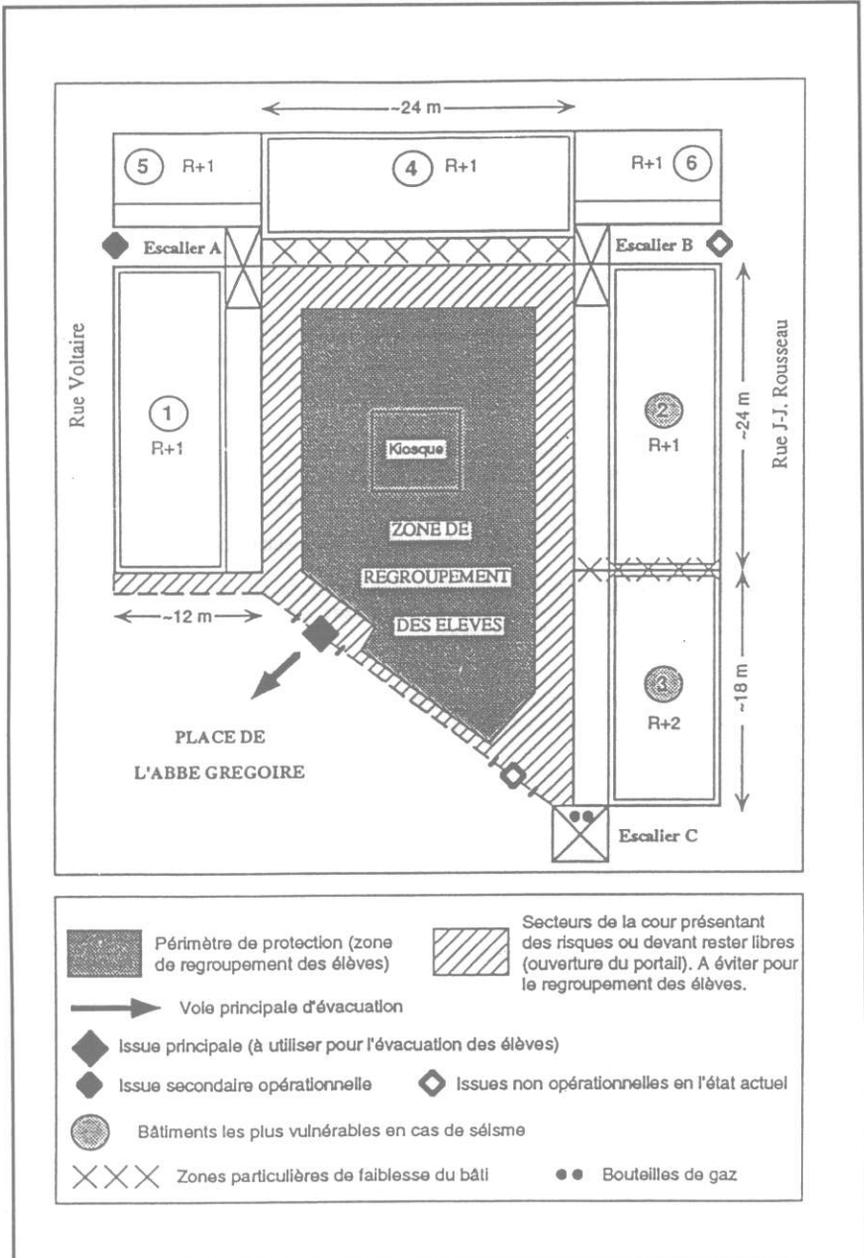
Conscience des faiblesses

Plusieurs membres du personnel sont conscients de leurs propres faiblesses, notamment en matière de gestion collective d'une situation de crise

Des facteurs de risque mais aussi des potentialités

- Forte motivation de certains adultes
- Formation "Risques majeurs" reçue par plusieurs membres du personnel en 1994
- Les stagiaires constituent la base du groupe "Sécurité aux risques majeurs"
- Plan interne de prévention et de gestion des crises en préparation

Document à l'usage du personnel du collège (4/8)



PROBLEMES TECHNIQUES POSES PAR LE COLLEGE EN CAS DE SEISME ET CONSEQUENCES EN MATIERE DE GESTION D'UNE SITUATION DE CRISE

Problèmes techniques

↳ Le collège des Terres-Sainville est un viail établissement érigé en 1932. Il a été agrandi et a subi de nombreuses transformations par la suite. La disparité des partis constructifs des différents corps de bâtiment n'est pas un élément favorable du point de vue de la protection parasismique. Aussi, la résistance aux séismes est-elle considérée comme médiocre pour l'ensemble de l'établissement.

↳ Certains bâtiments (ou parties de bâtiments) sont néanmoins plus vulnérables que d'autres en raison de faiblesses structurales davantage marquées. Il s'agit de les connaître et de les prendre en compte lors d'une éventuelle crise sismique entraînant l'évacuation des classes et du collège. Il s'agit notamment :

- du bâtiment 4 présentant une excentricité structurale résultant de coursives en porte-à-faux;
- des bâtiments 2 et 3 entre lesquels l'absence de joint de dilatation risque, en cas de séisme, de produire des mouvements de torsion d'axes verticaux auxquels ne auraient résister les potelets supportant les coursives.

Conséquences pour la gestion d'une situation d'urgence

(notamment en cas de nécessité d'évacuer le collège après un séisme de forte intensité)

↳ Les élèves situés aux étages ne pourront être évacués vers la cour qu'après un contrôle de la résistance des balcons (notamment ceux des bâtiments 2, 3 et 4) et une vérification de la praticabilité des trois escaliers permettant d'accéder à la cour;

↳ L'accès à la cour ne devrait pas poser de problème majeur aux élèves provenant des classes situées au rez-de-chaussée, encore s'agit-il de se méfier des éléments pouvant tomber du toit, des balcons et des façades;

↳ En attendant d'être évacués vers la place de l'abbé Grégoire, les usagers des collèges devront respecter un périmètre de protection (voir le plan) en :

- s'éloignant d'au moins trois ou quatre mètres des bâtiments;
- s'éloignant (surtout en cas de stationnement prolongé dans la cour en raison d'un éventuel blocage de l'issue 1) d'une dizaine de mètres de l'escalier du bâtiment 3 en dessous duquel se trouvent entreposées des bouteilles de gaz;
- laissant un espace libre devant le portail d'entrée afin de faciliter son ouverture.

QUE FAIRE LORS D'UN SEISME?

Vous êtes en classe avec vos élèves

⇨ Il est exclu de sortir immédiatement des classes durant un séisme qui peut durer de quelques secondes à plus d'une minute, en raison:

- de difficultés psychologiques: effet de surprise (plus ou moins long car le phénomène n'est pas forcément reconnu immédiatement), crainte, voire panique;
- difficultés physiologiques: problèmes d'équilibre (où que ce soit mais plus encore dans les escaliers), malaises, etc.
- dangers divers: chutes d'éléments de toitures, de façades, voire effondrements totaux ou partiels de murs, d'escaliers, de balcons, etc.

⇨ Pendant le séisme, la meilleure protection se situe logiquement à l'intérieur. Les élèves doivent se placer sous une table sans se déplacer tant que les secousses n'ont pas cessé. À défaut de tables, il convient de s'installer sous un encadrement de porte (intérieure à l'étage) ou dans un coin de la pièce. Si vous vous trouvez à l'étage, il faut s'éloigner des fenêtres, des portes extérieures et des balcons.

⇨ Lorsque les secousses ont cessé, vous devez faire évacuer la classe de manière ordonnée et vous rendre dans la cour avec vos élèves. Si vous vous trouvez à l'étage, vous devez au préalable vous assurer (personnellement ou à la suite d'un contrôle réalisé par une autre personne) que les voies d'évacuation sont dégagées et suffisamment sûres (balcons notamment).

Les élèves sont en récréation

⇨ L'une des particularités du collège des Terres Sainville est de disposer d'un seul espace-cour de taille moyenne (près de 800 m²) occupé en son centre par un "kiosque". Par rapport aux établissements à cours multiples, cela peut présenter des avantages en cas d'évacuation (un seul lieu de regroupement d'où une plus grande facilité de contrôle et d'action concertée) mais également des inconvénients: effet de foule, d'autant plus que la surface utile (périmètre de protection) est limitée (moins de 0,8 m² par personne lorsque tous les usagers du collège sont présents).

⇨ En cas de séisme, veillez à ce que les élèves ne cherchent pas à pénétrer dans les bâtiments ou à se protéger sous les préaux. Ceux-ci doivent se regrouper dans la cour en respectant le périmètre de protection préalablement connu (voir le plan).

Comment éviter (ou limiter) les effets de foule dans la cour

⇨ Au fur et à mesure de l'arrivée des élèves dans la cour, procéder à l'évacuation du collège vers la place de l'abbé Grégoire.

⇨ Des exercices d'évacuation suffisamment répétés créent les réflexes utiles (ce qui est valable pour les différentes phases d'une situation d'urgence).

LA PRISE EN COMPTE DU RISQUE SISMIQUE AU COLLEGE: UNE EXPERIENCE PILOTE

☛ Une préoccupation

En raison du contexte géodynamique régional et de séismes de forte intensité connus dans le passé, le risque sismique constitue une préoccupation pour la Martinique. Aussi s'agit-il de se préparer afin de limiter au maximum les conséquences d'un futur événement.

☛ Des études (1991-93)

Dans cette perspective, le collège des Terres Sainville a été choisi comme collège pilote pour engager des études concernant l'évaluation des aléas sur son site, de la vulnérabilité du bâti et de la vulnérabilité humaine (comportements, capacité à gérer une situation de crise). L'essentiel des informations fournies dans ce document provient de ces études. Celles-ci, qui ont duré de 1991 à 1993, ont été financées par le Conseil Général de la Martinique et la Délégation aux Risques Majeurs du Ministère de l'Environnement. Elles ont été réalisées par le BRGM, appuyé par le Bureau de Contrôle Véritas et R. D'Ercole (UAG).

☛ Une formation (1994)

En 1994, plusieurs membres du personnel du collège (enseignants, administratifs, personnel de service) ont bénéficié d'une formation "Risques Majeurs" organisée par la MAFFPEN (Mission Académique pour la Formation du Personnel de l'Education Nationale). Cette formation a concerné l'ensemble des risques susceptibles d'être connus en Martinique mais elle a plus particulièrement mis l'accent sur le risque sismique, s'appuyant pour cela, sur les études préalables. Elle s'est achevée par une simulation de séisme et un exercice d'évacuation que les participants au stage ont organisé le 10 mai 1994.

☛ Un programme qui se poursuit (1994 et années suivantes)

Pour lui donner toute son efficacité, le programme doit être poursuivi notamment par les responsables de l'établissement et les personnes qui ont reçu la formation "Risques Majeurs". Parmi les actions à réaliser :

- ☐ l'élaboration d'un plan interne de prévention et de gestion des situations de crise;
- ☐ la mise en place de structures: groupe "Sécurité aux risques majeurs" (pour l'essentiel constitué par les personnes ayant reçu une formation "Risques Majeurs") et cellule interne de crise;
- ☐ la réalisation d'actions d'information préventive destinée aux élèves, aux usagers du collège et aux parents;
- ☐ l'organisation d'exercices de simulation assez fréquents et variés dans leurs scénarios.

☛ Une implication de tous

La prévention et la gestion des risques au collège, avant, pendant et après un séisme (ou tout autre aléa) n'est pas seulement l'affaire de quelques uns. Pour agir efficacement c'est vous tous, usagers adultes de l'établissement, qui devez vous impliquer. Votre rôle est multiple: il est éducatif, il est affectif et n'oubliez pas que, par la force des choses, vous serez amenés à agir le plus efficacement possible lors d'une éventuelle situation d'urgence.

Document à l'usage des élèves du collège (1/4)

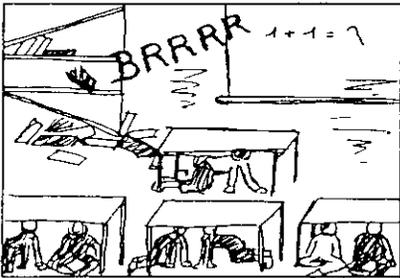
CE QU'IL FAUT FAIRE AU COLLEGE EN CAS DE TREMBLEMENT DE TERRE

Document à l'usage des élèves du collège des Terres Sainville

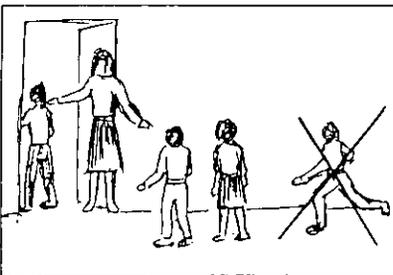
☞ TU ES EN CLASSE AU MOMENT DU TREMBLEMENT DE TERRE



Un tremblement de terre survient.
Tout se met à bouger, des objets tombent des bureaux et cela fait beaucoup de bruit.

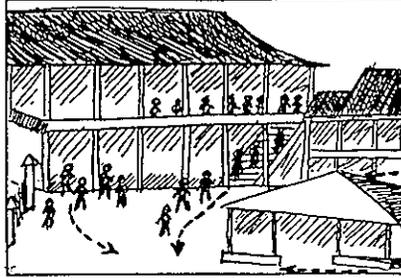


Evite de crier et essaie de garder ton calme.
Place-toi sous la table et ne te déplace pas tant que les secousses n'ont pas cessé.

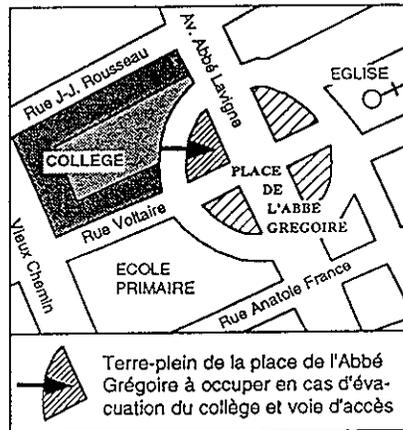


Lorsque les secousses ont cessé, le professeur vérifie que la voie est libre et sûre à l'extérieur. Il fait alors évacuer la classe en ordre.
Dépêche-toi, mais évite de courir.

Document à l'usage des élèves du collège (2/4)



En suivant la voie d'évacuation que tout le monde doit connaître à l'avance, dirige-toi rapidement vers la cour avec tes camarades, toujours sans courir.
 Installe-toi dans la zone de regroupement (regarde le plan), le plus loin possible des bâtiments et en laissant le portail d'entrée libre afin qu'on puisse l'ouvrir sans problème.



Attends, avec les élèves de ta classe, qu'on te demande d'évacuer vers la place de l'Abbé Grégoire. Installe-toi sur le terre-plein de la place qui fait face au collège et reste groupé avec tes camarades.
 Sois alors attentif aux consignes de tes professeurs et des autres adultes du collège.



ATTENTION!

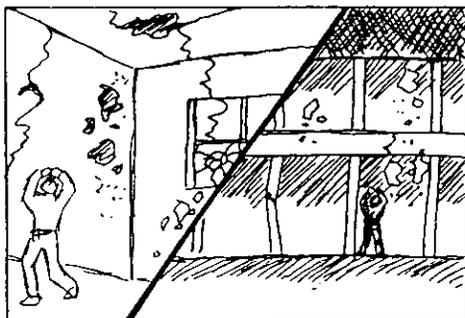
- N'essaie pas de traverser la place
- Ne t'approche pas des immeubles et de l'église
- Ne touche pas aux fils électriques tombés à terre

 TU ES EN RECREATION AU MOMENT DU TREMBLEMENT DE TERRE

Un tremblement de terre peut se produire par exemple pendant la récréation alors que tu es dans la cour, sous le kiosque ou sous un préau.

Comme dans le premier cas, installe-toi dans la zone de protection de la cour ou restes-y si tu t'y trouves déjà. Place-toi le plus loin possible des bâtiments et laisse libre le portail d'entrée.

Attends alors que l'on te demande d'évacuer vers la place de l'Abbé Grégoire.



N'essaie-pas de te protéger sous un préau ou de rentrer dans une classe. Cela pourrait être très dangereux car tu peux recevoir des débris de plafond ou de mur.

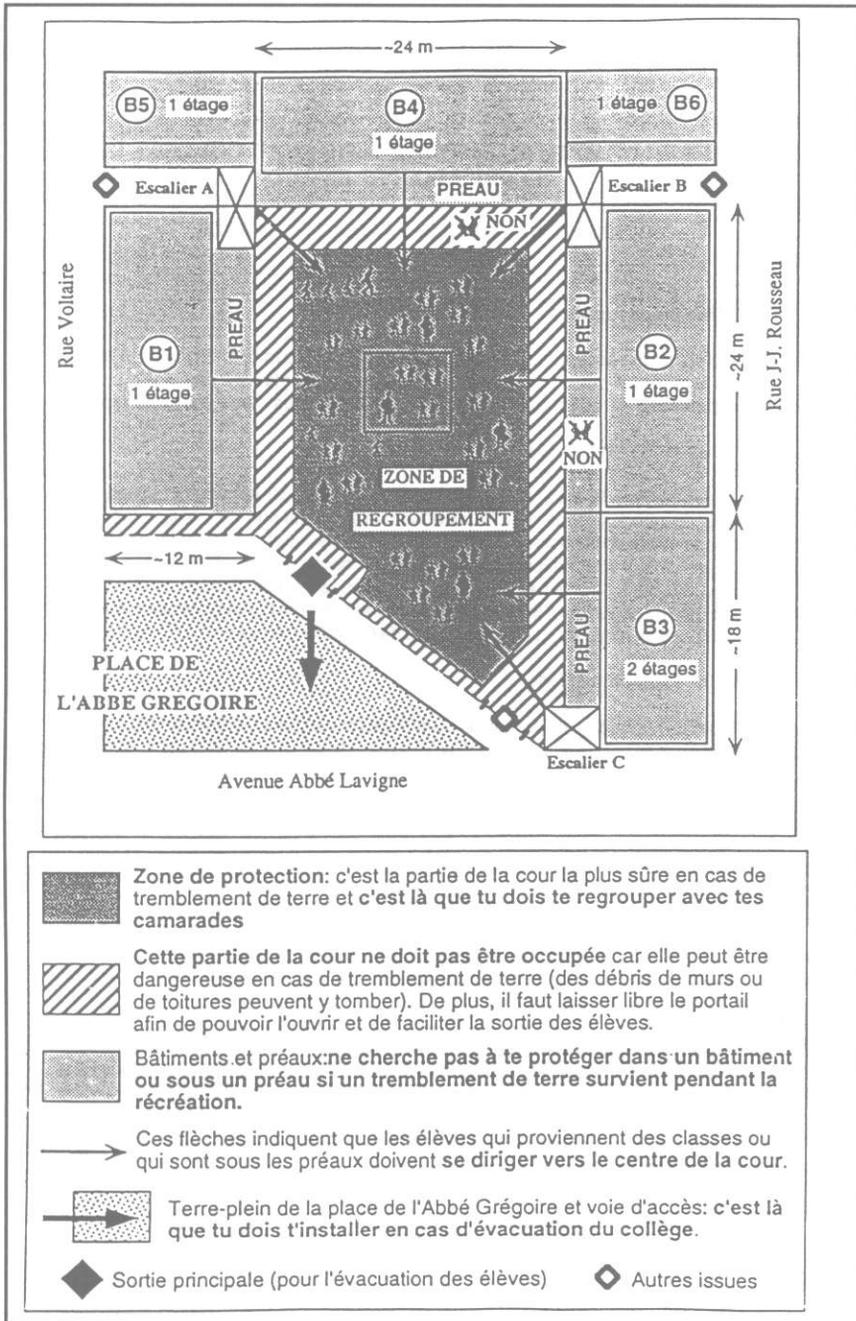
Reste donc dans la cour, dans la zone de protection.



ATTENTION!

N'ESSAIE PAS DE QUITTER LE COLLEGE PAR TES PROPRES MOYENS. CELA POURRAIT ETRE DANGEREUX NON SEULEMENT POUR TOI MAIS AUSSI POUR CEUX QUI DEVRAIENT PARTIR A TA RECHERCHE. RESTE EN GROUPE AVEC TES CAMARADES.

Document à l'usage des élèves du collège (4/4)



LA PRISE EN COMPTE DU RISQUE SISMIQUE AU COLLEGE DES TERRES SAINVILLE

DOCUMENT A L'USAGE DES PARENTS D'ELEVES

☛ Une préoccupation

En raison du contexte géodynamique régional et de séismes de forte intensité connus dans le passé, le risque sismique constitue une préoccupation pour la Martinique. Aussi s'agit-il de se préparer afin de limiter au maximum les conséquences d'un futur événement.

☛ Des études (1991-93)

Dans cette perspective, le collège des Terres Sainville a été choisi comme collège pilote pour engager des études concernant l'évaluation des aléas sur son site, de la vulnérabilité du bâti et de la vulnérabilité humaine (comportements, capacité à gérer une situation de crise). L'essentiel des informations fournies dans ce document provient de ces études. Celles-ci, qui ont duré de 1991 à 1993, ont été financées par le Conseil Général de la Martinique et la Délégation aux Risques Majeurs du Ministère de l'Environnement. Elles ont été réalisées par le BRGM, appuyé par le Bureau de Contrôle Véritas et R. D'Ercole (UAG).

☛ Une formation (1994)

En 1994, plusieurs membres du personnel du collège (enseignants, administratifs, personnel de service) ont bénéficié d'une formation "Risques Majeurs" organisée par la MAFPEN (Mission Académique pour la Formation du Personnel de l'Education Nationale). Cette formation a concerné l'ensemble des risques susceptibles d'être connus en Martinique mais elle a plus particulièrement mis l'accent sur le risque sismique, s'appuyant pour cela, sur les études préalables. Elle s'est achevée par une simulation de séisme et un exercice d'évacuation que les participants au stage ont organisé le 10 mai 1994.

☛ Un programme qui se poursuit (1994 et années suivantes)

Pour lui donner toute son efficacité, le programme doit être poursuivi notamment par les responsables de l'établissement et les personnes qui ont reçu la formation "Risques Majeurs". Parmi les actions à réaliser :

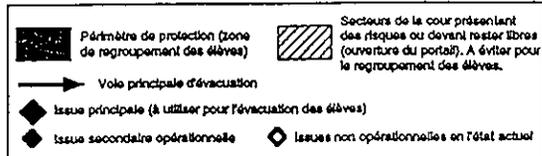
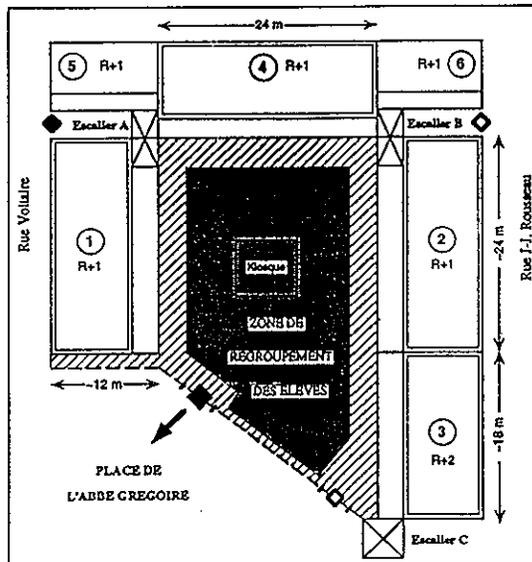
- ☞ l'élaboration d'un plan interne de prévention et de gestion des situations de crise;
- ☞ la mise en place de structures: groupe "Sécurité aux risques majeurs" (pour l'essentiel constitué par les personnes ayant reçu une formation "Risques Majeurs") et cellule interne de crise;
- ☞ la réalisation d'actions d'information préventive destinée aux élèves, aux usagers du collège et aux parents;
- ☞ l'organisation d'exercices de simulation assez fréquents et variés dans leurs scénarios.

QUE FERA-T-ON POUR PROTEGER VOS ENFANTS AU COLLEGE EN CAS DE TREMBLEMENT DE TERRE?

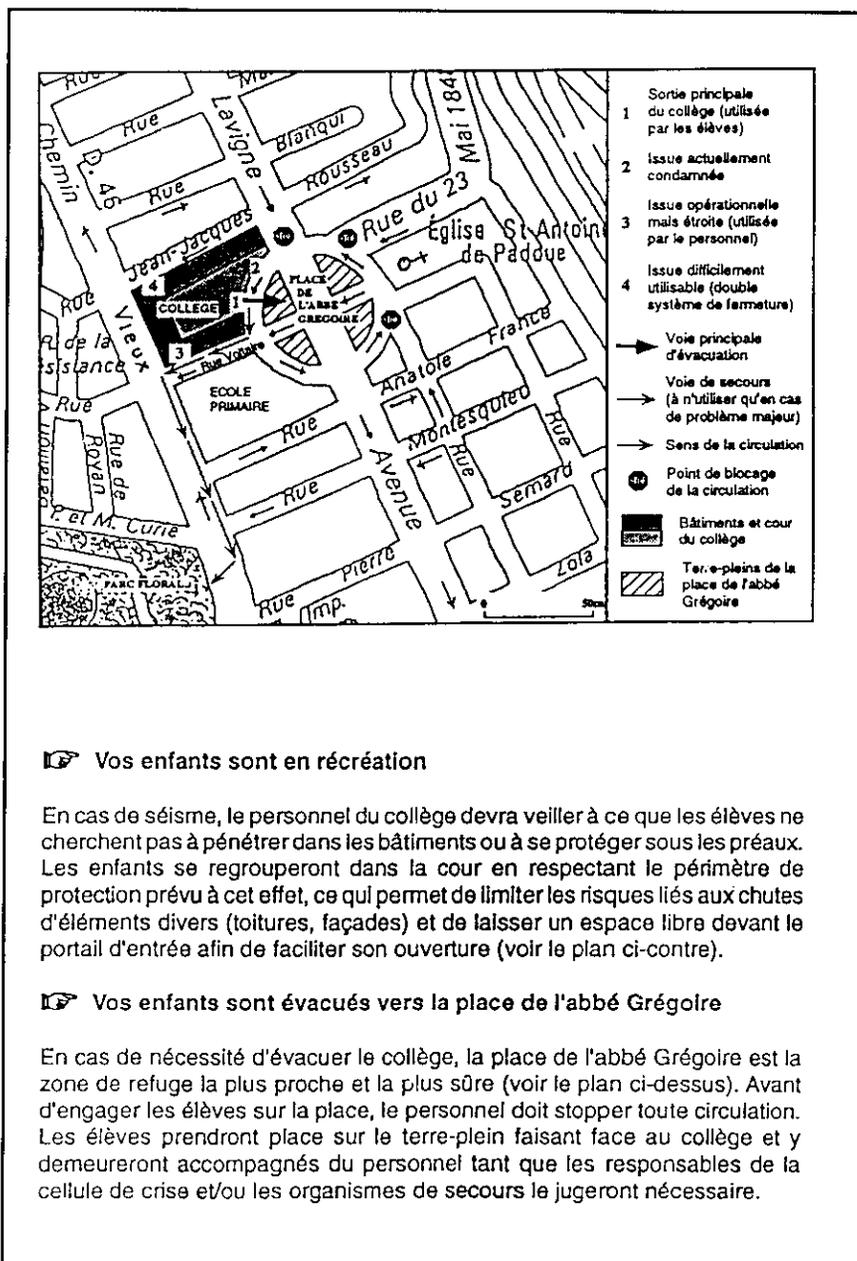
Vos enfants sont en classe

Pendant le séisme, la meilleure protection se situe à l'intérieur. Le professeur doit veiller à ce que tous les élèves se placent sous une table. Ils ne doivent pas se déplacer tant que les secousses n'ont pas cessé. S'ils se trouvent à l'étage, ils doivent absolument s'éloigner des fenêtres, des portes extérieures et des balcons.

Lorsque les secousses ont cessé, les professeurs doivent faire évacuer la classe de manière ordonnée et se rendre dans la cour avec leurs élèves en suivant une voie connue de tous. Au préalable, et surtout si la classe se situe à l'étage, il s'agira de s'assurer que les voies d'évacuation sont dégagées et suffisamment sûres. Au signal du professeur, les élèves se dirigeront ensuite vers la place de l'abbé Grégoire.



Document à l'usage des parents d'élèves du collège (3/4)



👤 Vos enfants sont en récréation

En cas de séisme, le personnel du collège devra veiller à ce que les élèves ne cherchent pas à pénétrer dans les bâtiments ou à se protéger sous les préaux. Les enfants se regrouperont dans la cour en respectant le périmètre de protection prévu à cet effet, ce qui permet de limiter les risques liés aux chutes d'éléments divers (toitures, façades) et de laisser un espace libre devant le portail d'entrée afin de faciliter son ouverture (voir le plan ci-contre).

👤 Vos enfants sont évacués vers la place de l'abbé Grégoire

En cas de nécessité d'évacuer le collège, la place de l'abbé Grégoire est la zone de refuge la plus proche et la plus sûre (voir le plan ci-dessus). Avant d'engager les élèves sur la place, le personnel doit stopper toute circulation. Les élèves prendront place sur le terrain-plein faisant face au collège et y demeureront accompagnés du personnel tant que les responsables de la cellule de crise et/ou les organismes de secours le jugeront nécessaire.

QUE DEVEZ-VOUS FAIRE OU NE PAS FAIRE EN CAS DE TREMBLEMENT DE TERRE?

Pendant le tremblement de terre

Votre première réaction est de chercher à vous protéger en vous efforçant de garder votre calme

Si vous êtes à l'intérieur de votre logement

- ne sortez pas, sauf si vous êtes au rez-de-chaussée tout près d'un espace bien dégagé;
- réfugiez-vous sous une table, un encadrement de porte ou dans un coin de pièce;
- éloignez-vous des fenêtres, baies vitrées et balcons.

Si vous êtes dans un lieu public (cinéma, supermarché)

- ne vous précipitez pas vers les issues pour ne pas être écrasé ou étouffé;
- placez-vous près d'un pilier, d'un angle de mur et méfiez-vous des structures légères accrochées au plafond.

Si vous êtes à l'extérieur

- éloignez-vous des constructions, à défaut abritez-vous sous un porche;
- tenez-vous loin des lignes électriques, des ponts, des falaises, du bord de mer.

Si vous êtes en voiture

Stoppez le véhicule et restez à l'intérieur

Après le tremblement de terre

 Ne tentez pas de vous précipiter au collège si le tremblement de terre se produit alors que vos enfants se trouvent dans l'établissement. Vos enfants sont pris en charge par le personnel. Outre les risques que vous pourriez courir en vous déplaçant précipitamment, vous contribueriez à compliquer les opérations de secours.

Évitez également de téléphoner au collège. Si les lignes fonctionnent toujours après le séisme, elles doivent rester libre pour faciliter la communication entre le collège et les organismes de secours.

 Avant de vous rendre au collège pour retrouver vos enfants pensez à faire ce qui suit:

- si vous êtes chez vous, coupez immédiatement gaz, électricité et eau;
- récupérez des objets de première nécessité (papiers importants, vêtements, radio à piles);
- quittez votre logement en prenant garde aux chutes de matériaux (surtout ne jamais utiliser l'ascenseur s'il en existe un);
- ne retournez pas dans votre logement car de nouvelles secousses peuvent survenir;
- attendez les consignes en écoutant la radio.

Gardez précieusement ce document

Parlez-en avec vos enfants (un document spécifique leur a aussi été remis).



Si vous souhaitez des informations supplémentaires à propos de la sécurité de vos enfants, adressez-vous aux membres du groupe "Sécurité aux risques majeurs" ou de la cellule de crise du collège.

Mme Claudine Jean-Théodore, conseillère pédagogique, responsable de la sensibilisation aux risques pour l'enseignement primaire (écoles primaires et maternelles) mène une action similaire, mais rencontre des difficultés supplémentaires liées à la taille des établissements (petites unités de 4/5 personnes) et à une population d'enfants moins autonomes.

L'Université Antilles-Guyane, à Fort-de-France, travaille sur les décalages entre gestion du risque prévu et la réalité, sous la direction de M. Robert d'Ercole. Les plaquettes qui ont été réalisées depuis juin 1994 ne sont toujours pas disponibles à ce jour, un dysfonctionnement dans une administration bloquant le processus.

Le Département de Géographie de l'Université travaillant en collaboration avec l'Amérique Latine, l'exemple développé par la Colombie du programme formation "risques naturels" pour les enseignants est particulièrement observé. Un module de ce type dans la formation des maîtres des Antilles françaises est fortement réclamé.

Cette préoccupation de la formation des enseignants existe aussi en métropole. Quelques opérations comme la production d'une cassette vidéo réalisée par le "Centre méditerranéen de l'Environnement" vont dans le bon sens. Mais très vite se pose le problème du financement que l'on n'évoque que pour mémoire ici.

6-2-2 - information grand public

A San Francisco, Mme Helen R. DuBois-Smith, du FEMA, insistait sur le financement annuel de quelques programmes d'information et de préparation : brochures diffusées dans les communautés qui ont subi ou qui risquent de subir une catastrophe, mise à disposition (prêts) de livres, vidéos, pour tous. Son collègue M. Joseph D. Dominguez insistait sur l'énorme effort à accomplir puisque l'on dénombre une centaine de langues parlées à Los Angeles : le FEMA est allé dans chaque communauté pour expliquer, signaler les centres d'urgence, répondre aux besoins.

Le FEMA s'assure de la formation de tous les personnels, qu'ils soient fédéraux ou d'Etat et deux fois par an, organise une démonstration de leur opérationnalité. Il est indispensable de montrer que l'on est prêt à faire face.

Mme Lynn Murphy, de l'Agence du Gouverneur, dirige un centre de documentation où l'on peut trouver :

- en prêt, des vidéos de sensibilisation, des CD-Rom,

- en libre disposition, beaucoup de documents écrits, brochures, affiches, ...

Il existe auprès du Gouverneur de Californie un bureau de crises. L'une des antennes se trouve donc à San Francisco et sa finalité est d'aider à se préparer aux tremblements de terre soit au travers de structures, soit en informant la population en diffusant par exemple un journal. Le personnel -25 employés payés par le programme- travaillent en collaboration avec les Universités californiennes. La plupart sont des spécialistes et passent du rôle éducatif en temps calme à celui d'actif en cas de crise pour une remise en état la plus rapide possible. L'encadrement doit être compétent pour toutes interventions liées à un séisme.

De même au Japon, M. Tomomitsu Fujii, Directeur du "Earthquake Disaster Counter Measures Division, Disaster Prevention Bureau" au "National Land Agency", dispose d'un budget très important pour la diffusion de conseils et la réalisation de cassettes vidéo qui seront prêtées aux municipalités les demandant.

En France, le code des communes confie au maire le soin de prévenir, par des précautions convenables, et de faire cesser, par la distribution des secours nécessaires, les accidents, les fléaux calamiteux et les pollutions de toutes natures ainsi que de pourvoir d'urgence à toutes mesures d'assistance et de secours et s'il y a lieu de provoquer l'intervention de l'administration supérieure.

L'Institut de Prévention et de Gestion des Risques urbains (IPGR) a été créé en juin 1991 à Marseille, essentiellement à l'initiative de l'association des ingénieurs des villes de France, et sa vocation est orientée vers la cyndinique appliquée à la ville. Réunissant de nombreuses compétences autour de son directeur Claude Collin, l'IPGR s'est constitué en groupes de travail, dont un consacré à la communication.

Le responsable de ce groupe, M. Gilbert Bellès, par ailleurs directeur du service environnement de la ville d'Avignon, a exposé lors de la journée de sensibilisation des élus locaux que l'Office avait organisée le jeudi 8 décembre 1994 à Salon-de-Provence, les premières réalisations concrètes qui ont pu être menées à la suite de ces réflexions.

Une grande interrogation se faisait jour : pourquoi parler des risques, ne va-t-on pas affoler la population ? Un sondage auprès de 1 000 personnes a été réalisé en Avignon, les résultats ont été très favorables à l'information sur les risques. M. Claude Collin estime que la ville est le seul lieu où on peut faire quelque chose : "Parler du risque, ça paie, c'est être

le risque

garder
son
calme

Comment est donnée l'alerte ?

Le tremblement de terre se traduit par des vibrations du sol. Ces secousses peuvent induire des glissements de terrain, des crevasses dans le sol, des chutes de blocs et de pierres.

Si la force du séisme est importante, on peut voir apparaître des fissurations de murs et cheminées, des chutes de tuiles, voire des effondrements de bâtiments. Il dure de quelques secondes à quelques minutes.

Aucune méthode scientifique ne permet actuellement de prévoir de manière certaine le moment où surviendra un séisme. Il n'y a pas d'alerte possible.

Il est donc important de connaître les consignes de sécurité.

Les services de secours ressentent les secousses sismiques en même temps que la population et lui viennent immédiatement en aide.

Que font les secours ?

Pour un sinistre limité (effondrement d'immeuble par exemple) la mairie déclenche un plan d'intervention et active sa cellule des mesures d'urgence.

Dans le cas d'un sinistre plus général et de forte intensité le préfet peut si la situation l'exige déclencher le plan ORSEC, voir le plan ROUGE, et éventuellement le plan d'hébergement. Il demande le concours des moyens de secours nationaux.

Les sapeurs pompiers installent un poste de commandement mobile, un poste médical avancé et une chaîne médicale. Ils disposent d'équipes de reconnaissance, d'écoute, de sauvetage, d'étalement et de perçement.

L'évaluation des risques d'explosion consécutive à des fuites de gaz inflammable est réalisée par les services de Gaz de France et les services de secours et d'incendie.

La DDASS en liaison avec le Service Communal d'Hygiène et de Santé, met en oeuvre certains

plans d'intervention d'urgence :

- alerte du Samu (service d'aide médicale urgente)
- évaluation des effets sur l'alimentation en eau et l'assainissement et mesures palliatives
- évaluation des risques de maladies contagieuses et mesures préventives en liaison avec le Conseil Général (Direction de la Vie Sociale).

L'ingénieur d'astreinte de la mairie coordonne les interventions des services techniques municipaux en relation avec le Directeur des secours. Les

missions des forces de police sont les suivantes :

- Rappel et mobilisation des effectifs par la mise en pratique des fiches d'alerte.
- Définition et adaptation des missions en fonction des analyses des techniciens de la sécurité civile.
- Protection des biens privés et publics.

Le Centre Communal d'Action Sociale s'assure de la bonne compréhension des consignes officielles et met à disposition ses équipements sociaux.

Que fait la population ?

- Pendant les premières secousses : Garder son calme, ne pas téléphoner. Evacuer immédiatement dès les premières secousses, tout local susceptible d'effondrement. Ne pas prendre l'ascenseur.

Dans la rue :

S'éloigner des constructions le plus possible ou s'abriter sous un porche.

Dans un bâtiment :

S'abriter sous une table solide ou à l'angle d'un mur. S'éloigner des fenêtres, et ne pas fumer.

Dans une voiture :

Y rester et s'éloigner de ce qui risque de tomber. La suspension peut entraîner un fort balancement, mais on ne risque rien.

Après les premières secousses :

Si on se trouve à l'extérieur ne pas rentrer dans un bâtiment.

A l'intérieur, couper l'eau, le gaz, l'électricité. Ne récupérer que les objets de première nécessité et évacuer le bâtiment par les escaliers.

Prendre garde à toute chute éventuelle de matériaux (attention à la stabilité des structures).

S'éloigner des constructions et se diriger vers un endroit isolé dans le calme.

Ne pas téléphoner

Ecouter RADIO FRANCE VAUCLUSE (98.8 ou 100.4 mégahertz).

En cas d'ensevelissement, se manifester en tapant contre les parois

PENDANT

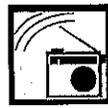
s'abriter sous un meuble solide



s'éloigner des bâtiments

APRES

couper l'électricité et le gaz



écouter la radio



évacuer le bâtiment



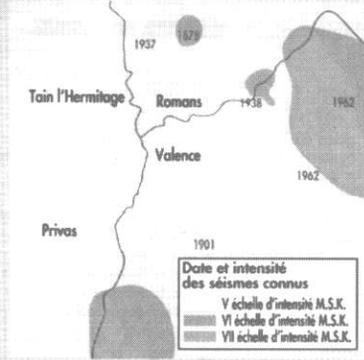
ne pas fumer

TREMBLEMENT DE TERRE

Le tremblement de terre est un mouvement du sol qui débute brusquement et qui dure peu : quelques dizaines de secondes, en général moins d'une minute, rarement plus.

La violence d'un séisme est évaluée par sa magnitude selon l'échelle de Richter. Une petite secousse sismique est inférieure à 4, celle d'un séisme grave se situe entre 5 et 7, celle d'un séisme potentiellement destructeur entre 7 et 9.

En cas de séisme important on peut voir apparaître des fissurations de murs et de cheminées, des chutes de tuiles, des effondrements de bâtiments...



LE RISQUE:

L'ALERTE:

LES CONSIGNES:

Dès la première secousse,

- mettez-vous à l'abri sous une table, un lit... pour vous protéger de la chute d'objets. Éloignez-vous des fenêtres, ne fumez pas (risques d'explosions) !
- ne prenez pas l'ascenseur !
- dans la rue, éloignez-vous des bâtiments, fils électriques... sinon abritez-vous sous un porche
- restez dans votre véhicule, à l'écart des bâtiments et fils électriques
- n'allez pas chercher vos enfants à l'école, **LES ENSEIGNANTS S'OCCUPENT D'EUX.**

Après la première secousse,

- quittez tout local susceptible d'effondrement
- écoutez Radio FRANCE DROME
- coupez l'eau, le gaz l'électricité
- évacuez les lieux par l'escalier en n'emportant que le strict nécessaire (papiers d'identité, radio, lampe, piles, vêtements chauds, médicaments)
- éloignez vous des bâtiments endommagés.

LA SURVEILLANCE

Aucune méthode n'existe à ce jour qui permettrait de prédire de manière fiable le moment où se produira le séisme.

Les services de secours ressentiront les secousses en même temps que vous et vous viendront en aide immédiatement renforcés de moyens régionaux et nationaux.

LA PROBABILITE

Selon le BRGM le département de la Drôme est globalement peu exposé au risque sismique. **Si des tremblements de terre sont bien entendus toujours possibles à Valence, ils sont d'intensité relativement faible (inférieur à VI sur l'échelle de Richter) pour une probabilité centenaire.**

Les séismes d'intensité plus importante (VIII ou IX) ont une probabilité de se produire tous les 1000 ans seulement au sud de Montélimar, dans le Vercors ou le sud du département.

TREMBLEMENT DE TERRE

SECousse, DÉPLACEMENT DES MEUBLES ET DE LUSTRES, CHUTE D'OBJETS, APPARITION DE FISSURES DANS LES MURS ET LES PLAFONDS.

QUE FAIRE ?

AVANT APRÈS

Abritez-vous sous un meuble solide
Pour vous protéger des chutes d'objets et des éclats de verre



Écoutez la radio
Pour connaître les consignes à suivre



Eloignez-vous des bâtiments
Pour éviter les chutes de débris aux abords



Évacuez le bâtiment
Pour attendre les secours dans de meilleures conditions



Coupez l'électricité et le gaz
Pour éviter tout risque d'explosion et d'incendie



N'allez pas chercher vos enfants à l'école, l'école s'en occupe.



GARDER SON CALME



responsable". Mais pour que les politiques s'investissent, il faut que les techniciens soient capables d'expliquer et mettent en place une stratégie de communication à long terme, qui passe nécessairement par les jeunes, la population scolaire étant la plus facile à toucher. La formation dans les écoles aux gestes élémentaires de survie, la réalisation d'un "plan de mise à l'abri" dans les écoles semblent des priorités.

Aussi, après les plaquettes multirisques établies par les préfetures, les communes ont adapté ces documents en les personnalisant : personnes responsables, fréquence des radios devant diffuser des messages en cas de sinistres, ... Dès 1992, la ville d'Avignon dans l'opération "Avignon ville pilote" proposait un dossier spécial d'information du Maire, sur les risques naturels et technologiques intitulé : les cahiers du risque majeur, "Ensemble et avertis, on est plus fort".

La ville de Valence, dans une brochure de format quasiment identique de 28 pages, passe en revue les différents risques encourus par sa population.

L'Université de Guadeloupe est disponible pour organiser des colloques à la demande et se propose, avec l'aide de la Région, de former aux métiers liés au risque. Une estimation du Professeur Jérémie est de 300 emplois à créer en Guadeloupe rien que pour couvrir l'aléa sismique.

M. Lucien Parize, Président de la Commission Education du Conseil général, est inquiet de la charge très lourde que représentent les solutions à trouver pour certains collègues, dont un audit a commencé. Il déplore que lors du recensement par la mission Schléret des travaux urgents à réaliser, les DOM-TOM n'aient pas été associés à l'enquête.

6-3 - formation et information : le rôle des CARIP, l'exemple PEGAS à Wickerschwihir et le plan PLATON à Lambesc

6-3-1 - La Cellule d'Analyse des Risques et de l'Information Préventive de Martinique

Née avant l'instauration des CARIP sous forme de Cellule d'Information Préventive suite au cyclone Hugo, et à l'initiative de Mme Marie-Henriette Chabrierie, Chef du Service Interministériel de Défense et de Protection Civile, votre Rapporteur peut témoigner du sérieux et du travail en profondeur accompli en Martinique. Le comité de pilotage de la CARIP m'a exposé son action et présenté les premières réalisations pratiques. En mars 1991 donc, un groupe de réflexion "Information et Communication en matière de risques majeurs" a été constitué. En août 1991, la Martinique était département pilote pour cette réflexion et en novembre 1991 naissait la CIP.

La CARIP actuelle dont vous trouverez la composition du comité de pilotage en annexe, a réalisé un film de 13 minutes pour un coût de 78 000 francs. Cette vidéo a été projetée sur grand écran sur diverses plages et sur le campus universitaire. Ces actions ponctuelles pourraient être développées si le projet présenté par "Médecins du Monde" aboutit. Il s'agit de disposer d'un support mobile type "bibliobus", ce qui permettrait d'aller vers la population car la vigilance et l'information doivent être permanents. Ce projet est de l'ordre de 70 000 francs, entre l'achat du véhicule et son équipement, mais ne tient pas compte dans ce montant de la mise à disposition du personnel qui pourrait être des jeunes volontaires.

Mon collègue Anicet Turinay, qui siège dans la CARIP au titre de Président de l'Association des Maires, faisait remarquer le particularisme des constructions aux Antilles et la nécessité d'une adaptation des normes parasismiques. La Direction Départementale de l'Équipement a édité une brochure "*Kaye Regdelart*" reprenant les conseils les plus simples mais indispensables de construction des maisons pour résister aux deux aléas les plus vraisemblables : ouragans et tremblements de terre. Il y aurait ensuite le contrôle des normes de construction, de l'exécution. Assurément il n'y a pas les moyens appropriés pour effectuer les contrôles, voire la volonté de le faire, ou simplement de respecter le POS.

Sur ce non-respect des règles évoqué précédemment, la CARIP est assez impuissante, la politique du "coup de main" étant profondément enracinée dans les moeurs locales, mais elle souhaite par des actions telles celle évoquée plus haut y remédier petit à petit.

Le docteur Ortole soulevait deux points très importants : une préparation insuffisante du personnel médical à ce genre de catastrophe et l'arrivée tardive des renforts, un délai de 14 heures pour venir de métropole semblant être nécessaire.

L'idée de développer l'aide régionale repose sur 3 observations :

- il y a un manque de réserve d'oxygène en cas d'accident,
- il serait difficile de localiser des dépôts de matériel,
- il y a un manque important de moyens hélicoptés.

Il y a une solidarité entre les îles, faudrait-il cependant que l'autorisation d'intervention immédiate dans l'île voisine soit donnée.

Il est très peu vraisemblable que les deux îles soient touchées en même temps. Cependant on ne peut en privilégier aucune des deux, le risque étant similaire. Le problème du relief est réel, M. Mompelat ne voit guère que la réalisation de plans communaux de première urgence pour y remédier.

Les effets de site et notamment au centre de Fort-de-France peuvent jouer énormément, la présence de mangrove fait craindre une liquéfaction importante. M. Jean-Marc Mompelat pense que la technique peut cependant y répondre. Si les règles PS 69 sont dépassées, les règles PS 92 seront-elles suffisantes ?

LA PREVISION

Peut-on aujourd'hui parler de prévision fiable en matière de séisme ?

*Plusieurs méthodes sont depuis de nombreuses années "expérimentées", mais aucune n'a donné la preuve d'une fiabilité suffisante pour être opérationnelle.

*Quels que soient les progrès que fera la prévision, la prévention reste essentielle.

LA PREVENTION

C'est :

* **l'implication** de tous pour délivrer l'information mise à disposition par l'Etat et les collectivités locales.

* la mise en application par tous des **règles de comportement et de construction.**

LE DISPOSITIF DE SECOURS

C'est :

* la mise en oeuvre sous l'autorité du Préfet du **Plan ORSEC** et du **Plan Rouge** (Pompiers, SAMU...)

* l'application par les maires du **plan de secours communal** (hébergement, ravitaillement).

Le dispositif sera rendu plus efficace par votre participation aux mesures préventives (formation, secourisme, exercices de simulation sur le lieu de travail, sensibilisation et information de ses proches).

Document élaboré par
la Cellule d'Information Préventive de la Martinique (CIP).1993
Maquette:YMS

LES CONSIGNES DE SECURITE

S'efforcer de garder son calme (respirer profondément)

A l'intérieur de son logement:
Ne pas sortir (sauf si vous êtes au rez-de-chaussé tout près d'un espace bien dégagé)

Se réfugier sous une table, un encadrement de porte ou dans un coin de pièce

S'éloigner des fenêtres, baies vitrées, balcons

Dans un lieu public (cinéma, supermarché):

Ne pas se précipiter vers les sorties pour ne pas être écrasé ou étouffé

Se placer près d'un pilier, d'un angle de mur (se méfier des structures légères accrochées au plafond)

A l'extérieur:
S'éloigner des constructions, à défaut s'abriter sous un porche

Se tenir loin des lignes électriques, des ponts, des falaises, du bord de mer

En voiture
stopper le véhicule
rester à l'intérieur

Construire selon les règles parasismiques en passant par l'architecte, l'assurance, un bureau de contrôle

Prévoir dans un lieu facilement accessible: une trousse de soins, un poste de radio, une lampe de poche (avec piles), une boîte de rangement contenant les documents importants

Mettre en réserve: confitures, sucre, lait et eau (à renouveler régulièrement)

Sceller aux murs et cloisons les meubles hauts (armoires, bibliothèques)

Enlever les objets lourds du haut des étagères ainsi que les fixer (télévision)

Enfermer au niveau du sol produits dangereux et inflammables

Savoir couper rapidement eau, électricité et gaz.

Acquérir des réflexes en participant régulièrement aux exercices de simulation ou en les organisant.

Couper immédiatement gaz, électricité et eau

Eviter de téléphoner sauf extrême urgence (laisser la priorité aux secours)

Récupérer les objets de première nécessité: papiers importants, vêtements

Quitter son logement en prenant garde aux chutes de matériaux (surtout ne jamais utiliser l'ascenseur)

Ne pas retourner dans un logement car de nouvelles secousses peuvent survenir

Se regrouper dans un endroit bien dégagé

Attendre les consignes (écouter la radio)

Si vous êtes bloqué sous des débris:

Garder votre calme

Signaler votre présence en frappant sur l'objet le plus approprié (table, poutre, canalisation...)

Le risque de tremblement de terre à la Martinique



Comprendre Agir

REPÈRES HISTORIQUES

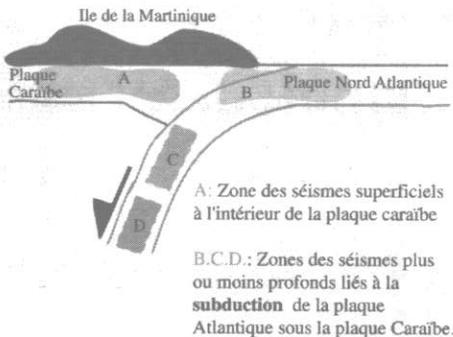
Au cours des 300 dernières années, 20 secousses importantes ont affecté plus ou moins durement la Martinique.

Le séisme de 1839 a occasionné la destruction quasi-totale des habitations et a fait plus de 300 morts à Fort-de-France...

Tout récemment, la secousse ressentie le 12 juillet 1990, dans l'ensemble de l'île (Magnitude 5, Intensité V à VI), a rappelé que la Martinique est toujours exposée aux séismes.

UN SEISME MAJEUR PEUT SE PRODUIRE
A TOUT MOMENT

ORIGINE DES SEISMES



L'affrontement permanent de deux plaques tectoniques est à l'origine des séismes en Martinique. La libération soudaine de l'énergie accumulée par la déformation de ces plaques en est la cause. Plus de 500 petits séismes non ressentis sont enregistrés chaque année.

LE PHENOMENE SISMIQUE

A partir du **Foyer** (lieu de ruptures des roches en profondeur) les **secousses** se propagent par des **ondes de volume** à la vitesse d'environ 7 km/s, puis par des **ondes de surface** à une vitesse d'environ 4 km/s.

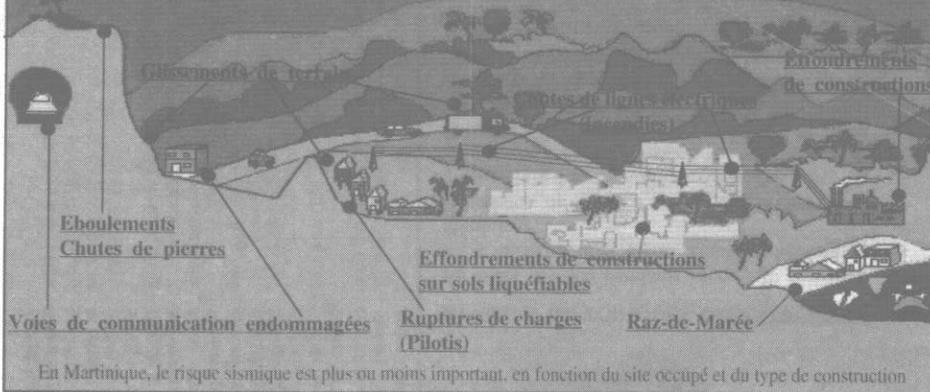
Ces dernières sont particulièrement dommageables aux constructions.

L'énergie libérée par les secousses est mesurée par la **MAGNITUDE** (échelle de Richter).

Dans cette échelle, l'énergie est multipliée par 32 chaque fois que l'on progresse d'un degré.

Les effets constatés en surface se mesurent par l'**INTENSITE** (de I à XII sur l'échelle MSK internationale).

Localisation des effets induits par un séisme



UN SEISME EST DANGEREUX!

VOUS ENVISAGEZ DE CONSTRUIRE?

Quelques consignes importantes à suivre:

EFFETS DIRECTS:

- * **Déplacement de terrains** (abaissement, élévation, mouvements horizontaux).
- * **Formation de crevasses** dans le sol, voire de failles, pouvant entraîner un important décalage de part et d'autre de la surface de rupture.

EFFETS INDUITS:

- * **Mouvements de terrain** (glissements, éboulements) dans les zones à forte pente.
- * **Liquéfaction** de certaines formations superficielles saturées en eau (sables, limons...).
- * **Raz-de-marée** engendré par un séisme sous-marin ou éloigné.
- * **Incendies** provoqués par des courts-circuits électriques, par la rupture de conduites de gaz....

AVANT DE CONSTRUIRE:

Choisir un terrain favorable, en s'assurant de la **stabilité** et de l'**homogénéité** des roches du sous-sol.

Éviter les sols meubles.

Autant que possible, ne pas construire sur, ou aux abords des terrains à forte pente.

Ces précautions prises, se faire délivrer un **permis de construire**.

POUR LA CONSTRUCTION:

Opter pour la **simplicité** et la **symétrie** des formes architecturales.

Intégrer des éléments de "**contreventement**".

Utiliser de préférence des **matériaux aptes à se déformer** (bois, acier, béton armé) ou **spécialement traités** (chaînage de murs en béton, maçonnerie armée).

Réaliser des **fondations bien ancrées dans le sol** et reliées par un chaînage complet.

SEULS LES PROFESSIONNELS SAURONT VOUS CONSEILLER.

"Donnez toujours la bonne note!"

Le docteur Ortole rappelait qu'après le séisme principal, il y avait les répliques. Un établissement ayant apparemment résisté à la forte secousse sera-t-il utilisable après les répliques ? Pour cela, ne faudrait-il pas, comme le suggère la DDE, prévoir un surclassement des bâtiments vitaux ?

Une bonne information passe aussi par un spécialiste. M. Max Deleray propose que dans chaque administration, un ou des fonctionnaires aient une décharge pour faire de la prévention, de la formation.

La CARIP regroupe en fait, en dehors du comité de pilotage, toutes les associations déclarées de la Région. Les associations que j'ai pu auditionner m'ont paru très responsables dans la démarche informative de ce risque. M. Paul-Henri Chartol, Vice-Président de l'Association pour la Sauvegarde du Patrimoine de la Martinique, s'est dit très satisfait des points suivants :

- réglementation très claire : la Martinique est en zone 3, rouge
- organisation des plans : PER
- volonté de faire de la Martinique un lieu pilote

et inquiet car :

- 1 seul PER sur 34 a été approuvé,
- des études ne sont pas publiées car risquant d'effrayer.

Toujours d'après M. Chartol, l'Etat ne prend pas suffisamment ses responsabilités. Il transfère trop aux communes, alors qu'il faudrait un financement étatique des émissions d'informations. Ces émissions devraient figurer dans un cahier des charges du service public, les radio et télé privées devraient signer une convention pour la prévention des risques.

D'autres considérations qui vont de l'intégration domestique du risque, de l'affichage de consignes dans toutes maisons, à la révision des normes parasismiques basées sur une maximalisation et non sur des moyennes, en passant par la fin du laxisme fondamental en matière de construction, faire de l'étude des risques naturels à l'école une matière d'examen et le développement des recherches en matière de prévision -y compris VAN- ont ensuite été développées et reprises par la plupart des associations présentes.

M. Georges Negouai, Président de la Commission Aménagement du Territoire au Conseil Régional, est aussi Président de l'Association CORDEM. A ce titre, il estime nécessaire que l'aspect "séisme" soit prévu dans le Schéma d'Aménagement Régional (SAR) en discussion depuis plusieurs mois. Un audit amènerait à revoir toutes les constructions publiques, mais le problème des constructions privées resterait entier.

Les POS sont trop souvent remis en cause, la politique du clientélisme doit cesser. Pour cela, il souhaite des dispositions réglementaires et

législatives pour aider les maires, notamment dans la procédure de la délivrance des permis de construire.

Beaucoup de lycées sont très anciens, seuls les deux derniers construits répondent aux normes. Le dossier est très épineux, car pour tous les autres établissements, il faut envisager un confortement dans un premier temps.

M. Pierre Davidas, Secrétaire de l'APPELS, regrette que nombre de propositions de son association soient réfutées sur le seul critère du catastrophisme. Il craint beaucoup pour les constructions nouvelles en zone liquéfiable, en s'appuyant sur l'exemple de l'extension des bâtiments de l'aéroport, où malgré une descente à 40 mètres de profondeur de piliers pour trouver une assise fixe et sans qu'un tremblement de terre n'ait été ressenti dans la région, le bâtiment s'est affaissé. La piste est sur la mangrove, elle ne demanderait qu'à disparaître en cas de séisme, privant l'île de tout secours par gros porteur.

6-3-2 - le plan PEGAS à Wickerschwihr

Le plan d'entraide générale et d'assistance aux secours ("PEGAS") concerne la commune de Wickerschwihr, à 5 km de Colmar dans le Haut Rhin, classée en zone sismique Ib suivant le zonage de 1986.

Le maire, Bernard Sacquépée, pour répondre à une certaine inquiétude ressentie dans le village, a pris l'initiative de réaliser ce plan avec un groupe de travail, animé par Bruno Royet du CETE de l'Est.

Ce plan, prévu pour répondre aux besoins lors d'un séisme d'intensité VIII ou IX, concerne les 504 habitants et les 136 habitations de la commune et a été adopté en 1990. Il repose sur l'idée qu'en cas de séisme majeur, et donc par définition assez étendu, la commune serait isolée et ne pourrait recevoir de secours avant plusieurs heures, la gestion des priorités l'excluant vraisemblablement.

Ce plan a nécessité la participation de tous les habitants et leur collaboration. Chacune des 15 tâches à accomplir en cas de catastrophe est répertoriée, fait l'objet de fiche, désigne les acteurs. Ce travail gigantesque demande une mise à jour à chaque nouvel arrivant, et repose sur une population stable et coopérative.

S'il a le mérite d'exister, ce plan n'est pas généralisable en l'état dans d'autres communes, où rigueur et sens civique ne sont peut-être pas compris de manière identique.

6-3-3 - le plan PLATON à Lambesc

Le souvenir du 11 juin 1909 est encore très vivace à Lambesc. Aussi la commune avait-elle devancé la loi en plusieurs occasions. Citons les principales actions réalisées :

- dès 1979, la construction du collège Jean-Guéhenno prévoit des appuis parasismiques ;
- le PER approuvé par arrêté préfectoral en date du 30 juin 1988 est exécutoire le 5 octobre 1988 ;
- actions de formations de tous les acteurs locaux qui participent à la construction ;
- actions de communication : réunions publiques, affiches, animation du milieu scolaire.

La commune de Lambesc a été retenue avec la ville d'Avignon comme ville pilote en matière d'information du public sur les risques majeurs en 1992. L'établissement du Plan Lambescain d'Action relative aux Tremblements de terre et Orientations Nécessaires (PLATON) a alors commencé, suivant un programme approuvé par le Conseil municipal. Avant toute intervention extérieure en cas de séisme -là aussi, la proximité de villes comme Aix-en-Provence ou Salon ne font pas de Lambesc une priorité absolue de l'intervention des secours-, la commune veut pouvoir répondre aux premières urgences et contribuer à une valorisation des secours extérieurs par une meilleure connaissance du site et du comportement de ses habitants.

On est loin de la préparation à la Japonaise où la population participe à des exercices, sans qu'une réelle efficacité soit démontrée. Ce 1^{er} septembre, "le jour de la catastrophe" ressemble, ainsi que le raconte Peter Hadfield dans "Tokyo séisme", plus à un jour de fête de village, à un jour de commémoration (Grand Séisme de Kanto) qu'à un réel exercice.

Kobe en a été une illustration, malgré le grand calme (ou la résignation) de ses habitants. Devant un tel cataclysme, seuls des professionnels peuvent réagir correctement et efficacement.

A part les quelques gestes essentiels cités dans les brochures, il est vain de vouloir enseigner, tout au moins dans un pays à sismicité faible tel le nôtre, une méthode de secours. Le professionnalisme des sauveteurs sera le garant du bon déroulement des secours.

7 - LA GESTION DE CRISE EN CAS DE SEISME : NECESSITE OU NON D'UN PLAN D'EVACUATION ET DE SECOURS PROPRE AU RISQUE SISMIQUE ?

Heureusement la France n'a pas eu à mettre en place de gestion de crise en cas de séisme depuis longtemps. L'organisation parfaite d'un plan sur papier ne résiste pas toujours aux réalités du terrain. Aussi prenons l'exemple d'un plan qui semble avoir bien fonctionné à Northridge et d'un qui fut plus long à se mettre en place à Kobe.

7-1 - La gestion des crises lors des séismes de Northridge et de Kobe

7-1-1 - La gestion de crise lors du séisme de Northridge

Dans le rapport de mission de l'AFPS après Northridge, M. J.P. Conoscente traite de l'organisation des secours et des réparations. Je reprends donc ses observations comme illustration d'un plan d'intervention ayant bien fonctionné.

"La région touchée par le séisme regroupe les comtés de Los Angeles et de Ventura et s'étend sur plus de 13 000 km² (5 000 mile²). Le comté de Los Angeles par lui-même comprend 88 villes, y compris Los Angeles, et une population d'environ 9 millions de personnes (près du tiers de la population californienne). Le séisme du 17 janvier a affecté la région avec des intensités de Mercalli allant de VII à IX. Le bilan des victimes, estimé provisoirement à 38 morts le lendemain du séisme, a été finalement établi à 61 morts. Le nombre des blessés qui se sont faits soigner est d'environ 3 000.

Plans d'Urgence

Pour répondre à une urgence, le comté a instauré un centre de commande d'opérations d'urgence pour coordonner les actions nécessaires. Le centre de commande comprend des responsables du département du Sherif (i.e. gendarmerie), des Pompiers, de *Federal Emergency Management Agency* (FEMA), de *State of California Emergency Office* (EOS), de la Croix Rouge Américaine, du service des Travaux Publics du comté, ainsi que des représentants des compagnes privées de gaz (*Southern Gas Edison* et *San Diego Gas*), et d'électricité (*Southern California Edison* et *Los Angeles Department of Mater and Power*). Le centre de commande est situé dans les locaux du département du shérif dans le centre de Los Angeles et un nouveau centre est actuellement en construction. Cinq autres centres d'urgences, à savoir Los Angeles, West Los Angeles, Van Nuys, San Pedro et Shatto, sont répartis à

travers le comté et servent de point de chute pour les équipes de terrain inspectant les bâtiments endommagés.

Après un séisme dans la région de Los Angeles, le centre de commande peut connaître en quelques minutes la localisation approximative du foyer et la magnitude grâce à un réseau informatique de sismographes et d'émetteurs appelé le *CUBE* (CALTECH-USGS Broadcast Earthquake). Ce système permet d'avoir un ordre de grandeur immédiat du séisme, ainsi qu'une localisation approximative de la région affectée.

Après un séisme, les départements locaux de sheriff répartis de par le comté inspectent leurs circonscriptions, font une estimation de l'intensité de Mercalli pour chaque quartier, et communiquent leurs observations au centre de commande. Si une demande d'aide est formulée, le centre de commande contacte le département correspondant, par exemple le département de police ou de pompiers.

Pour l'inspection de bâtiments, un plan d'urgence prévoit tout d'abord d'envoyer environ 50 ingénieurs et inspecteurs pour évaluer immédiatement neuf installations désignées comme critiques, comme par exemple le centre de commande des opérations d'urgence ou du département de pompiers. Ces équipes sont munies de téléphones cellulaires, et de walkie-talkies à grande portée au cas où les communications téléphoniques ne seraient pas opérationnelles. Ensuite, toutes les stations de pompiers sont inspectées, et plusieurs équipes sont envoyées faire une estimation sommaire de l'étendue des dégâts. Après cela, des équipes de 2 personnes, en général un ingénieur et un inspecteur de bâtiments, sont envoyées inspecter les bâtiments endommagés. Les équipes d'inspection utilisent un système expert développé par FEMA et l'état de Californie, intitulé *ATC-20, "Procedures for Postearthquake Safety Evaluation of Buildings"*.

Des fiches d'inspection, dont le modèle est reproduit ci après, sont systématiquement remplies. Le résultat de l'inspection est un rapport et une affiche placardée à l'entrée du bâtiment inspecté :

- une affiche verte signifie qu'une évaluation rapide n'a pas révélé de dégâts structurels. Les propriétaires sont autorisés à occuper les bâtiments concernés.

- une affiche jaune signifie qu'une évaluation rapide a révélé que le bâtiment est endommagé mais ne présente pas un danger d'effondrement immédiat. Toutefois, l'effondrement est possible avec des répliques. Les propriétaires sont autorisés à entrer à leurs propres risques pour prendre leurs affaires personnelles, mais ne peuvent pas y rester en permanence.

- une affiche verte signifie qu'une évaluation rapide n'a pas révélé de dégâts structurels. Les propriétaires sont autorisés à occuper les bâtiments concernés.



UNSAFE

DO NOT ENTER OR OCCUPY

**BY ORDER OF THE COUNTY OF LOS ANGELES
DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS
BUILDING AND SAFETY DIVISION**



WARNING:

This structure has been seriously damaged and is unsafe. **DO NOT ENTER.** Entry or occupancy can result in injury or death.

IT IS A MISDEMEANOR TO ENTER OR OCCUPY.
IT IS A MISDEMEANOR TO REMOVE THIS CARD,
SECTION 203 OF TITLE 26, L.A.C.C. (ORD. 2225)

JOB ADDRESS:

COMMENTS:

This facility was inspected under emergency conditions for the County of Los Angeles on the date and time noted:

DATE: _____

TIME: _____

INSPECTOR NAME—ID—AGENCY

DISTRICT OFFICE

PHONE NO. _____



LIMITED ENTRY

OFF LIMITS TO UNAUTHORIZED PERSONNEL



**BY ORDER OF THE COUNTY OF LOS ANGELES
DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS
BUILDING AND SAFETY DIVISION**

WARNING:
This facility has been damaged. Alterations or other entry may cause additional damage and increase danger to user occupants. Limited use (FOR EMERGENCY PURPOSES) for shelter and personnel may be acceptable. A private engineer should be consulted for further analysis. Report any unsafe conditions to the local district office.

**IT IS A MISDEMEANOR TO OCCUPY.
IT IS A MISDEMEANOR TO REMOVE THIS CARD,
SECTION 203 OF TITLE 26, L.A.C.C. (ORD. 2225)**

JOB ADDRESS:

COMMENTS:

This facility was inspected under emergency conditions for the County of Los Angeles on the date and time noted:

DATE: _____
TIME: _____

INSPECTOR NAME—ID—AGENCY

DISTRICT OFFICE

PHONE NO. _____



INSPECTED

NO APPARENT STRUCTURAL HAZARD



An emergency inspection of this building revealed no apparent structural hazards. A private engineer should be consulted for further analysis. Repairs may be required. Report any unsafe conditions to the local district office.

**IT IS A MISDEMEANOR TO REMOVE THIS CARD,
SECTION 203 OF TITLE 26, L.A.C.C. (ORD. 2225)**

JOB ADDRESS:

COMMENTS:

This facility was inspected under emergency conditions for the County of Los Angeles on the date and time noted:

DATE: _____
TIME: _____

INSPECTOR NAME—ID—AGENCY

DISTRICT OFFICE

PHONE NO. _____

Cette procédure est adoptée par la grande majorité des communes en Californie.

De plus, pour préparer la population en cas de séisme, le comté passe des messages de sûreté publique à la télévision sur sa chaîne de câble, et organise tous les ans une "kermesse sismique" en coopération avec les départements de police et de pompiers, pour informer le public, donner des recommandations et répondre à toutes questions. L'état de Californie en outre prévoit tous les ans une semaine de prise de conscience de séisme pour sensibiliser et informer la population, et le Gouverneur choisit dans cette semaine un jour où tous les organismes d'Etat concernés font une simulation de secours d'urgence suite à un séisme.

Rétablissement des services

Le jour même du séisme, les gouvernements locaux ont prononcé un état d'urgence pour les villes de Los Angeles, et Hawthorne et les comtés de Los Angeles et de Ventura. Le Gouverneur de la Californie et le Président des Etats-Unis ont presque aussitôt déclaré un état d'urgence pour le comté de Los Angeles. Ceci a permis la mise en place immédiate des services d'urgence locaux, d'Etat et fédéraux. La police a envoyé des brigades dans tous les quartiers affectés pour minimiser les vols et un couvre-feu de 23 heures jusqu'à l'aube fut établi dans les villes de San Fernando, Santa-Monica, Glendale, Burbank et Los Angeles.

Bâtiments

Le comté de Los Angeles emploie environ 900 inspecteurs de bâtiments. Après le séisme du 17 janvier, le comté a fait une demande d'aide auprès du département des services d'urgence de l'Etat de Californie (OES) et du corps d'ingénieurs de l'armée, pour inspecter les bâtiments endommagés. Le corps d'ingénieurs de l'armée a envoyé environ 300 ingénieurs dans les jours suivant le séisme, et l'assistance de OES fut pourvue par les volontaires du service d'urgence de désastre (INES) de l'association des ingénieurs de Californie (SEAOC), les volontaires de la société américaine d'ingénieurs civils (ASCE), ainsi que d'inspecteurs de bâtiments d'autres villes des Etats Unis.

Au 7 février 1994, 3 semaines après le séisme, un total de 64 528 bâtiments avaient été inspectés. Sur ce total, 83 % étaient endommagés, pour un total de près de 2 milliards de dollars de dommages structurels. Des 53 376 bâtiments endommagés, 72 % étaient classés vert (OK), 15 % jaune (entrée limitée), 4 % rouge (entrée interdite) et les 9 % restant n'avaient pas encore été entrés dans la banque de données.

Pour les bâtiments affichés jaune ou rouge, la ville demande un rapport d'un ingénieur certifié, analysant la structure et proposant des réparations. La ville examine le rapport, doit l'approuver et envoyer une équipe inspecter les réparations avant que le bâtiment puisse être occupé.

Les bâtiments d'Etat (tels les bâtiments de *California State University of Northridge*), les écoles publiques, et les hôpitaux sont réglementés par l'Etat et ne sont pas compris dans les chiffres ci-dessus. Ces bâtiments sont inspectés par des équipes d'ingénieurs des services de l'Etat de Californie. Au lendemain du séisme, 22 bâtiments d'Etat ont dû être fermés suite à des dommages sévères. Quatre hôpitaux ont dû être évacués entièrement, 3 partiellement, et 19 autres étaient endommagés mais opérationnels.

Hébergement et Assistance de secours

La Croix Rouge américaine avait établi 25 centres d'accueil, hébergeant environ 5 000 personnes par nuit, opérationnels dès les premiers jours du séisme. L'Armée du Salut avait établi 12 cantines mobiles couvrant la région sinistrée et avait envoyé 6 équipes bilingues d'aide sociale. Le comté estime que dans les premiers jours après le séisme environ 20 000 personnes dormaient en dehors de leur domicile, dans les jardins et parcs publics.

Services utilitaires

Environ 130 000 résidences étaient privées d'eau courante pendant les jours suivant le séisme. De plus, une fuite à l'usine de traitement des eaux de Valencia a entraîné un déversement d'environ 47 millions de litres d'eau à forte concentration en chlore dans la rivière de Santa Clarita, et un pipeline dans la même région a subi trois cassures, déversant environ 16 000 litres de pétrole dans la même rivière.

Le gouvernement local avait demandé instamment à la population de faire bouillir l'eau avant de la consommer. Anheuser-Bush et Coca Cola ont fait don de bouteilles d'eau au comté qui a dû fournir de grandes quantités d'eau par jour, pour subvenir aux besoins des régions affectées. Par exemple, la ville de Santa Clarita avec une population d'environ 70 000 personnes, est restée sans eau courante pendant près de deux semaines, et le comté lui a fourni 350 000 litres d'eau par jour livrés par camion.

Immédiatement après le séisme, de nombreuses résidences étaient privées d'électricité, et de gaz. Il a fallu plusieurs jours pour restaurer ces services.

Incendies

Le jour du séisme, la caserne de pompiers du comté de Los Angeles a enregistré 476 appels non médicaux, comprenant des incendies de bâtiments et

des fuites de gaz; et la caserne de Ventura a enregistré environ 300 appels dont une vingtaine pour incendie. Beaucoup d'incendies se sont développés dans des parcs de *mobile-homes* habitations roulantes) et dans les centres commerciaux dans la région de l'épicentre. D'autres incendies dus au séisme ont été rapportés à Santa-Monica (16) et à Burbank (1).

Conclusion

Le séisme de Northridge est la catastrophe naturelle la plus dévastatrice quant à l'étendue des dégâts, dans l'histoire des Etats-Unis. Toutefois, la réponse des services d'urgence et l'adoption des décisions de déblaiement et de réparation furent si rapides, que l'impact économique a été minimisé, et la vie quotidienne a repris son cours normal pour la grande majorité des habitants, quelques jours seulement après le séisme. L'organisation et la coordination des services locaux, d'état et fédéraux furent remarquables et démontrent bien la valeur d'une préparation mûrement planifiée et réfléchie."

7-1-2 - La gestion de crise lors du séisme de Kobe

Dans le rapport de mission de l'AFPS après Kobe, Mme Laurence Cret décrit ainsi l'organisation réelle des secours en s'appuyant sur les publications du "*Japan Times Special Report*" et d'autres organes de presse :

"Le Japon a été largement critiqué, que ce soit à l'intérieur du pays ou à l'étranger, pour la lenteur de la mise en place des secours après le séisme. On peut décrire l'enchaînement des événements de la manière suivante.

Décisions au niveau local

Les responsables de l'administration locale et des organismes de secours (police, pompiers) ont souvent été eux-mêmes touchés personnellement par le séisme, ce qui bien sûr les a empêchés de réagir immédiatement. L'exemple de la mairie de Kobe, dont un des deux bâtiments a perdu un étage dans le séisme, est frappant.

La confusion qui régnait alors rendait difficile toute évaluation de l'ampleur des dégâts au niveau local et retardait d'autant les prises de décision. Il est symptomatique que le 17 Janvier à 9 h, la police de la préfecture de Hyogo ait annoncé un bilan de 17 morts, puis un bilan de 337 morts à 13 h. Pendant les premières heures, et même la première journée du séisme, la seule source d'information permettant d'avoir une vue d'ensemble était la télévision japonaise qui avait envoyé des équipes survoler la zone en hélicoptère et qui diffusait sans interruption des reportages sur le séisme. Mais bien sûr, à cause des coupures de courant, les responsables locaux n'avaient pas accès à la télévision. Cette difficulté à appréhender la situation qui dans une certaine

mesure était inhérente à l'ampleur de la catastrophe, s'est répercutée à tous les niveaux de prise de décision.

Comme c'est souvent le cas dans ce genre de situation, il était nécessaire que les secours viennent de l'extérieur.

Décisions au niveau national

Le principal acteur de niveau national pour la mise en place des secours est l'Agence d'Autodéfense (l'équivalent du Ministère de la Défense dans un pays qui, de par sa constitution, s'est engagé à ne pas avoir d'armée). Il lui a été reproché d'avoir beaucoup trop tardé pour intervenir.

En effet alors que, pour l'efficacité des secours, les premières heures sont cruciales, les premiers contingents importants ont été envoyés sur le terrain dans l'après-midi, voire la soirée du 17 Janvier, soit 12 h après le séisme.

Interventions des Forces d'Autodéfense après le séisme

17 janvier	5:46	Le séisme frappe la région du Kansai
	6:30	La 10 ^{ème} et la 13 ^{ème} divisions de Nagoya et Hiroshima sont mise en alerte spéciale
	7:14	un hélicoptère des Forces d'Autodéfense survole l'île d'Awaji
	7:58	48 hommes envoyés à la gare d'Itami pour les secours
	8:20	206 hommes envoyés à Nishinomiya pour les secours
	10:00	Le gouverneur de la préfecture de Hvogo demande officiellement l'aide des Forces d'Autodéfense
	10:20	Trois hélicoptères sont envoyés en éclaireurs sur l'île d'Awaji
	11:00	L'Agence d'Autodéfense met en place un poste de commandement de crise pour l'organisation des secours
	13:10	215 hommes envoyés de Himeji arrivent à Nagata-ku et Hyogo-ku à Kobe
	14:00	86 hommes se dirigent sur Ichinomiya sur l'île d'Awaji
	15 00	365 hommes de l'infanterie, partent de Fukushiyama, dans la préfecture de Kyoto, pour rejoindre Oji Koen à Kobe
	16:00	83 hommes partent de Yao, dans la préfecture d'Osaka, pour rejoindre l'île d'Awaji à bord de 4 hélicoptères CH-47
	Soirée	2 300 renforts sont envoyés sur place
18 janvier	3:00	mobilisation de toutes les troupes de terre disponibles
19 janvier	6:00	9 500 hommes présents sur le terrain
20 janvier		13 000 hommes mobilisés
21 janvier		16 000 hommes mobilisés au total

L'Agence d'Autodéfense n'avait pas de moyens propres d'évaluer l'ampleur de la catastrophe. Les hélicoptères envoyés en reconnaissance au-dessus de l'île d'Awaji, où était situé l'épicentre, n'ont pas fourni d'information permettant de cibler les endroits où une action était nécessaire. L'Agence d'Autodéfense dépendait donc entièrement de la police locale pour une estimation réaliste des dégâts, or la police locale était dans un état de confusion important.

Il semble également que les exercices de crise impliquant tous les acteurs concernés (Forces d'Autodéfense, police, pompiers, autorités locales) aient été beaucoup trop limités dans la région du Kansai. Dans les régions du Kanto (autour de Tokyo) et du Tokai (à 150 km au Sud de Tokyo) où l'imminence d'un séisme important est prédite depuis une quinzaine d'années, 2 000 membres des Forces d'Autodéfense prennent part à des exercices annuels. Pour chacune des 47 autres préfectures en revanche, seulement 25 personnes par an en moyenne sont entraînées aux opérations post-sismiques en coordination avec les autorités locales.

Un autre frein à l'intervention rapide des Forces d'Autodéfense (c'est-à-dire l'armée) est constitué par la loi selon laquelle l'Agence d'Autodéfense est fondée. Cette loi ayant été écrite dans un climat de pacifisme et de défiance à l'égard de l'armée, il y est stipulé à l'article 83 que les Forces d'Autodéfense ne peuvent intervenir que sur demande officielle des autorités locales. Une dérogation n'est possible que si le lieu est très proche (c'est ce qui a permis les interventions à Itami et Nishinomiya).

Décisions au niveau gouvernemental

C'est normalement l'Agence du Territoire (l'équivalent du Ministère de l'Intérieur) qui est chargée de coordonner l'action de secours du gouvernement en cas de catastrophe naturelle. Les informations venant des autorités, de la police et des pompiers locaux sont rassemblées par l'Agence du Territoire avant d'être éventuellement répercutées vers le cabinet du Premier Ministre.

A cause de l'interruption des lignes téléphoniques avec la préfecture (il n'existe pas de liaison hertzienne entre l'Agence et les préfectures) et du manque de personnel, la collecte d'information a été totalement inefficace dans les premières heures. Le premier ministre Tomiichi Murayama était mieux renseigné en regardant la télévision.

Il a fallu attendre presque 36 heures et le rapport du chef de l'Agence du Territoire, Kiyoshi Ozawa, envoyé sur les lieux pour que le Premier Ministre prenne conscience de l'ampleur de la catastrophe. Ce dernier a

même été choqué, lors de sa visite sur le terrain le 19 janvier, de constater que les dégâts étaient bien pires que ce qu'il avait pu imaginer.

On évoque aussi d'autres causes moins reluisantes de l'inefficacité du processus décisionnel au niveau gouvernemental, comme les querelles de clochers entre ministères ou l'animosité entre le Parti Socialiste Japonais (dont fait partie Tomiichi Murayama) et les Forces d'Autodéfense.

Conclusion

On peut probablement trouver trois raisons principales au retard constaté dans la mise en place des secours :

- l'ampleur du sinistre et la difficulté pour les responsables d'en prendre conscience,
- le système politique de prise de décision,
- le manque de préparation dans cette région du Japon.

Malgré toutes les critiques que l'on a pu entendre, il faut bien reconnaître que le séisme de Hyogo-Ken Nambu représente un sinistre d'une ampleur considérable. Quels que soient le pays et la qualité de l'organisation, il est difficile d'être efficace dans de telles circonstances. La difficulté de prise de conscience de l'ampleur des dégâts est certainement une des clefs du retard dans les prises de décision au plus haut niveau. Une meilleure organisation de la collecte et de la centralisation de l'information en cas de crise, qui ne dépende pas de réseaux de communication terrestres vulnérables aux séisme, est nécessaire.

Il est notoire que la culture et l'éducation japonaises, selon lesquelles les décisions sont prises collectivement après avoir obtenu un consensus, ne sont pas favorables à la gestion de crise. S'il s'agit d'appliquer des procédures ou un programme établi après mûre réflexion et prenant en compte l'avis de tous, le système japonais est très performant. Par contre, les responsables japonais ne sont pas formés à prendre des initiatives dans une situation de crise. Un chef de la police ou un général réveillé par un subordonné en plein milieu de la nuit va d'abord se rendre sur les lieux, évaluer la situation, discuter avec ses collaborateurs avant de prendre une décision.

Plus qu'ailleurs, une préparation rigoureuse est donc nécessaire au Japon. Il faut essayer de prévoir l'imprévisible et d'entraîner les secours potentiels aux situations auxquelles ils risquent d'être confrontés en cas de catastrophe naturelle grave.

Ces dernières années, les efforts de préparation s'étaient peut-être trop concentrés sur Tokyo et le Tokaï. Ceci était compréhensible car un pays

doit se fixer des priorités dans tous les domaines, et il ne semblait pas réaliste d'organiser des exercices de préparation au séisme dans tout le Japon (il semble d'ailleurs que dans la région du Tokaï, qui est sous la menace d'une épée de Damoclès depuis plus de quinze ans, une certaine lassitude soit apparue dans la population, qui ne participe plus aux exercices annuels avec le même sérieux). Cette stratégie est peut-être à revoir, en considérant non seulement le risque sismique, mais aussi l'importance socio-économique des différentes régions."

M. Jacques Dalbéra, qui était parti dès l'annonce du séisme pour préparer la mission de l'AFPS, en a tiré également des conclusions :

"Un enseignement important de ce séisme concerne les difficultés d'organisation des secours dans les premières heures de la catastrophe. Cet aspect est fortement lié à la destruction partielle des centres de décisions et de secours sur place (exemple : la mairie de Kobe), mais surtout à l'incapacité, pour les responsables locaux ou extérieurs à la zone détruite, d'être informés de la situation réelle. Cette lacune d'information, lors de désastres, a déjà été soulignée à de nombreuses reprises et il est certain que l'amélioration de l'organisation des secours passe par la mise en place de systèmes efficaces de renseignements et de communications. Elle implique également que les postes de commandement soient situés hors de la zone la plus touchée par le phénomène."

Un autre témoin M. Martin Koller, arrivé sur place 30 heures après le séisme, avec l'équipe suisse, a fait le récit (texte intégral dans le tome 2) des incohérences qu'il a pu relever. Le but ici n'est pas de critiquer, mais bien de mesurer l'énorme différence existant entre un scénario comme l'on nous en a décrit lors de la mission en septembre 1994 et la réalité, lorsque tout est désorganisé. Il faut donc là aussi faire preuve d'humilité devant de telles épreuves.

7-2 - L'organisation des secours

L'efficacité en ce domaine résulte de la rapidité d'intervention de toute la chaîne des sauveteurs, depuis l'approche des ruines jusqu'aux actions médicales, en passant par la détection des personnes ensevelies, leur dégagement, leur désincarcération éventuelle (*crush syndrome*) et leur transport. Au-delà de 24 heures, les chances de retrouver des survivants diminuent rapidement. Kobe a servi malheureusement d'illustration d'un relatif manque d'efficacité.

Lors de ma mission en Californie, j'ai rencontré un homme qui avait particulièrement réfléchi à l'organisation des secours.

L'Amiral John W. Bitoff, actuel Directeur du "Mayor's Office of Emergency Services" de San Francisco, était le Commandant de la Marine américaine du Pacifique (secteur Nord jusqu'à Hawaii) lors du séisme de Loma Prieta.

Il avait sous ses ordres 65 000 hommes, 2 stations navales, 1 chantier naval, 2 centres de formation et 1 centre médical.

Il eut à résoudre le dilemme habituel : les militaires ne peuvent pénétrer certains domaines civils sans y être invités. Prenant un risque calculé, il a donc décidé d'envoyer un gros hélicoptère qui a pu soulever et déposer sur terre les automobiles en situation précaire sur les chaussées éventrées des autoroutes à étage de San Francisco.

Le nouveau maire de San Francisco, élu après le séisme, a fait appel à l'amiral lorsque celui-ci prenait sa retraite et lui a confié la direction du service d'urgence de la ville et l'organisation des secours.

Les différents services lui apparurent comme de réels fiefs : pompiers, police, travaux publics, santé publique et comble de ces fiefs, aucune communication entre services. Or, chacun a besoin de comprendre les autres ; c'est pourquoi il fallait un intégrateur horizontal !

L'amiral s'est donc installé provisoirement dans un centre pouvant supporter grâce à ses fondations parasismiques un séisme de 8.1 au moins. Un nouveau bâtiment sera construit d'ici 1997.

Le grand incendie d'Oakland a également permis de tirer des enseignements sur la nécessité d'une coordination. Cependant même si la loi lui confie la coordination de tous les services de secours en cas de guerre, désordres civils, inondations, incendies, séismes, l'amiral a rencontré des difficultés majeures avec 2 services en uniformes : la police et les pompiers.

Il a convaincu le maire, le seul à pouvoir lui donner des instructions, de faire de ce centre son bureau en cas d'urgence. Quatre salles dans ces locaux seraient le centre des opérations, chaque participant recevant une jaquette de couleur servant à identifier sa responsabilité :

violet :	commandement
vert :	logistique
blanc :	finance
rouge :	opération
orange :	communication
jaune :	visiteurs

Tous les postes téléphoniques sont doublés et ont un double circuit de transmission, 3 stations de radio équipent le centre.

En période de calme, l'organisation semble rigoureusement parfaite ; qu'en serait-il en cas de crise ?

Comme pour toute organisation aux Etats-Unis, il y a plusieurs niveaux d'intervention sans qu'une parfaite cohérence soit immédiatement lisible. A côté de l'échelon local, il y a le Comité, les services du Gouverneur, de l'Etat et le niveau fédéral.

Mme Vicky Doty est le Directeur du Federal Emergency Management Agency et elle me rappelait les trois domaines essentiels de son action :

- répondre à un accident et remise en état à long terme
- se préparer aux accidents
- atténuer l'impact des accidents.

Les Etats ont la responsabilité première, mais lorsque cela dépasse les possibilités, le Président intervient pour l'aide fédérale : le FEMA intervient alors pour faire respecter les règles fédérales. Il y aura en cas d'aide fédérale un coordonnateur fédéral sur le terrain, souvent membre du FEMA sans que cela soit obligatoire.

Pour Northridge, la station de télévision installée dans les locaux du FEMA, avait donné les informations (liaisons par satellite), et diffusé un journal télévisé en anglais et en espagnol durant 15 jours dans tout Los Angeles et ses environs.

Les fonds fédéraux permettent d'utiliser des spécialistes, le FEMA contrôle toujours les fonds de secours.

D'autre part, le FEMA doit coordonner et être en bonne intelligence avec toutes les autres agences pouvant intervenir sur un séisme ; il répartit entre les associations caritatives les plus efficaces l'aide pour les différentes communautés. Ainsi le FEMA a été amené à gérer le parc de 1 000 véhicules prêtés par General Motors pour la durée des besoins des secours et de la réparation des dommages.

Si un séisme venait de se produire, la réunion aurait pour but :

- de contacter toutes les agences avec lesquelles le FEMA travaille,
- d'organiser la surveillance par satellite, avion et autres moyens de reconnaissance, services de renseignement, car il

est très important d'avoir une juste évaluation des dégâts pour ajuster les moyens à la catastrophe.

Chaque Etat a sa garde nationale, qui fait partie de la réserve militaire en temps de paix, sous l'autorité du Gouverneur. Cette réserve peut être engagée si nécessaire.

En Californie, au moins 30 000 personnes peuvent être mobilisées immédiatement, pour des secours sur place ou dans les hôpitaux.

M. Tomomitsu Fujii, Directeur du "Earthquake Disaster Counter Measures Division, Disaster Prevention Bureau" au "National Land Agency", organisme rattaché au Cabinet du Premier Ministre japonais, définissait ainsi le rôle du NLA.

Le NLA doit coordonner les mesures des 19 ministères concernés par un séisme.

Le "Disaster Countermeasures Basic Act" a été promulgué en novembre 1961. La création du "Central Disaster Prevention Council" dont le Premier Ministre assure la présidence, remonte à 1962 et le "Basic Plan for Disaster Prevention" (BPD) a été adopté en 1963.

Les grandes lignes de la politique de lutte contre les séismes sont élaborées dans cette agence, les services établissent ensuite leurs plans opérationnels propres (les OPDP), les municipalités les leurs (les LPDP), l'ensemble devant être en concordance.

Les municipalités sont responsables en cas de séismes, c'est à elles d'élaborer les procédures concrètes de secours ; au niveau gouvernemental, c'est un plan de soutien qui est élaboré.

Le séisme de 1923 est encore très présent chez tous les interlocuteurs japonais rencontrés. Ils en ont tiré les leçons suivantes :

- il faut promouvoir des mesures préventives dans les villes ;

si on ne peut éteindre les incendies, il faut évacuer les habitants dans des parcs sûrs, et donc établir des circuits de regroupement. Il faut utiliser des matériaux ininflammables. Il faut lotir les quartiers, les routes larges doivent servir de coupe-feu. Il faut des circuits redondants pour le téléphone et l'électricité. Pour le gaz, circuit principal et conduites secondaires doivent être découplées. Dans chaque foyer, il y a un dispositif de coupure du gaz par microprocesseur. La procédure de réouverture du gaz après coupure est très lourde, tous les circuits doivent être vérifiés.

- il faut une meilleure sensibilisation : plusieurs scénarios sont à envisager ; souvent le séisme coupe le système de télécommunications, il faut donc privilégier les radios. Il y a un réseau radio d'interconnexion des ministères concernés, mais cela n'existe pas au niveau municipal (moins de 50 % du territoire est couvert). Chaque maison doit avoir une réserve d'eau et de denrées alimentaires pour 3 jours minimum. Les pouvoirs publics ont du riz stocké dans des entrepôts, une distribution en cas de nécessité est prévue.

Mais l'Agence n'a que 20 ans d'histoire, c'est un organe de coordination, et non de responsabilité d'exécution. L'Agence contrôle les actions menées par les ministères, elle peut empêcher des inégalités entre ministères "riches" et "pauvres", mais elle veille aussi que chaque ministère se prépare à la catastrophe.

M. Katsuhiko Hara, adjoint du Directeur du "National Land Agency", m'a présenté le scénario de crise prévu au Japon :

Dès la découverte de l'anomalie, le Comité de Prédiction (6 chercheurs ou universitaires désignés par le Directeur de l'Agence de la Météorologie) se réunit. Après observation de l'anomalie, s'ils estiment une forte probabilité de séisme, cette conclusion est rapportée au Premier Ministre. Le Conseil de Cabinet interministériel se réunit et décide de la publication de l'alerte.

Dès cette publication, la procédure de mise en place des actions d'urgence est déclenchée :

- pour le gaz, l'électricité et l'eau, premières nécessités pour la vie, on se prépare à couper mais le fonctionnement en est prolongé au maximum,
- pour le téléphone, l'accès des communications du public est réglementé,
- arrêt de tous les trains à la gare la plus proche,
- circulation interrompue sur toutes les autoroutes du secteur,
- fermeture des services (banques, poste),
- les parents doivent venir chercher les enfants dans les écoles.

La prédiction est à quelques heures ou 2 à 3 jours : si l'attente se prolonge, il y a problème. Cela a un impact économique et nécessite un réexamen par le Comité de Prédiction. Pour le Tokaï il n'y aura pas de perte de l'alerte, mais la nécessité d'une procédure spéciale pour son arrêt.

Il est évident que ce plan fonctionne si tout se passe comme prévu ; l'exemple de Kobe montre bien que rien ne se déroule comme projeté !

7-3 - L'organisation des secours en France

La protection des personnes et des biens dépend du ministère de l'Intérieur.

Dans les communes, juridiquement, ce sont les maires qui sont responsables. En fait, dans le cas d'une catastrophe naturelle telle un séisme, ce sera le préfet qui aura à gérer la crise, avec éventuellement et suivant l'importance de la catastrophe le préfet de la zone de défense compétent.

Au sein du ministère de l'Intérieur, la Direction de la Sécurité civile est plus particulièrement chargée de la prévention, des plans de secours et de l'organisation des secours. Son but est une anticipation maximale de la crise.

La préparation se fait davantage sur des fiches réflex que sur des scénarios rigides qui ne se produisent jamais. Toutefois une réflexion est entamée actuellement sur la modernisation des plans ORSEC avec annexe : il pourrait y avoir un plan ORSEC "séisme" pour les Alpes-Maritimes.

A ce jour il n'existe aucun plan d'urgence "séisme", le seul plan qui serait donc appliqué à ce jour, serait le plan ORSEC.

Le plan ORSEC date de 1952, il permet de structurer en 5/6 cellules toute la logistique des secours. La loi 87-565 du 22 juillet 1987, relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des risques majeurs prévoit dans son article 3 des plans de secours spécialisés liés à un risque défini.

Mais le risque sismique n'est pas limité géographiquement. Il est plus difficile à appréhender que l'aléa mouvement de terrain.

L'une des missions de la Sécurité civile est donc la protection des personnes, de l'accident dans la vie courante à la catastrophe naturelle.

Le dispositif s'appuie sur des centres opérationnels ouverts 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, à trois niveaux : national, interrégional et départemental.

On retrouve donc :

- le centre opérationnel de la direction de la sécurité civile à Levallois-Perret (CODISC),
- les centres interrégionaux de coordination de la sécurité civile à Valabre, Bordeaux, Lyon, Metz, et Rennes (CIRCOSC),
- les centres opérationnels départementaux d'incendie et de secours (CODIS).

Cela représente pour la France :

- au niveau national :

- . 2 720 personnels civils et militaires de l'Etat,
- . 1 base d'avions, 20 bases d'hélicoptères, 5 unités de sécurité civile, 4 établissements de soutien opérationnel et logistique, 19 centres de déminage,
- . 950 véhicules terrestres, 34 hélicoptères et 29 avions ;

- au niveau local :

- . 12 653 centres de secours et corps de première intervention,
- . 239 000 sapeurs-pompiers dont 199 500 volontaires, 23 000 professionnels, 8 400 sapeurs pompiers militaires (7 000 à Paris, 1 400 à Marseille), 7 120 médecins, pharmaciens et vétérinaires,
- . un parc automobile comprenant 5 000 véhicules de secours, 3 600 fourgons-pompes, 940 échelles, 5 600 camions citernes pour feux de forêt, 3 875 véhicules de liaison, 4 438 véhicules tous usages,
- . 2 000 000 de secouristes.

7-3-1 - L'alerte

Le réseau de surveillance sismique français, et en particulier les stations du L.D.G. ou I.P.G. de Strasbourg (réseau RÉNaSS), permettent de localiser immédiatement la région touchée par le séisme et d'en connaître approximativement la magnitude.

La responsabilité de l'évaluation de l'information et de sa transmission repose donc sur ces services. Par convention à partir d'un séisme enregistré de magnitude 3.7, ils transmettent l'information à la direction opérationnelle de la Sécurité Civile (CODISC). L'exemple d'une alerte a été développé lors de la description du réseau du L.D.G.

7-3-2 - La mobilisation

Le plan ORSEC national, au terme de la loi sécurité civile du 22 juillet 1987, en cas de catastrophe majeure, est déclenché par le Premier Ministre à la demande du Préfet après avis du Directeur de la Sécurité Civile et du Directeur des secours.

Un directeur des secours peut être immédiatement désigné au cas où le Préfet du département se trouverait dans l'impossibilité d'exercer ses responsabilités.

La mobilisation des moyens militaires sur réquisition, dans le cadre du plan ORSEC, permet d'effectuer des reconnaissances aériennes, de renforcer les moyens de transmission et de mettre à disposition personnels et engins lourds.

7-3-3 - La coordination

La coordination des opérations est assurée par le Ministère de l'Intérieur. Chaque département ministériel délègue un ou plusieurs représentants au centre opérationnel de la Sécurité civile.

Les organisations caritatives et non gouvernementales sont appelées à participer activement à l'assistance des sinistrés. Néanmoins, l'afflux des volontaires bénévoles doit être pris en compte de façon à ne disposer que de sauveteurs compétents. Bien encadrés, leur connaissance du terrain est capitale en ce qui concerne la localisation des victimes emmurées.

Mais ainsi que cela fut rappelé lors de l'audition publique par Mme de Vanssay, il pourrait y avoir incompréhension entre bénévoles et sauveteurs professionnels. Reprenons sa déclaration :

"Dans la majorité des cas, on a donc affaire immédiatement à des personnes qui vont se mobiliser, et l'un des problèmes psychologiques que rencontrent les bénévoles est le fait qu'ils se sont tellement impliqués dans le sujet qu'ils ne comprennent pas que des décisions puissent être prises par des secours venant d'ailleurs.

Entre les secours et les bénévoles, un certain nombre de tensions vont alors se créer. La progression va être la suivante : tout d'abord cette solidarité que tout le monde constate et qui dure un certain temps, puis l'arrivée des secours venant de l'extérieur, qui prennent les choses en charge avec beaucoup plus de matériel.

Les sauveteurs officiels vont alors demander aux bénévoles de rentrer chez eux pour se reposer. Prenant en charge les affaires ils ne sont pas impliqués de la même façon dans la situation ; ils vont donc y mettre moins de sentiments et être plus efficaces.

Mais, du fait qu'ils sont plus efficaces, leurs temps de travail vont être différents et les décisions qu'ils vont appliquer vont provoquer la colère et l'amertume des sinistrés.

Ceci n'est pas un discours que j'invente. C'est tiré d'une étude tout à fait intéressante, que j'ai d'ailleurs essayé de présenter à d'autres personnes en charge des sauvetages. Elle est tirée d'études très bien faites aux Etats Unis, après le cyclone Hugo et après le tremblement de terre de Loma Prieta.

Quand on est sauveteur, on attire l'amertume, la colère, le désespoir des sinistrés parce qu'on leur donne brusquement l'impression qu'ils sont

obligés de retourner chez eux et de considérer leurs propres dégâts, ce qu'ils évitent de faire en venant au secours de leurs proches."

Cette approche, fort différente de celles des autorités de la sécurité civile, a beaucoup surpris l'auditoire. Toutefois le problème des représentations mentales existe et cette donnée n'est pas ou peu intégrée dans la planification d'urgence des secours. Mais si la question est soulevée, quelle solution peut-on y apporter ?

7-3-4 - Les actions prioritaires

Lors d'un séisme, des actions doivent être entreprises immédiatement, à tous les niveaux.

Au niveau opérationnel national, il faut rassembler les moyens spécifiques de secours, les acheminer vers les zones sinistrées, informer les populations, et diffuser des consignes aux populations sinistrées.

Au niveau décisionnel local, la synthèse des renseignements doit permettre de mesurer l'ampleur des dégâts et surtout l'état des réseaux de communication et télécommunications.

7-3-5 - Les unités spécialisée

L'efficacité des secours exige la solidarité, de commune à commune, de département à département. L'Etat dispose de moyens nationaux pour des interventions complémentaires, et notamment de 5 unités militaires qui dépendent de la Direction de la Sécurité civile. D'autres moyens nationaux -les plus lourds- sont mis à la disposition des préfets par la DSC en cas de nécessité. Les unités de sécurité civile représentent 1 800 hommes.

La France, grâce à sa participation aux opérations de secours lors de séismes à l'étranger, a développé une doctrine originale et des moyens techniques spécialisés basés sur la notion de "chaîne de secours" et de "l'intervention intégrée des moyens" allant de la détection à la médicalisation.

De petites unités, au fonctionnement très souple, autonomes et polyvalentes, c'est-à-dire en mesure d'effectuer des opérations à caractère variable selon les situations rencontrées sont parfaitement autonomes.

Ce principe de l'autonomie s'applique à trois niveaux :

- autonomie du commandement,
- autonomie technique (transports, transmissions, matériels et médicaments),
- autonomie de vie (alimentation, hébergement, habillement).

Il existe donc des détachements d'intervention catastrophe aéromobiles (DICA), qui disposent d'une cellule médicale intégrée.

On trouve aussi :

- des détachements d'appui médical, issus des éléments d'intervention et de secours (DAM) ;
- un détachement de soutien en médecine de catastrophe, issu du SAMU 94 ;
- des chiens et leurs maîtres-chiens qui pratiquent la recherche et la détection en utilisant de façon complémentaire les moyens acoustiques ;
- enfin des spécialistes de la construction leur seront adjoints pour détecter "les espaces de survie".

Ceci a nécessité aussi la palettisation des matériels médicaux, des médicaments, du matériel logistique, pré-conditionnés pour être rapidement transportés.

Votre Rapporteur a pu visiter l'Unité de Sécurité Civile n°7, basée à Brignoles et qui est la plus ancienne des unités existantes à ce jour, puisque constituée en 1974.

La démonstration effectuée ce jour là par les hommes du Lieutenant-Colonel Moine, et de son adjoint le Lieutenant-Colonel Bastaroli, m'a permis d'apprécier la justesse des éloges flatteurs recueillis partout à l'étranger et en France par ces hommes. L'USC n°1 de Nogent-le-Rotrou, qui ne fut autorisée à intervenir par le gouvernement japonais que 5 jours après le séisme de Kobe, est constituée sur le même modèle et a les mêmes compétences.

Une USC comprend des hommes et des matériels :

Personnels

U.S.C.	Carrière	Appelés	Total
Officiers	24	13	37
Sous-officiers	73	14	87
Militaires du rang	22	479	501
Total	119	506	625

Matériels techniques majeurs

150 véhicules et 260 appareils de radiotransmission permettent de répondre aux spécialités suivantes :

- incendie, feux de forêts et d'hydrocarbures,
- détection acoustique et sauvetage déblaiement,
- dépollution,
- détection radiologique et chimique,
- secours routier et désincarcération,
- interventions médicales et chirurgicales.

Chaque U.S.C. comprend un Chef de Corps et un Commandant en second, un Etat Major et quatre compagnies dont deux d'intervention, une compagnie d'instruction, une compagnie de commandement et de services.

Une compagnie d'intervention doit être prête à embarquer pour n'importe quel point du monde en moins de 3 heures, avec son matériel d'intervention bien entendu. Elle est la base du Détachement d'Intervention Catastrophe Aéromobile (DICA) ; chaque DICA est composé de 60 hommes, 3 équipes cynophiles de recherche, une équipe médicale et 6 tonnes de matériel de secours. La recherche en matériel est constante, tout gain de poids est une victoire pour le sauvetage.

L'Institut national d'études de la sécurité civile et l'École nationale supérieure des sapeurs-pompiers de Nainville-les-Roches, de renommée internationale, forment 5 000 stagiaires par an.

7-4 - Y a-t-il nécessité ou non d'un plan d'évacuation et de secours propre au risque sismique ?

L'organisation des secours, pour l'ancien Délégué aux Risques Majeurs, M. Renaud Vié Le Sage, repose sur une incohérence au niveau départemental. La cohérence secours civil/armée doit être privilégiée dans le cas de catastrophe naturelle.

Le Dr Lupéron me disait avoir essayé de mettre en place un plan hospitalier "séisme" en Guadeloupe, mais s'être heurté à une impossibilité. Sur une simulation d'un séisme de magnitude 7, il pourrait y avoir environ 50 000 victimes. Or, les hôpitaux et cliniques ne disposent pas de plus de 15/20 places disponibles. La dotation en secours est pour 25 blessés !!!

L'hôpital pourra-t-il résister ? Malgré les affirmations, on ne peut en être sûr. La nécessité d'un hôpital de campagne pour 300 victimes se fait donc ressentir. La population indemne est le premier secours.

Toujours en Guadeloupe, le Colonel Antenor prépare un plan de cohésion entre les 6 secteurs géographiques qu'il a définis, avec des groupes pouvant être autonomes pendant 72 heures au minimum. L'heure du séisme aura de l'importance :

- de nuit, il y aura moins de victimes du fait de l'habitat diffus, mais les secours seront dispersés ;
- de jour, il y aura plus de victimes, mais les secours seront concentrés.

De toute manière, un plan séisme en commun avec la Martinique doit exister, et une base de secours doit être trouvée. Une base en Guyane, facilement accessible par avions et hélicoptères, présente l'avantage de rester opérationnelle quelle que soit l'île touchée par un séisme.

TITRE II - LES GLISSEMENTS DE TERRAIN **ET LES EBOULEMENTS**

Jean-Louis Durville, du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, définit ainsi les mouvements de terrain :

"Le terme de Mouvement de Terrain regroupe des phénomènes très variés, par leur nature (affaissements et effondrements dus aux cavités souterraines ; instabilités de versants : glissements, écroulements, coulées, ...) et par leur dimension (phénomènes significatifs à partir de quelques m³, et pouvant atteindre quelques centaines de millions de m³, voire plus). On inclut parfois également les déformations des sols dues à la sécheresse : retrait-gonflement.

La majorité des départements français est concernée par ce type de risque, avec des fréquences variables. Pourtant les mouvements de terrain ne retiennent guère l'attention des médias et ne frappent donc pas l'opinion. Certes les événements très meurtriers sont heureusement rares dans notre pays : la coulée du Plateau d'Assy, en 1970, qui fit 72 victimes, est le cas le plus dramatique de notre siècle. Mais les coûts engendrés par les mouvements de terrain sont loin d'être négligeables : entre 0,5 et 1 milliard de francs par an, indépendamment de quelques cas exceptionnels (La Clapière dans les Alpes-Maritimes : 250 millions de francs de dépensés, essentiellement de façon préventive, en quelques années).

Aux États-Unis, le coût annuel est estimé à plus de 7 milliards de francs, et une somme du même ordre de grandeur est atteinte au Japon et en Italie ; dans un P.V.D. comme le Costa-Rica par exemple, les mouvements de terrain, y compris ceux causés par les séismes, représentent en moyenne chaque année 1 % du P.I.B. En ce qui concerne le caractère meurtrier, on peut citer quelques exemples récents : 220 morts à Medellin (Colombie, 1987), 66 morts à Catak (Turquie, 1988), 250 morts à Gissal (Tadjikistan, lors du séisme de 1988), 216 morts au Yunnan (Chine, septembre 1991), 50 morts au Sichuan (Chine, août 1992), etc.

Par rapport à d'autres risques naturels, le risque lié aux mouvements de terrain se caractérise par une répartition spatiale et temporelle assez diffuse :

- aspect spatial : régions montagneuses certes, mais aussi régions à relief plus modéré où une formation géologique défavorable est présente, régions à érosion côtière, régions de dissolution karstique, etc. Cette dispersion a deux conséquences : l'information statistique sur les événements est très difficile à collecter ; les dépenses de prévention sont nécessairement à "saupoudrer".

- aspect temporel : périodes de fortes pluies certes, mais également périodes de fonte de neige, contrecoup de séismes, conséquences d'interventions humaines, etc".

1 - CONNAISSANCE DU PHENOMENE

M. Philippe Masure, directeur au BRGM et l'un des principaux experts que j'ai consulté pour cette étude, donne de la connaissance du phénomène l'appréciation suivante :

Les mouvements de terrain sont très variés en France, par leur nature (glissements de terrains, éboulements rocheux, coulées de boues, effondrements de vides souterrains, affaissements, gonflement ou retrait des sols, ...) et par leur dimension (certains glissements, comme celui de la Clapière dans les Alpes Maritimes, peuvent atteindre plusieurs dizaines de millions de m³).

Leur répartition spatiale est guidée par la topographie et par la géologie (nature et fracturation des formations affleurantes, hydrogéologie) c'est-à-dire par l'environnement physique. Ils concernent non seulement les régions montagneuses et côtières, mais aussi les bassins à forte densité de vides souterrains (naturels ou minés), les sols argileux sensibles aux variations de teneur en eau, ... Leur occurrence est très marquée par les variations climatiques (périodes de fortes pluies, fonte des neiges, sécheresse) mais peut aussi être liée à des secousses sismiques ou encore être induite par les activités humaines.

Objet de développements importants en géotechnique au cours des dernières décennies (mécanique des sols et mécanique des roches), l'analyse des conditions de stabilité de sites localisés et d'ampleur limitée dont le génie civil avait surtout besoin, s'avère insuffisante pour l'appréhension de l'aléa et son zonage.

La communauté scientifique s'accorde aujourd'hui à recommander la mise en oeuvre de programmes ambitieux dans ce sens. Avec un souci de décloisonnements des spécialités concernées (géographes, géologues, géotechniciens), les priorités en phénoménologie devraient porter sur :

- l'inventaire systématique des phénomènes de grande ampleur (historiques et actuels) et les études de cas détaillées (structure, cinétique, mécanique, évolution, ...) ainsi que le développement de banques de données sur les mouvements de terrain,
- l'amélioration des calculs en déplacements,
- le rôle de l'eau dans le déclenchement et l'évolution des mouvements,
- les techniques de reconnaissance et d'observation des mouvements à grande échelle (bassins de risques) par une meilleure exploitation des progrès technologiques : télédétection, géophysique, photogrammétrie, etc.

M. Jean-Louis Durville complète ainsi cet état des lieux :

Dans leur principe, les mouvements de terrain sont bien compris : ils surviennent lorsque la résistance des terrains est inférieure aux efforts moteurs engendrés par la gravité et l'eau souterraine (voire les séismes) ou par les travaux de l'Homme ; leur dynamique répond naturellement aux lois de la mécanique.

Dans la pratique cependant, les choses sont très complexes, du fait des incertitudes :

- sur les conditions initiales, notamment en profondeur,
- sur les propriétés mécaniques des terrains, en général hétérogènes, non linéaires, anisotropes, discontinus, ...
- sur les conditions hydrauliques : position de la nappe, phénomènes se produisant en zone non saturée. L'eau est la cause déclenchante de la plupart des mouvements ; c'est un facteur variable dans le temps.

Deux approches principales sont utilisées pour l'étude de ces instabilités :

- le calcul à la rupture, dans lequel il s'agit simplement de différencier les sites stables et les sites instables, en général au moyen d'un coefficient de sécurité : les compétences actuelles sont satisfaisantes et s'appliquent assez bien lorsqu'il s'agit de dimensionner un talus artificiel ou une confortation d'instabilité ;
- les calculs en déplacement, dans lesquels on cherche à décrire le mouvement des masses instables en fonction du temps : c'est un domaine beaucoup moins avancé actuellement.

Dans le cas des phénomènes à dynamique rapide, des modèles de propagation sont en cours de développement ou d'amélioration : cas des chutes de blocs, des avalanches rocheuses, des laves torrentielles.

Pour ce qui est des phénomènes plus lents, comme les glissements de versants naturels (quelques mm à quelques dm par an en général), on ne dispose guère de modèle décrivant leur cinématique, probablement du fait que leur mouvement se fait à énergie cinétique quasi nulle.

Le cas des instabilités sous séisme est encore mal modélisé, en particulier par suite des changements de résistance au cours des cycles de chargement.

Le séminaire de Nainville-les-Roches en 1992, consacré aux mouvements de grande ampleur, a mis en lumière la connaissance très

imparfaite des mécanismes de déformation et de rupture des grands versants : un effet d'échelle existe, mais son analyse reste encore à faire pour l'essentiel.

Pour ce qui est de l'effondrement de carrières souterraines, les principaux types d'instabilité sont identifiés : remontée de toit, effondrement généralisé par rupture de piliers ou par poinçonnement du mur. Mais des observations précises "pré-rupture" et "post-rupture" permettraient de mieux appréhender ces mécanismes.

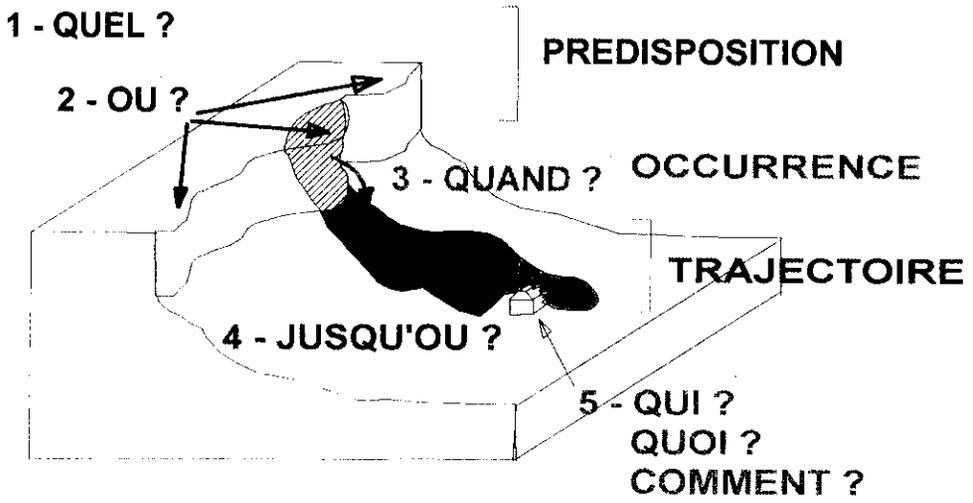
M. Pierre Antoine, géologue au Laboratoire de Géologie et de Mécanique de l'IRIGM Grenoble pose le problème de manière légèrement différente : Y a-t-il des sols plus propices pour les glissements de terrain ? Le géologue doit tenir compte de trois situations dans tout recensement :

- . glissements actifs, déclarés, qui déforment chaussées, arbres, maisons ;
- . glissements anciens (10-15 000 ans) qui se sont stabilisés mais peuvent être réactivés par des travaux de l'homme (bulldozer), ces glissements échappent le plus souvent, même à des géologues confirmés ;
- . pentes qui n'ont jamais bougé, pas d'indice, vieillissement du versant montagneux.

Pour comprendre les changements de règles du jeu dans les mouvements de terrain, il faut de très fortes instrumentations. Des investissements, tels ceux de La Clapière et des ruines de Séchilienne, ne sont pas à perdre. Ce sont des champs d'expérimentation ouverts aux Européens. Rappelons simplement quelques coûts :

- Séchilienne, suivi annuel : 500 000 F.
- La Clapière, suivi annuel : 1 500 / 1 800 000 F.

Une bonne connaissance du risque "mouvements de terrain" doit permettre de répondre aux 6 questions reproduites ci après :



- 1 - TYPOLOGIE
- 2 - CARTOGRAPHIE
- 3 - DECLENCHEURS
AUSCULTATION
- 4 - PROPAGATION
- 5 - DOMMAGES
- 6 - VALEUR

ALEA

*

VULNERABILITE

*

COÛT

6 - COMBIEN ?

= RISQUE

$$R = \frac{P_t * P_e}{P} \text{ (MVT, I, X, Y, Z, t, D, V, a, \%, \$)}$$

P

2 - L'INVENTAIRE

2-1 - les travaux du Centre Européen sur les risques géomorphologiques

Le Centre Européen sur les risques géomorphologiques a collecté les principaux résultats scientifiques obtenus en ce qui concerne l'âge, la fréquence et les causes de glissements anciens répertoriés, dans plusieurs régions situées en Allemagne, en Angleterre, en Espagne, en France et en Italie, à la suite d'une recherche collective engagée dans le cadre du programme EPOCH de la Communauté Européenne. Ces résultats ont été également utilisés pour examiner l'influence des modifications climatiques prévues pour les prochaines décennies sur l'activité des mouvements de terrain.

Cette recherche a été effectuée dans le cadre du programme EPOCH de la DG XII de la Communauté Européenne, et réalisée par neuf contractants et sous-contractants, appartenant au réseau du Centre Européen sur les Risques Géomorphologiques (CERG) dont le Professeur Jean-Claude Flageollet assure la direction. En comptant les collaborations engagées à cette occasion, elle a été mise en oeuvre par 20 Universités et 63 enseignants-chercheurs, chercheurs, ingénieurs, techniciens, géographes et géologues, de cinq pays d'Europe occidentale. Il m'en a présenté le bilan suivant :

"Tous ces partenaires se sont donnés pour tâche essentielle de faire progresser les méthodes d'études et les connaissances sur une des deux composantes de l'aléa mouvement de terrain, à savoir la composante temporelle, en général moins souvent abordée et moins connue que la composante spatiale. Plus précisément, ils ont cherché à réaliser trois objectifs, à partir de recherches conduites simultanément dans quatre ensembles de régions différentes en Europe, pour en tirer des prévisions à différentes échelles du futur :

- établir la fréquence et la magnitude d'un grand nombre de mouvements de terrain de divers types, en remontant dans le passé.

- évaluer le rôle des facteurs externes susceptibles d'expliquer les variations temporelles mises en évidence dans l'apparition et l'activité des mouvements : les facteurs naturels, mais également les facteurs anthropiques, dont on peut penser qu'ils deviennent ou vont devenir de plus en plus importants compte tenu du développement des activités industrielles, ou, à l'opposé, du déclin des activités agricoles en montagne.

- réaliser la modélisation cinématique et prévisionnelle de différents types de mouvements actuellement actifs.

Le recensement des glissements survenus ou réactivés dans les deux derniers siècles est impressionnant, si on les ramène aux superficies territoriales

considérées : 423 dans le dernier siècle sur les 560 km de côte du Kent ; 320 dans le Pays d'Auge, en Normandie, entre 1885 et 1985 ; 750 dans le Rheinhessen dans les 150 dernières années, sur les 1 000 km² étudiés ; 300 mouvements, de types variés, en deux cents ans, sur les 9 000 ha de la commune de Vars dans les Alpes françaises.

La recherche des facteurs déclenchants confirme les coïncidences avec le plus important des paramètres naturels, la pluviométrie, mais permet également de souligner la combinaison des causes complexes, naturelles et humaines, qui conduisent au déclenchement ou à la réactivation.

Sur les côtes du Sud-Ouest anglais, les mouvements se sont accentués partout, en nombre et en étendue, de 1790 à 1989, par périodes de recrudescence de 30 à 50 ans. Les pointes d'activité se situent en 1790, 1830-1850, 1870, 1920, 1960 et 1980. Ces statistiques doivent cependant être considérées avec prudence, étant donné le nombre tout de même relativement limité de mouvements sur lequel elles sont établies. Le rôle des précipitations est attesté par la fréquence saisonnière des mouvements, mais beaucoup d'autres facteurs interviennent, tantôt naturels, comme le soulèvement général du continent et l'érosion marine, tantôt anthropiques, telles les surcharges, vibrations, explosions, excavations, etc.

En Normandie, la juxtaposition des diagrammes de précipitations annuelles, sur deux cents ans, et du nombre de mouvements enregistrés annuellement montre une relation étroite de ces derniers avec les années de fortes précipitations. La meilleure corrélation est obtenue avec la moyenne mobile calculée sur trois années. 76 % des mouvements ont eu lieu entre octobre et mars, dont 19 % en janvier. 60 % se sont produits durant une période humide, et dans 75 % des cas, la pluviométrie du mois précédent était supérieure à la moyenne, dont 20 % avec un total mensuel supérieur à 140 mm. Les structures pluviométriques et leurs combinaisons sont décisives : il faut de fortes ou de très fortes précipitations dans le mois ou les années précédentes. Le mouvement peut se produire même après des mois relativement secs s'ils ont été précédés par une ou plusieurs années de précipitations abondantes. La diversité des correspondances associant un paramètre proche et un facteur pluriannuel rend difficile la définition d'un seuil de rupture qui pourrait constituer la base d'un système d'alerte.

C'est aussi les années de fortes précipitations efficaces que se sont produits la plupart des mouvements inventoriés en Rheinhessen, notamment les 200 qui sont apparus l'hiver 1981-1982.

Dans les Pyrénées orientales espagnoles, les fortes pluies de périodes humides sont responsables du déclenchement des mouvements, et il est estimé

que 200 mm en deux jours constitue un seuil, fréquent mais non absolu, pour le déclenchement des coulées de boue.

Dans la vallée du Bachelard, l'intensité moyenne de précipitations déclenchant une coulée de débris a été établie à 42-47 mm/h pendant plus de cinq minutes, expérimentalement, avec un simulateur de pluies. Si le régolithe est très humide, le seuil est abaissé à 3 mm/h. Et en Sicile, des glissements superficiels peuvent se produire après des averses courtes mais intenses qui ne s'infiltrent pas dans le sol.

Dans la commune de Vars, les périodes de forte activité des 150 dernières années se situent entre 1862 et 1890 (40 mouvements de terrain) et entre 1906 et 1946 (30 mouvements). La relative dispersion observée tient au fait que les facteurs de déclenchement sont divers : l'élargissement des routes (30 % des cas), l'abandon et la désorganisation du réseau de drainage (8 %), les aménagements de ski (7 %), et au fait que la plupart des mouvements résultent de causes doubles, ou triples. Environ 88 % des mouvements recensés sont liés directement ou indirectement à l'occupation du sol. Il n'en reste pas moins que l'influence de cette dernière se conjugue avec celle de conditions climatiques favorables. Depuis 1931, trois situations ont été à l'origine de 90 % des 50 mouvements enregistrés : un automne très arrosé suivi d'un hiver peu neigeux et d'un printemps dont au moins un mois reçoit plus de 100 mm ; un hiver et un printemps très arrosés ; un mois de fortes précipitations printanières après un automne et un hiver peu arrosés.

Si le rôle joué par les tremblements de terre dans le déclenchement des mouvements de terrain est démontré dans les Dolomites, il est cependant largement moindre que celui des situations climatiques et des actions de l'homme.

Au cours des cinq ou dix dernières années, plusieurs mouvements de terrain ont fait, dans le cadre de ce programme, et continuent à faire, pour certains, l'objet de mesures des déplacements, en surface et/ou en profondeur, d'analyses de leurs rythmes saisonniers, de mesures piézométriques et hydriques, de tests géomécaniques, dans le but de proposer des modèles hydrologiques et des modèles de prévision.

Les mesures effectuées dans le glissement de Villerville de décembre 1984 à février 1988 et dans le glissement voisin de Graves de février 1988 à septembre 1993 ont montré que la réponse piézométrique aux précipitations effectives était de 4 à 5 jours, mais les déplacements n'étant pas mesurés en continu, il n'est pas possible de fixer le seuil piézométrique et/ou pluviométrique qui permettrait de prévoir le début d'accélération dangereuses. Les calculs de stabilité y ont été effectués par différentes méthodes,

déterministes et probabilistes. Une variation de 1 mètre du niveau piézométrique modifie le coefficient de sécurité de 5 à 6 %, contre seulement 1 à 2 % pour un recul de 10 mètres du pied du versant par érosion marine, laquelle joue donc un rôle dans l'entretien de l'activité, plus que dans la réactivation, avant tout liée à la piézométrie.

Dans les glissements de Staulin, Lacedel et Alvera dans le bassin de Cortina, les déformations en profondeur sont bien corrélées avec le niveau piézométrique, et le temps de réponse des mouvements aux variations de ce dernier est court, un jour. Le grand glissement de Tessina, dans le bassin d'Alpago, a été équipé d'un système d'enregistrement automatique d'élévation du niveau de la masse en glissement et en coulée et de la vitesse de cette dernière, aux fins d'alerte au risque de débordement dans l'agglomération.

Plusieurs glissements des Alpes françaises ont fait l'objet de mesures in situ pour comprendre et modéliser les fluctuations de l'eau dans le sol. Dans le grand glissement de la Valette, près de Barcelonnette, il a été notamment conclu, des observations et mesures, que la langue qui prolonge le glissement en aval est très imperméable et que son déplacement était très improbable. Dans le bassin du Trièves, près du village de Roissard, de nombreux glissements se produisent dans les argiles varvées glacio-lacustres. Le manteau colluvial superficiel perméable est un réservoir qui contrôle la fourniture de l'eau dans les fissures des argiles in situ sous-jacentes. On a mesuré les taux d'infiltration horizontale et de saturation du sol entre les fissures, les glissements superficiels et profonds ne pouvant se produire qu'après complète saturation. Il faut un à plusieurs mois de pluies hebdomadaires continues pour saturer la zone fissurée et faire monter la nappe jusqu'en surface. Mais le drainage est lui aussi très lent, et si les fissures restent à sec pendant plus de 5 jours, la perte volumétrique en eau dans ces argiles varvées ne dépasse pas 10 %. Dans le cas d'un glissement profond comme celui de Lavars où le plan de glissement se trouve à 20 m de profondeur, le comportement visqueux des argiles dans la zone de rupture freine la vitesse du glissement en profondeur, qui ne dépasse pas 3 mm/h quand le niveau de la nappe profonde monte de deux mètres. Dans les Terres Noires de la région de Barcelonnette, les glissements de Super Sauze et de Poche font l'objet de mesures périodiques des déplacements en surface, ceux qui correspondent à la tranche superficielle très fissurée, siège d'une nappe perchée, très directement en relation avec les précipitations.

Certaines perspectives ont pu être envisagées, quant à l'évolution des mouvements de terrain, en nombre et en fréquence de déclenchements ou de réactivation. On ne sera pas surpris de constater que, fonction de l'évolution du milieu naturel, mais aussi anthropique, elles peuvent différer selon la région géographique et selon l'échelle de temps considérées.

Sur les côtes anglaises du Sud, l'activité des mouvements de terrain a augmenté pendant le dernier siècle. Elle a suivi la périodicité des variations climatiques et l'élévation du niveau marin. Cette élévation devrait se poursuivre, atteignant 22 cm en 2050 et avec un taux de 8 mm par an d'ici à 2100, en réponse au réchauffement pronostiqué du climat, dans les cinquante prochaines années. La moyenne annuelle des précipitations devrait elle aussi augmenter dans les 75 prochaines années, et la température également, de telle sorte que les hivers deviendraient légèrement plus humides et les étés un peu plus secs. On peut donc s'attendre à ce que la fréquence des mouvements augmente, atteigne 5 à 10 événements par an, plus que la moyenne actuelle.

Sur les côtes normandes, l'exemple de Villerville tend à nuancer ces perspectives d'accélération de l'activité des mouvements de terrain le long des côtes de la Manche en relation avec la seule élévation du niveau marin. Entre 1829 et 1987, le recul en face du cirque des Graves a été de 60 à 70 m, soit une moyenne annuelle de 40 cm ; mais il a été calculé qu'un recul de 10 m du pied du glissement abaissait le coefficient de sécurité global de seulement 1 à 2 %.

En Cantabria, il a été montré que les mouvements de masse ont joué un rôle considérable dans l'évolution du relief, du moins dans certains secteurs comme la Magdalena-Pas où plus de 50 % du territoire a été affecté par des glissements, des coulées ou des chutes de blocs. Et pour les 500 dernières années, le taux de mobilisation par les mouvements de masse a dépassé le taux d'érosion, évolution en relation avec le régime des précipitations et les changements dans l'occupation du sol. De sorte que si le climat devient plus chaud, comme plusieurs modèles le prédisent, c'est, ici, à une diminution de la fréquence et de l'intensité des mouvements de terrain que l'on assistera à l'avenir, les conditions se rapprochant de celles qui ont existé à la période Atlantique.

Cet exemple doit nous inciter à approfondir les aspects et conséquences régionales des changements climatiques annoncés, même s'ils le sont à une échelle zonale. Et il ne faut pas perdre de vue que, à côté des facteurs naturels, les changements dans l'occupation du sol peuvent jouer un rôle important, voire prépondérant, pour certains types de mouvements, comme par exemple de petits glissements superficiels, auxquels il est heureusement aujourd'hui assez facile de remédier."

2-2 - l'inventaire en France métropolitaine

Mis à part la partie française traitée ci-dessus, on ne peut guère être satisfait de l'inventaire métropolitain. Cela est déploré fréquemment mais rien ne suit.

Il est nécessaire de développer de façon coordonnée les bases de données en France : fichiers informatisés des événements, recensement des cartes d'aléa réalisées (savoir trouver l'information sur les zones exposées), zones de carrières souterraines, ...

Effectuer l'inventaire systématique des phénomènes de grande ampleur ($> 1 \text{ hm}^3$), potentiels, actifs ou historiques, voire préhistoriques ; études légères (géologiques, morphologiques, etc.) de ceux, parmi les actifs ou potentiels, pour lesquels existent des enjeux importants.

M. Pierre Antoine dénonce le rejet par les Universitaires de tout ce qui est pratique, la géologie appliquée n'étant guère enseignée qu'à Besançon.

Qui observe donc les mouvements de terrain et les recense ?

Ce sont essentiellement :

- le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées,
- les Centres d'Etudes Techniques de l'Equipement (CETE),
- le BRGM,
- le CEMAGREF,
- les services RTM (Restauration des Terrains en Montagne).

Les cartes au 1/50 000^{ème} donnent de bonnes informations pour qui sait les lire, mais il n'existe pas de recensement complet concernant cet aléa. Partout où il y a des pentes, il peut y avoir mouvement de terrain.

Dans les années 1970, la direction de la Sécurité civile avait entrepris une cartographie dénommée ZERMOS : 30 cartes ont été faites, mais sans lendemain. Ces documents étaient appropriés pour les dangers et permettaient une ébauche de recensement. Avec ce recensement même simplement dégrossi, lorsqu'il y aurait une démarche de permis de construire, on pourrait mettre en garde les solliciteurs.

2-3 - l'inventaire dans les DOM-TOM

M. Olivier Sedan, du BRGM Antilles, me faisait remarquer que le problème est plus important en Martinique qu'en Guadeloupe, et qu'à ce jour les grands mouvements de terrains ont eu lieu là où il n'y a personne.

Cependant un recensement a été entrepris dans les Antilles depuis 1989 par l'établissement d'atlas communaux.

En Guadeloupe, l'Etat s'est engagé à partir de 1989 dans une initiative "pilote" de réalisation d'"atlas communaux des risques naturels"

destinés à homogénéiser le contenu et la présentation des documents techniques nécessaires à la prise en compte des risques naturels dans les documents d'urbanisme.

Pour chaque commune traitée, l'atlas comporte :

- une notice d'utilisation générale décrivant chaque phénomène, le type de dégâts qu'il est susceptible d'occasionner, et son mode de représentation cartographique,
- une série de cartes légendées au 1/25 000 et au 1/10 000, précisant le niveau d'aléa pour des phénomènes donnés.

Il reste que la seule information des communes n'est pas suffisante : la prise en compte des risques naturels nécessite que des dispositions réglementaires soient prises en terme de "constructibilité" et de "normes constructives".

A défaut, et au delà de la responsabilité directe des communes, la responsabilité de l'Etat pourrait être recherchée en cas de catastrophe majeure. Parallèlement à la poursuite des actions d'information engagées, il appartient donc à l'Etat de veiller, en liaison étroite avec les collectivités, à ce que des prescriptions préventives soient édictées et appliquées.

Ces atlas communaux, dont 21 sur les 33 de la Guadeloupe sont réalisés au rythme de 7 par an, comprennent donc 3 parties :

- la démarche suivie et la présentation des aléas,
- les cartes spécifiques à la commune par type d'aléa,
- la synthèse des risques sur la commune.

Afin d'illustrer ces propos, des extraits de l'atlas communal de Bouillante figurent en annexe 3.

Ces travaux cependant ne sont qu'indicatifs et ne sont qu'un porter à connaissance, lors de la révision des POS. A la différence d'un PER qui doit quantifier les effets de site par exemple, l'atlas ne fait que les présenter. Cependant il semblerait judicieux de ne pas perdre le travail effectué et de compléter ces atlas par des quantifications nécessaires et ainsi répondre aux critères des P.P.R.

Il existe d'autre part pour la Guadeloupe la remarquable thèse de doctorat de l'Université Paris VI, soutenue par M. Jean-Marc Mompelat le 25 mars 1994 et qui porte sur les "Unités cartographiques et évaluation de l'aléa mouvements de terrain en Guadeloupe".

Ce travail universitaire, qui a permis depuis à ce jeune chercheur de renforcer l'équipe du BRGM, a le mérite de proposer une nouvelle méthodologie pour la cartographie de l'aléa, mais aussi de définir une méthode d'évaluation quantitative et non plus seulement qualitative. Il y a donc là des bases définies pour réaliser l'inventaire qui fait défaut actuellement.

3 - L'EVALUATION ET LA CARTOGRAPHIE

Dans la synthèse que Philippe Masure a effectué pour l'Instance d'évaluation de la politique publique de prévention des risques naturels, il note ceci :

"A l'exception de bases de données locales constituées par quelques organismes spécialisés sous des formes variables, notre pays ne dispose pas d'une information générale permettant des statistiques spatiales, temporelles ou phénoménologiques. Une banque de données nationale sur les mouvements de terrains est en cours d'élaboration (collaboration BRGM, LCPC, Services RTM), ainsi qu'un inventaire relatif aux instabilités des vides souterrains (BRGM). On a une meilleure connaissance des sols sensibles aux variations climatiques (teneur en eau) suite à la sécheresse connue de 1986 à 1991 environ".

L'évaluation de l'aléa "instabilité" reste le plus souvent subjective (présomption d'instabilité par méthode analogique à l'intérieur d'unités physiques homogènes), les moyens de reconnaissances, d'auscultation et de calcul développés pour l'étude de sites circonscrits ne pouvant être mis en oeuvre sur de vastes étendues, pour des questions de coût notamment. L'évolution des moyens informatiques (modèles mécaniques, systèmes d'information géographique, analyses de formes, approches multicritères) devrait permettre de rendre l'évaluation plus objective dans des délais assez proches. Cela n'évitera pourtant pas l'apparition de phénomènes isolés liés à des conditions de sites particulières. Ces cas spécifiques ne peuvent être identifiés de manière totalement fiable avec les techniques d'études et de reconnaissances actuelles. L'incertitude correspondante doit être clairement signalée.

Mis à part de rares exceptions, les mouvements de terrains sont faiblement meurtriers, mais leur variété et leur nombre indique que leur impact économique est élevé. On estime très grossièrement l'impact direct à hauteur de 500 millions à un milliard de francs en moyenne annuelle. Ceci est confirmé par les budgets de réhabilitation ou de renforcement des zones instables qui sont nécessaires de manière quasi permanente et à la charge des collectivités territoriales ou des grands ministères (Equipement notamment). Malgré tout, aucune évaluation économique des dommages directs (destructions), des effets indirects sur les activités et des effets secondaires (financiers) des principaux phénomènes n'a encore été réalisée en France.

Si les enjeux justifient bien souvent les actions préventives (voies de communication, zones urbanisées, ...), il y a bien des cas où les analyses de

vulnérabilité pourraient constituer d'utiles références pour la prise de décisions adaptées.

La méthode d'estimation de l'aléa est bien rodée, encore que relativement subjective : recherche des facteurs défavorables (géologiques, morphologiques, etc.) et étalonnage sur les zones à indices de mouvement, pour arriver à une évaluation approchée de l'intensité de l'aléa sur un secteur donné. Quatre sources de données sont utilisées : les informations géologiques de base, les renseignements historiques sur les événements passés, les observations de terrain et les photographies aériennes. L'expérience semble montrer que cette cartographie est globalement d'une bonne fiabilité, mais il peut subsister des erreurs par optimisme (occurrence d'un phénomène hors zone reconnue comme dangereuse) ou par pessimisme (stabilité durable d'une zone identifiée comme instable à terme). Il semble que ces erreurs ne pourraient être supprimées que par des investigations lourdes (sondages, essais mécaniques ou hydrogéologiques), donc à une échelle plus grande, sans que l'on puisse atteindre d'ailleurs la fiabilité parfaite.

Pour les vides souterrains, la cartographie réalisée au moyen des méthodes mentionnées ci-dessus reste très grossière. La première question qui se pose est celle de l'existence ou non de la source de risque, c'est-à-dire du vide souterrain. La photo-interprétation est utile, mais on est toujours à la recherche d'une méthode géophysique efficace et à grand rendement pour détecter et délimiter les cavités.

Même si elle a fait l'objet de programmes cartographiques multiples -mais par à coups-, l'évaluation de l'aléa mouvements de terrain est insuffisante. Elle nécessite notamment de :

- réaliser un inventaire national des sites instables et développer des banques de données régionales,
- élaborer de nouveaux instruments et un guide méthodologique pour la cartographie de l'aléa mouvements de terrain s'appuyant sur les outils informatiques actuels (systèmes d'informations géographiques, géostatistique, analyses multicritères) et généraliser les programmes cartographiques,
- assurer la surveillance continue des sites instables à enjeux élevés,
- développer de nouvelles techniques de localisation des vides souterrains.

Par ailleurs, des études de vulnérabilité sont indispensables. Une analyse de l'impact économique des mouvements de terrain en zones sensibles doit être entreprise en priorité. De plus, l'effet de l'évolution des activités et des aménagements sur les mouvements de terrain (fermeture des

bassins miniers, grands aménagements et infrastructures en montagne, évolution de l'usage des sols, etc.) mériterait d'être analysé.

L'informatique a vu son rôle croître ces dernières années (bases de données, systèmes d'information géographique, cartographie automatique) : c'est surtout un gain dans la présentation, dans le test immédiat de nouvelles hypothèses, dans les actualisations rapides de documents, etc. L'informatique devrait permettre, dans les années qui viennent, d'améliorer le diagnostic, de le rendre plus objectif.

M. Pierre Antoine, en collaboration avec M. Eric Leroi du BRGM, a mis au point une cartographie assistée par ordinateur pour permettre une véritable recherche, notamment sur les pentes qui n'ont jamais bougé.

Sur deux exemples, les résultats ont été très différents. Pour Trièves, les résultats sont proches de la réalité. Par contre pour la Maurienne, cela n'a rien à voir avec la réalité. Il y a un problème de connaissance géologique. L'informatique peut aider à déterminer les stabilités, mais pour l'instant sur des modèles simples.

Les programmes de cartographie de l'aléa mouvements de terrain ont connu des vicissitudes de financements tout au long des vingt-cinq dernières années :

- cartographie ZERMOS au 25 000^{ème}, dans les années 70 suite à la catastrophe du plateau d'Assy (72 victimes), brutalement interrompue en 1976, à la fin de la phase "expérimentale",
- cartographie "réglementaire" (périmètres R. 111.3, PER) depuis les années 80. Mais en Isère, 2 PER "glissements de terrain" seulement ont été approuvés.

La cartographie est donc très parcellaire et à différentes échelles : 1/2 000 ou 1/5 000 pour certaines communes, 1/10 000 pour la cartographie des communes de l'Isère (périmètres R. 111.3).

Il en résulte une assez grande diversité de cartes et une dispersion des zones cartographiées qui conduisent à un défaut d'information homogène et continue dans de nombreux bassins de risques.

CARTOGRAPHIE INFORMATISEE SOUS SIG



**INVENTAIRE DEPARTEMENTAL
DES PHENOMENES NATURELS
DES INSTALLATIONS A RISQUE
ET DES ENJEUX**

échelle : 1 / 100 000

PRINCIPE

RECENSER LES INFORMATIONS
SUR LES EVENEMENTS NATURELS HISTORIQUES
SUR LES INSTALLATIONS A RISQUE
ET SUR LES ENJEUX

FINALITES

IDENTIFIER LES BASSINS DE RISQUE
ORIENTER LA POLITIQUE DE PREVENTION
**ORIENTER LES SCHEMAS
DEPARTEMENTAUX D'AMENAGEMENT**



**CARTE DES ALEAS NATURELS ET
DES ELEMENTS EXPOSES
PAR BASSIN DE RISQUE**

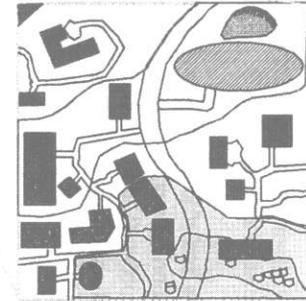
échelle : 1 / 25 000

PRINCIPE

EVALUER LES ALEAS
IDENTIFIER LES ELEMENTS A RISQUE

FINALITES

AIDER A L'ORGANISATION DES SECOURS
DEFINIR LES PRIORITES DES P.P.R.
AIDER A ELABORER DES SCENARIOS DE RISQUE



**CARTE DETAILLEE DES ALEAS NATURELS
PLAN DE PREVENTION DES RISQUES**

échelle : 1 / 5 000 à 1 / 10 000

PRINCIPE

AFFINER LES ALEAS DANS LES SECTEURS A FORT ENJEU

FINALITES

REGLEMENTER L'OCCUPATION DU SOL
PROPOSER DES RECOMMANDATIONS TECHNIQUES
POUR L'AMENAGEMENT



4 - LA PREVISION ET LA SURVEILLANCE

Selon M. Jean-Louis Durville, sur un site instable donné, la prévision commence à acquérir une certaine fiabilité :

- à très court terme (quelques jours, quelques semaines), lorsque le phénomène est en régime stationnaire : prévision à partir de l'état actuel et des précipitations journalières,
- en phase d'accélération finale avant rupture, par ajustement empirique de lois simples permettant d'estimer l'instant de la rupture.

Mais la prévision au-delà de quelques semaines, a fortiori à long terme, n'est guère possible, ne serait-ce que par suite de l'imprévisibilité de changements significatifs tels que : extension ou restriction de la zone instable, modification de l'hydraulique souterraine par suite des mouvements, etc.

C'est donc paradoxalement la situation inverse de ce que l'on connaît pour les séismes : ici, la prédiction est possible, on pourra évacuer à temps et épargner les vies humaines, mais on ne peut prévoir à long terme, et donc il n'est pas possible d'avoir une prévention totalement satisfaisante.

Toutefois une double question, d'une grande importance pratique, ne peut guère avoir de réponse satisfaisante aujourd'hui : un phénomène lent actuellement est-il susceptible d'accélérer rapidement, c'est-à-dire de passer d'un régime quasi stationnaire à une vitesse catastrophique accompagnant la rupture définitive, et, si oui, quelle est la date prévisible de rupture ? En particulier, dans les matériaux rocheux à comportement assez fragile, il paraît impossible de fixer un délai précis avant la rupture : écroulements de falaises, carrières souterraines.

Dans le cas des coulées de boue et de débris, phénomènes à caractère répétitif sur un site donné, des seuils de déclenchement fondés sur la pluviosité sont envisageables, à condition de disposer de données météorologiques sur le site.

Il ne faut pas perdre de vue cependant que n'existe nulle part une mission de surveillance des versants instables avec financement à l'appui. Les choses se règlent au coup par coup, parfois difficilement.

La prédiction et l'alerte ne seront pas opérationnelles tant que les efforts de recherche nécessaires (techniques géophysiques notamment) n'auront pas été financés. Le déplacement des populations menacées reste la seule solution préventive si la stabilisation est techniquement ou économiquement irréalisable.

La base d'organisation pour la surveillance des sites instables pourrait, comme pour le suivi de l'évolution des aléas naturels et des risques, être régionale.

Pour M. Pierre Antoine, la prévision est souvent possible ; il faut suivre les déplacements, établir un modèle mathématique et quand la courbe obtenue devient asymptotique, il faut évacuer. Mais le seul problème est que le glissement peut changer de règle du jeu.

Tout ceci repose sur la surveillance. Or, on ne peut pas parler d'observation continue des mouvements de terrain en France, tout au plus peut-on évoquer quelques actions de surveillance.

Il existe peu de sites instrumentés en France de par le coût élevé de mise en oeuvre des techniques d'auscultation traditionnelles (déplacements et pressions hydrauliques en sondages essentiellement). Les plus connus vont donc faire l'objet d'un suivi. Selon les experts de la Direction de la Sécurité civile, 20 sites sont surveillés en permanence par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Mais chaque mouvement est un cas particulier.

Le suivi des déplacements s'est donc quelque peu répandu ces dernières années, grâce en particulier à l'automatisation et à la télétransmission des mesures, ce qui a permis leur multiplication, dans le temps et dans l'espace, malgré un coût certain. Les méthodes spatiales paraissent prometteuses (imagerie spatiale à plusieurs dates, géodésie spatiale), mais il ne faut pas négliger des méthodes plus classiques comme l'inclinométrie (déformation en profondeur), voire rustiques comme la fissurométrie ou l'extensométrie à fil tendu.

Ces mesures, ainsi que celles de type piézométrique ou météorologique, commencent à révéler les mécanismes de variation de cinématique : en particulier, complexité du rôle des nappes souterraines, et donc des précipitations infiltrées.

Lors de mon passage au Japon, M. Kyoji Sassa, Professeur au "Disaster Prevention Research Institute" de l'Université de Kyoto, m'a affirmé qu'au Japon l'on travaille sur une machine qui pourrait prédire les glissements de terrain pensant que si l'on peut prévoir, on peut peut-être empêcher les catastrophes en prenant les mesures appropriées.

Mais pour l'instant, on investit beaucoup dans ces études. Cependant de l'avis de M. Sassa, il vaut mieux construire des bâtiments très résistants ou déterminer les terrains susceptibles de liquéfaction ou d'éboulement.

5 - LA PREVENTION ET LA PROTECTION

Les techniques de prévention du risque mouvements de terrain sont basées essentiellement sur le renforcement des zones instables et sur un contrôle de l'occupation des sols.

En matière de protection, les techniques de parade ou de réhabilitation de sites (après rupture) sont nombreuses et généralement efficaces. Les moyens disponibles sont moins adaptés pour les instabilités de très grandes masses.

Les principales techniques se rangent en parades actives et parades passives : soutènement, renforcement, drainage, terrassement. Leur emploi est en général satisfaisant, mais on a besoin d'améliorer la connaissance sur l'efficacité à moyen ou long terme des différentes techniques, et parfois d'optimiser leur dimensionnement.

Ces techniques sont efficaces pour des phénomènes d'ampleur modérée ; pour les mouvements de grande ampleur, seul le drainage peut être envisagé d'après les techniciens français rencontrés.

Pourtant à Kyoto, le Professeur Kyoji Sassa me faisait part de gigantesques travaux consistant à enfoncer 100 piliers de 6 mètres de diamètre enfoncés à 100 mètres de profondeur pour stopper le glissement de terrain, cela pour un coût de 80 milliards de yens.

Il faut noter le vide qui existe en France en matière de compétence administrative dans le domaine des travaux de prévention. Il n'y a pas de maître d'ouvrage désigné :

- le propriétaire du terrain n'a pas d'obligation d'effectuer les travaux, qui sont bien souvent au-dessus de ses possibilités financières ;
- la commune n'intervient, au titre de la police administrative, qu'en cas de danger imminent ;
- le département et la région n'ont pas de compétence spécifique ;
- l'État n'est concerné que de façon limitée :
 - . lutte contre les risques en montagne (crues et laves torrentielles notamment) par les services de la Restauration des Terrains en Montagne,
 - . protection des usagers des routes nationales par le ministère de l'Équipement.

Il en résulte que chaque cas doit faire l'objet d'une négociation difficile pour le choix du maître d'ouvrage et le partage des dépenses, sans garantie d'aboutir.

La stratégie de surveillance peut être adoptée lorsque les travaux de prévention sont techniquement ou économiquement irréalistes : elle permet de "vivre avec le risque", dans la mesure où la prévision de la rupture est suffisamment fiable.

Les possibilités de protection du bâti existant sont quelquefois réduites, souvent très coûteuses par rapport à la valeur marchande des ouvrages à protéger. L'expropriation -que nous verrons dans le chapitre suivant sur la réglementation- pourrait alors s'avérer la solution la plus rationnelle lorsque la sécurité des personnes est en cause.

La gestion de l'espace et l'aménagement préventif s'appuient sur des outils réglementaires peu adaptés sur lesquels je reviendrai par la suite.

Les cartes de zonage des aléas mouvements de terrain devraient servir de référence pour les décisions d'occupation des sols négociées. Leur réalisation doit être accélérée dans les bassins de risques concernés : zones de montagne, bassins à forte densité de cavités, falaises côtières et rives escarpées, etc.

La délimitation d'espaces fragiles à protéger, à l'instar de ce que font les services RTM dans les départements de montagne, doit également être poursuivie, pour orienter l'aménagement du territoire.

La prévention du risque mouvements de terrain, qui donne lieu à de multiples actions parallèles, mériterait d'être replacée dans une stratégie globale où le rôle des principaux gestionnaires du risque (Etat, services déconcentrés, départements, municipalités, organismes publics, particuliers) et les moyens mis en oeuvre seraient redéfinis dans un cadre cohérent.

La politique de prévention du risque mouvements de terrain en France devrait inclure également la prise en compte des impacts liés à l'évolution rapide de certains aménagements ou activités en milieux physiques sensibles.

Certaines vallées de montagne (recul des activités hydro-métallurgiques et agricoles, développement des infrastructures touristiques, ...), les grands bassins miniers (arrêt des exploitations minières), les zones de forte densité de carrières souterraines dont la ruine progressive affecte la stabilité des terrains en surface, constituent autant d'espaces physiques sensibles qui doivent

faire l'objet d'une politique spécifique de prévention clairement affichée, avec un double objectif de mise en sécurité de l'existant et de prise en compte de la fragilité du milieu dans les futurs aménagements, afin de le protéger.

— Votre Rapporteur s'est rendu sur le site dénommé "Les ruines de Séchilienne", près de Grenoble. Un pan de montagne glissera un jour dans la vallée, plusieurs millions de m³ sont en instabilité. Dans cette vallée passait la route nationale et dès les premiers éboulements -il s'en produit de petits presque chaque mois et quelques pierres se sont d'ailleurs détachées pendant ma visite-, des travaux ont été entrepris pour maintenir l'axe de communication.

Le ministère de l'Équipement a agi au mieux dans la gestion de la phase utile. Pendant quinze mois, la circulation a été maintenue sur la route aujourd'hui interdite grâce à une vigie 24 heures sur 24 pour arrêter la circulation.

Des ponts provisoires ont été installés pour permettre actuellement l'utilisation d'une nouvelle chaussée, en principe hors d'atteinte en cas d'éboulement de l'ensemble de la masse instable. Mais cette masse est si importante qu'il est vain d'espérer des travaux de confortement, la surveillance ne permettra que d'évacuer et neutraliser la zone d'éboulis.

Le préavis serait de quelques heures à 24 heures, selon M. J.-M. Pinard de la Direction de la Sécurité civile, le problème en terme de surveillance étant la détermination du point de criticité par l'expert.

— Le plus délicat a géré a été le côté psychologique : les mesures préventives efficaces ne se remarquent pas, l'administration a sauvé des vies humaines dans le cas de Séchilienne.

La Séchilienne a coûté de 8 à 10 millions de francs de frais d'instruments de surveillance et environ 1,5 million de francs de fonctionnement par an, ce qui représente 50 à 60 millions de francs de travaux depuis le départ. L'échéance est rappelons le à 15/30 ans.

L'éboulement du 17 octobre 1991 à Bellefontaine en Martinique

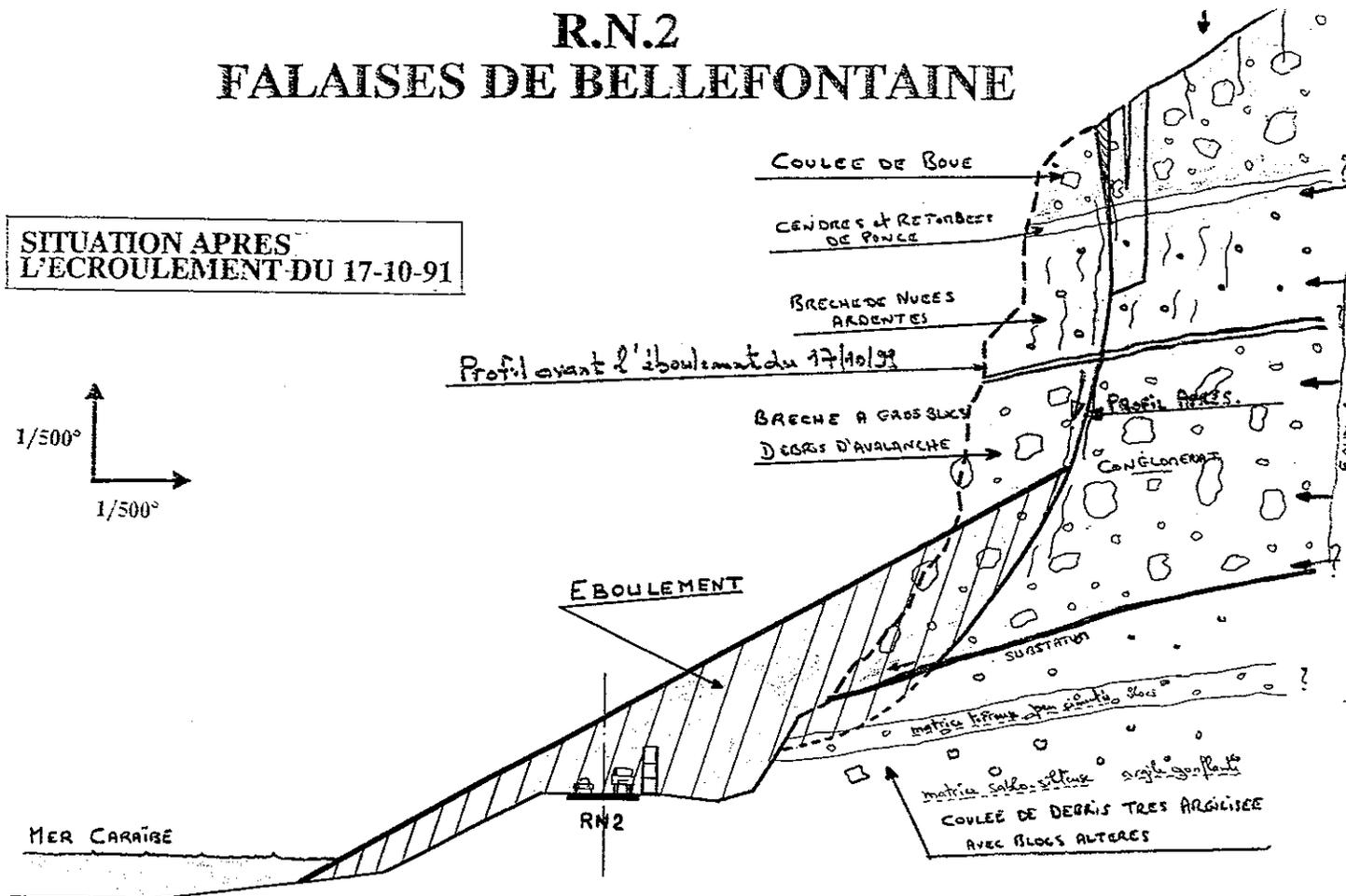
Un éboulement tel celui du 17 octobre 1991 à Bellefontaine en Martinique peut être cité en exemple, d'une part de l'impossibilité d'empêcher le déclenchement du mécanisme, et d'autre part de ce qui peut être entrepris en matière de prévention.

J'ai visité le site de l'éboulement en compagnie des principaux acteurs de cette opération : élus locaux, DDE de Martinique, BRGM Antilles.

R.N.2 FALAISES DE BELLEFONTAINE

SITUATION APRES
L'ECROULEMENT DU 17-10-91

1/500°
1/500°



En Martinique, des mouvements de terrain, d'importance variée, se produisent chaque année durant ou juste après la saison des pluies (d'août à novembre). Parmi ces mouvements, les glissements de terrain sont à la fois les plus fréquents et les plus problématiques vis-à-vis de l'occupation du territoire (cf. le glissement du 20 août 1988, à Fonds-St-Denis). Le long de la côte caraïbe, entre Fort-de-France et Saint-Pierre, de hautes falaises instables représentent une menace constante pour la RN 2 (Allard, 1979) qui risque à tout moment d'être coupée, privant ainsi la zone nord-caraïbe de sa principale voie de communication avec le reste de l'île.

C'est ce qui arriva, le 17 octobre 1991 vers 22 h 00, lorsqu'un éboulement rocheux (estimé à 100 000 m³) se produisit dans la partie Nord de la falaise de Bellefontaine, à 150 mètres à peine du village du même nom.

Cet éboulement recouvrit la route jusqu'à la mer sur environ 200 m de large, mais ne provoqua heureusement aucune victime à cette heure de très faible trafic. Par contre, les travaux de dégagement de la route et les études géologiques et géotechniques nécessaires à la mise en sécurité de cette zone stoppèrent la circulation durant 24 jours (du 18 octobre au 11 novembre 1991) sur cet axe routier économiquement vital pour l'île.

Structure géologique de la falaise de Bellefontaine

Bien que formant la terminaison d'une entité morphologique unique (une butte allongée à sommet plat et pentes raides), la falaise de Bellefontaine (500 m de long pour une hauteur moyenne de 70 m) est constituée de plusieurs unités géologiques superposées et emboîtées. Ces unités, originaires de la zone centrale du massif volcanique des Pitons du Carbet, se sont déposées successivement dans des vallées, plus ou moins encaissées, qu'elles ont partiellement ou totalement comblées.

L'érosion des flancs Sud-Est et Nord-Est a, par la suite, donné sa physionomie actuelle à cet assemblage complexe.

Causes et mécanismes de l'éboulement du 17 octobre 1991

Etant donné la structure géologique complexe de la falaise de Bellefontaine (formations hétérogènes, variations latérales et verticales de la lithologie), il était nécessaire de considérer le comportement à l'érosion et l'aléa "éboulement rocheux" qui en découle, pour chaque zone prise séparément.

Après examen de l'ensemble de la falaise par M. Landry, il apparaît que l'éboulement du 17 octobre 1991 résulte de la combinaison de 4 facteurs d'instabilité existant dans cette zone ; il n'a cependant pas été possible de déterminer lequel de ces facteurs a été le plus déterminant dans le déclenchement du phénomène. Ces facteurs sont :

- 1. Hauteur et escarpement : la falaise atteint sa hauteur maximum (environ 90 m) dans cette zone, et sa pente est subverticale avec, localement, des surplombs.
- 2. Lithologie : il existe un contraste lithologique important entre la formation basale très argilisée (dépôts d'avalanche de débris) et les formations supérieures (brèche de nuée ardente et lahar) moins altérées et plus perméables.
- 3. Eau : plusieurs types de circulation d'eau affectent les formations de la falaise :
 - a. infiltration verticale des eaux de pluie à travers les formations supérieures qui présentent une perméabilité à la fois matricielle et de fracture,
 - b. infiltration horizontale des eaux souterraines à travers les dépôts (brèche de nuée ardente, dépôts de cendres et ponces) reposant sur la formation basale argilisée,
 - c. érosion par les eaux de ruissellement du talus argileux de la base de la falaise, conduisant localement à des sous-cavages.
- 4. Structure : deux observations permettent d'associer la surface de rupture à une discontinuité structurale préexistante :
 - a. une partie de la brèche de nuée ardente, toujours en place et située au Nord de l'éboulement, est très fracturée,
 - b. la cicatrice de l'éboulement correspond à une surface de rupture pratiquement plane.

Il est important de noter que l'éboulement en masse ne résulte pas d'un simple effet gravitaire, mais d'un mouvement le long d'une discontinuité structurale, provoqué par un glissement de pied sur la formation basale argilisée dont le toit se prolonge en direction de la mer.

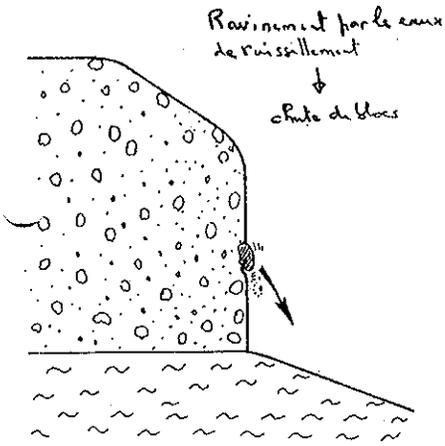
Rappelons ici ce que sont les facteurs d'instabilité identifiés :

1 - déchaussements de blocs : les blocs présents dans la matrice des différentes formations volcaniques peuvent se trouver progressivement déchaussés sous l'effet du ravinement causé par les eaux de ruissellement, et finir par tomber de la falaise. De tels blocs sont extrêmement nombreux dans les falaises, et leur volume est de l'ordre de 0,1 à quelques m³.

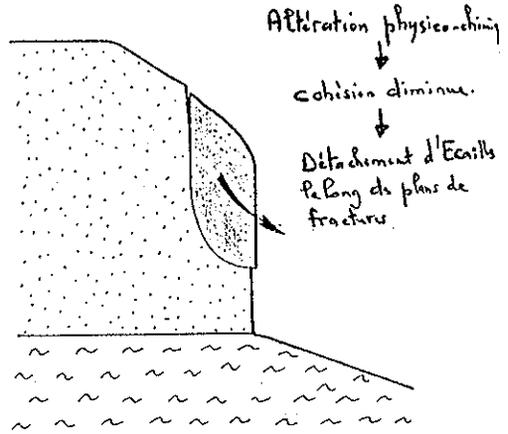




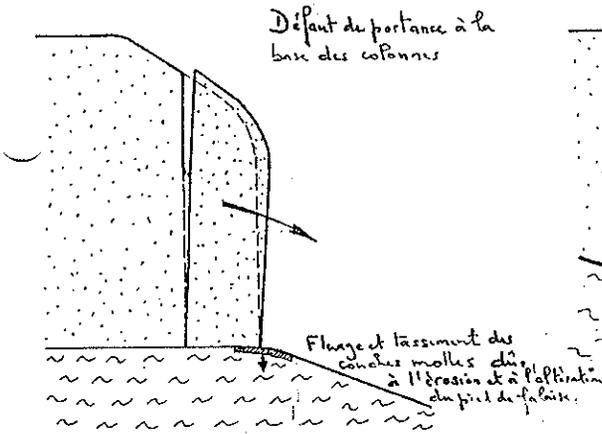




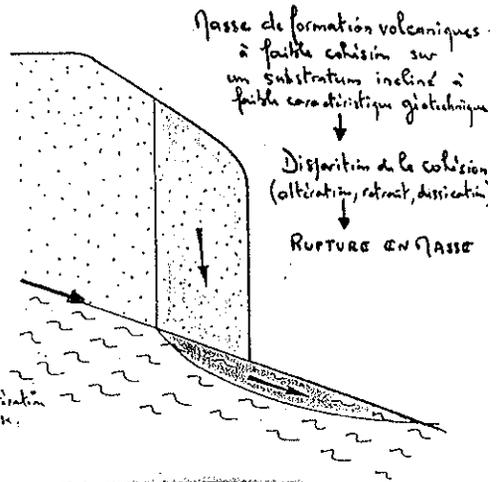
I. Déchaussement de blocs



II. Desquamation



III. Basculement ("toppling")



IV. Glissement en masse

Fig 4.1. MECANISMES D'INSTABILITE OBSERVES OU POTENTIELS

2 - desquamation : la plupart des terrains constituant la falaise présentent une certaine cohésion de cimentation et d'imbrication, qui permet d'assurer leur stabilité en talus verticaux sur une certaine hauteur. Lorsque cette cohésion diminue, sous l'effet d'une altération physico-chimique par exemple, notamment le long de plans de fractures, la stabilité n'est plus assurée, des écailles se détachent progressivement de la falaise, et finissent par s'écrouler. On observe de nombreux écaillages de ce type, dont le volume peut être de quelques dizaines de m³.

3 - basculement ("toppling") : les zones supérieures des falaises sont constituées de terrains relativement raides, qui reposent sur les couches plus "molles" du substratum. Ce dernier a tendance à fluer et tasser sous l'effet de l'érosion et de l'altération en pied de falaise. Il se produit un "défaut de portance" à la base de colonnes subverticales qui tendent alors à basculer, créant des fissures de traction, qui conduisent à des concentrations de contraintes sous l'avant des colonnes, ce qui accentue les phénomènes précédents, et peut conduire au basculement de colonnes. Ce phénomène n'a pas été constaté dans les falaises lors de nos observations, mais il demeure un risque potentiel, dont le volume peut atteindre quelques centaines à quelques milliers de m³.

4 - Glissement en masse : lorsqu'une masse de formations volcaniques de cohésion fragile repose sur un substratum incliné de faibles caractéristiques géotechniques, sa stabilité est assurée lorsque la cohésion de la tranche supérieure est intacte. Par contre, si cette cohésion disparaît (par dessiccation, fissures de retrait, altération), ou si un élément moteur (écoulement sur le substratum, poussée hydrostatique dans des fissures, séisme) vient s'ajouter à l'équilibre des efforts, une colonne de volume pouvant être important vient surcharger le substratum, conduisant à une rupture en masse, qui entraîne la colonne et une masse plus ou moins importante du substratum. Une telle rupture peut être limitée à quelques m³ (certains sont visibles en pied de falaise), mais peut atteindre des volumes beaucoup plus importants, jusqu'à quelques centaines de milliers de m³.

Surveillance de la falaise : assurer la sécurité de la RN 2

Les études géologiques réalisées immédiatement après l'éboulement du 17 octobre ne révélèrent aucun autre signe de mouvement, ni dans la zone de l'éboulement, ni sur le reste de la falaise.

Cependant, des indices d'instabilité (fractures ouvertes, blocs ou masses rocheuses déchaussés, petits chenaux, sous-cavages, surplombs, ...) furent identifiés en plusieurs endroits de la falaise. De même, une corniche surplombant la cicatrice de l'éboulement rocheux fut dynamitée le 6 novembre 1991.

C'est pourquoi, avant que les travaux de stabilisation de la falaise ne commencent, début novembre 1991, les ingénieurs du BRGM gardèrent la falaise sous constante surveillance, dans le but de détecter l'amorce du moindre mouvement de terrain, afin de pouvoir stopper immédiatement la circulation sur la RN 2.

Cette phase d'observation s'est décomposée en deux parties distinctes :

- une surveillance visuelle d'une quarantaine de figures d'instabilité remarquables (blocs déchaussés, fractures, ...) pouvant entraîner des chutes de blocs ou des éboulements, a été réalisée deux fois par jour.
- une surveillance instrumentale continue de plusieurs fractures ouvertes de la façade de la falaise a également été mise en place. Sept capteurs de déplacement, mesurant les mouvements à la fois à petite échelle et à grande échelle, ont été reliés à une station d'acquisition de données installée au sommet de la falaise.

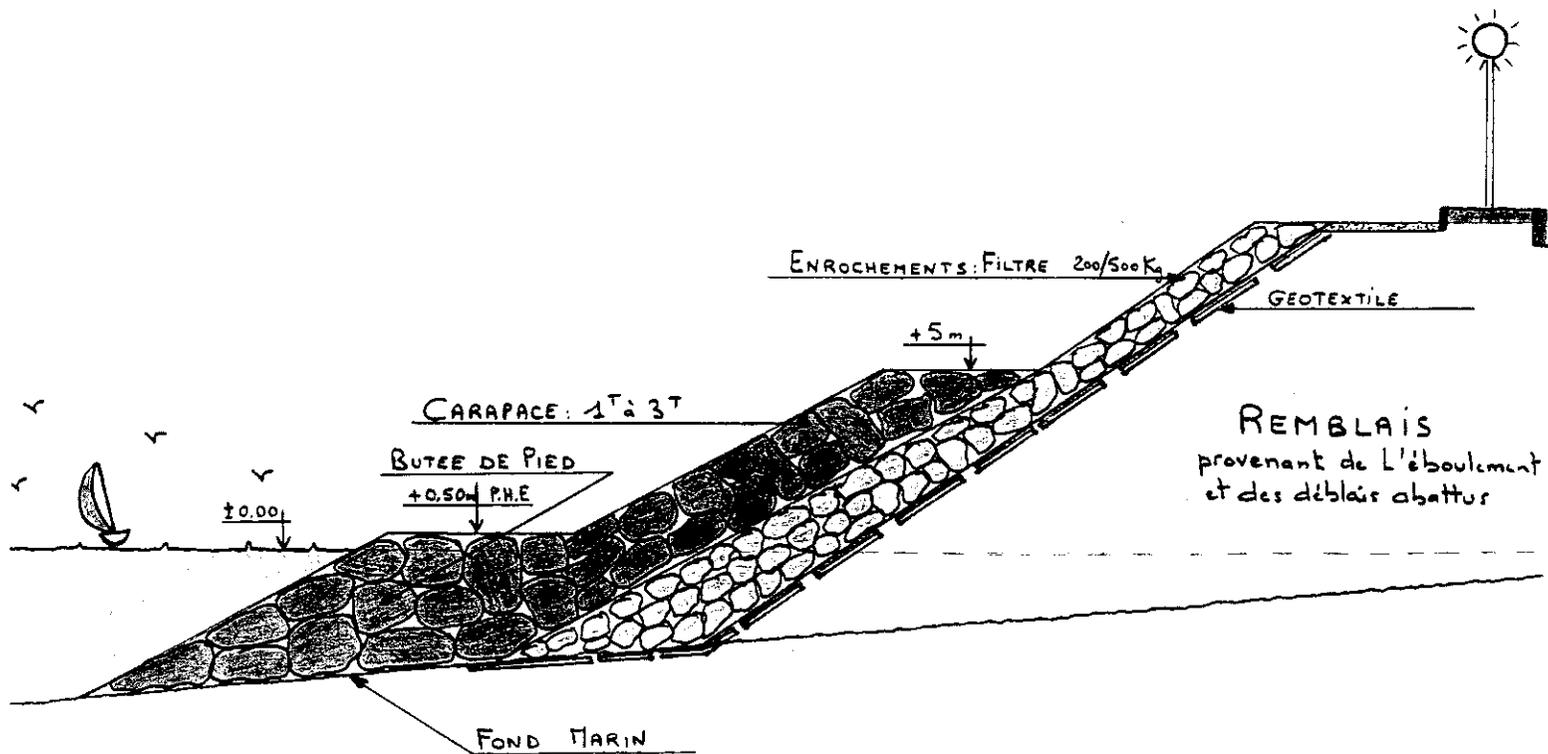
Aucun mouvement n'a été détecté durant cette période de surveillance continue. Les travaux de stabilisation et d'assainissement de la falaise ont conduit à faire ébouler 80 000 m³ de matériaux dans le but d'atténuer le risque d'un éboulement semblable à celui du 17 octobre.

Afin de mettre à l'abri la RN 2 après reprofilage de la falaise, il a été décidé de construire une nouvelle route sur la mer, en utilisant les matériaux issus des éboulements, et d'arrêter tout glissement et éboulement futurs éventuels par la réalisation d'un merlon situé entre la falaise et la voie.

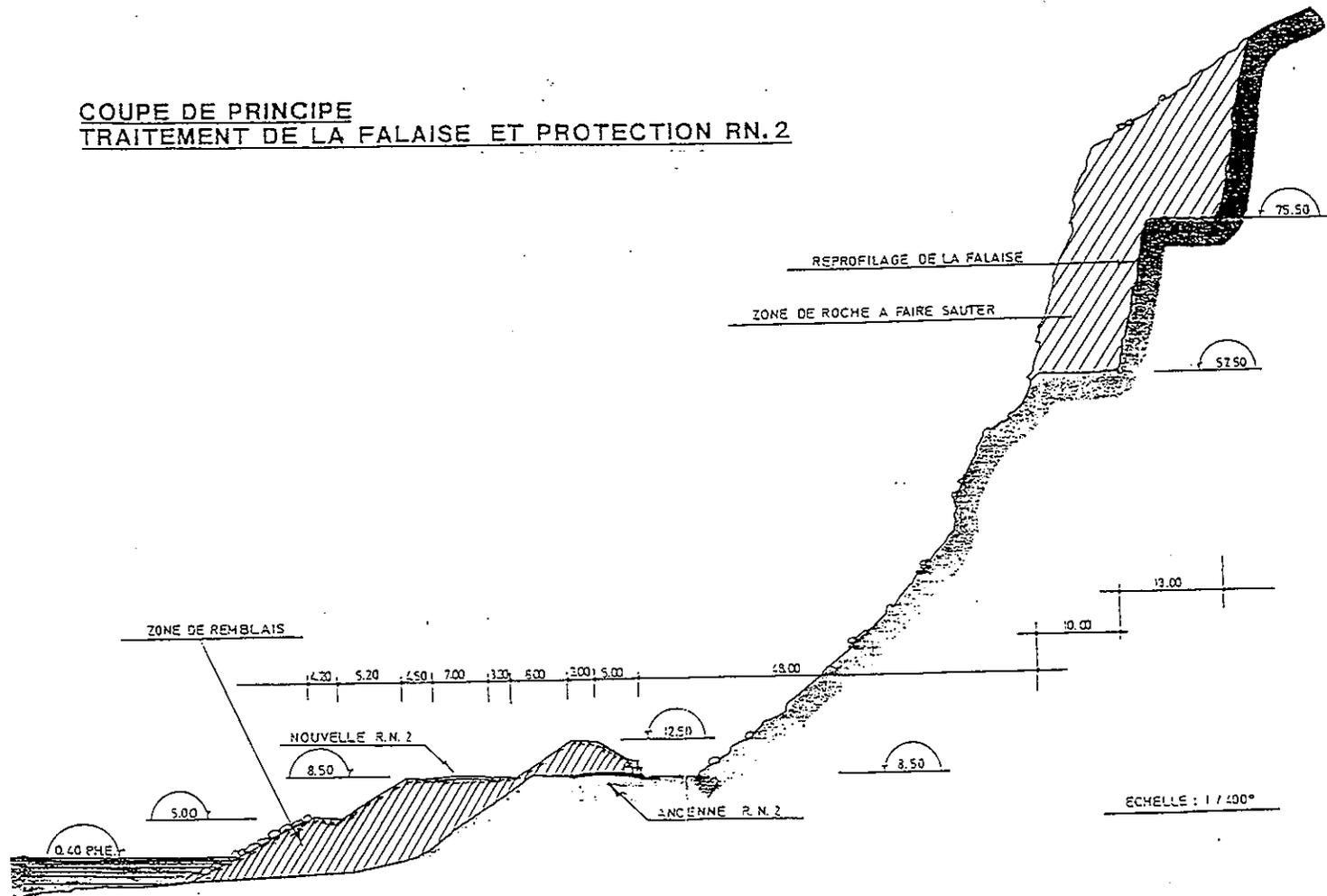
Le projet a donc compris :

- la création de redans de 10 mètres de profondeur et de 20 mètres de hauteur réalisés à partir de tirs de mines ;
- la construction d'une nouvelle plate-forme routière décalée de 15 mètres vers la mer, comprenant une chaussée de 7 mètres de large et deux accotements de 4,50 mètres de largeur côté mer et 3,30 mètres de largeur côté merlon de protection ;
- la réalisation d'un merlon de protection en terre de 4 mètres de hauteur ;
- la mise en oeuvre d'énrochements lourds de protection contre les effets de houle cyclonique.

L'opération globale avait été estimée à 55 MF et a été financée par la Région.



COUPE DE PRINCIPE
TRAITEMENT DE LA FALAISE ET PROTECTION RN.2



Toujours lors de ma mission aux Antilles, j'ai pu observer des constructions, ayant apparemment fait l'objet d'un permis de construire et qui sont aujourd'hui fort menacées par des mouvements de terrain.

C'est le cas aussi bien en Guadeloupe qu'en Martinique où, à peine achevées ou en cours d'achèvement, de splendides maisons sont fissurées, lézardées, les murs de clôture disjoints et leurs extensions tennistiques (prévues ou non) transformées en un terrain crevassé. Que des pressions soient exercées par des groupes immobiliers pour construire avec vue sur la mer mais dans des zones instables est parfaitement intolérable. La responsabilité des élus est totale et il est de leur devoir d'empêcher que les règles soient transgressées pour des raisons mercantiles.

6 - LA REGLEMENTATION

Lors de ma mission au Japon, j'ai rencontré M. Tomohiro Yoshikawa, Directeur adjoint du "Slope Conservation Division, Erosion and Sediment Control Department, River Bureau".

Les glissements de terrain sont du ressort des ministères de l'Agriculture, des Forêts, et de la Construction. 3 085 zones à risque, soit 106 934 ha, sont gérées par ces ministères en fonction d'un certain nombre de lois. Une loi prévoit des travaux pour prévenir les éboulements de terrain et une surveillance par installation de capteurs.

D'autre part pour les zones à haut risque, le gouvernement conseille aux personnes exposées de partir, le responsable municipal peut donner un ordre d'évacuation.

Une campagne annuelle de sensibilisation a lieu lors du mois de juin, le risque étant le plus fort entre février et avril d'une part, et juin-juillet de l'autre.

En France, jusqu'au début de cette année, les actions possibles l'étaient sur l'occupation du sol : périmètres R 111-3, PER, POS. Ces outils réglementaires ont été diversement utilisés :

- les R 111-3 donnent généralement satisfaction pour les carrières souterraines à Paris. Toutefois leur champ d'application est limité aux constructions avec permis de construire.
- les PER sont jugés lourds à mettre en oeuvre et très difficiles en définitive à imposer aux communes récalcitrantes ; l'utilisation des POS n'est pas suffisamment sûre, ceux-ci pouvant être aisément remis en cause.

Le vote de la loi Barnier du 2 février 1995 en substituant les PPR aux PER va peut-être favoriser le développement de ces plans. L'introduction dans l'article 11 de cette loi 95-101 de la possibilité d'expropriation par l'Etat des biens exposés au risque est un énorme progrès. La détermination du montant des indemnités d'expropriation ne tenant pas compte de l'existence du risque est économiquement la seule solution pour permettre aux victimes de ces aléas naturels de préserver leur patrimoine, en capital tout au moins.

Il faut cependant persévérer dans la réglementation, car il s'agit d'une action efficace à long terme : il s'avère à l'usage que c'est surtout vis-à-vis des constructions et aménagements futurs qu'il est possible d'agir, et le taux de renouvellement du parc construit est très lent (nous l'avons vu précédemment, de l'ordre de 1 % par an).

7 - L'INFORMATION

La simple information des élus, des populations, des administrations (sous une forme la plus adéquate possible) constitue déjà un acte de prévention à ne pas négliger : information sur l'existence de dangers, sur les indices précurseurs, sur la conduite à tenir, etc. Elle peut d'ailleurs contribuer à sensibiliser, donc à faire accepter une réglementation. A la différence des actions réglementaires, son effet est à court terme.

Elle reste encore pour la majeure partie à développer.

En matière de formation, on note que les ingénieurs du Génie civil et les architectes sont en général peu au courant des problèmes de risques de mouvements de terrain et que plus généralement, l'étude des sols est ignorée dans les études d'architecture alors qu'un module devrait l'intégrer.

8 - L'ORGANISATION DES SECOURS

La prévision permet d'éviter la plupart des accidents, l'évacuation étant programmable.

Mais comme le précisait mes interlocuteurs de la Direction de la Sécurité civile, plus le temps d'alerte est long, moins on tient les populations. Ainsi, lors du glissement italien de la Valteline en 1987, les populations qui avaient été évacuées avaient rejoint leurs habitations au bout de 24 heures, avant le déclenchement de l'éboulement.

Toutefois pour des mouvements non répertoriés, ou dont l'accélération finale a déjoué les observations, l'éboulement peut tout emporter sur son passage.

Les équipes de sauvetage-déblaiement sont parfaitement opérationnelles, et il n'y a pas ici de bouleversement de paysage susceptible d'empêcher la progression des sauveteurs.

Il faut simplement adapter l'importance des moyens de sauvetage et de déblaiement à l'importance de la coulée.

CONCLUSIONS

LA FRANCE METROPOLITAINE EST UNE REGION A SISMICITE MODEREE.

Les séismes, dont le dernier -mortel- remonte à 1909 en Provence, sont la conséquence du rapprochement entre l'Afrique et l'Eurasie. Ils sont donc de type intraplaques : Alpes, Provence, Vallée du Rhône, Pyrénées, Fossé Rhénan, Auvergne, Massif Armoricaïn, Massif Central Occidental et Vosges paraissent, historiquement, les plus exposés.

LE RISQUE SISMIQUE EST PLUS ELEVE DANS LES PETITES ANTILLES

notamment en Guadeloupe et Martinique où, pour plusieurs raisons, propres à ces départements, la situation est bien différente du contexte métropolitain.

De façon générale, le point commun à l'ensemble des départements et territoires d'outre-mer est la vulnérabilité généralement très grande du bâti existant, surtout de l'habitat individuel.

Malgré ce risque sismique, historiquement vérifiable, **la France ne semble pas en admettre la prise en compte** : l'effacement de la délégation ministérielle aux risques majeurs, l'absence de centralisation des données prévisionnelles, la priorité donnée en matière de prévention à la construction récente au détriment des actions sur le bâti existant, une médiocre politique d'information conduisent à définir de nouvelles pistes de travail.

A la question : **la prévision des séismes est-elle actuellement possible ?**, la communauté scientifique internationale répond par la négative, même si certaines expériences en cours pondèrent cette constatation générale et laissent espérer des résultats dans le domaine de la recherche.

Encore faut-il distinguer les prévisions à long, moyen et court terme, où les résultats escomptés sont de nature différente.

La communauté internationale s'efforce actuellement de définir les signes précurseurs d'un séisme et de les corrélés. Le Japon, les Etats-Unis, la Chine et en Europe, la Grèce, apparaissent actuellement comme les pays les plus en pointe dans ce domaine.

En France, la **prédiction** reste principalement du domaine universitaire avec un partenariat international très appuyé.

L'OBSERVATION DES SEISMES

Elle peut servir à la fois la cause de la prédiction et celle de la prévention.

La France est dotée d'un dispositif de deux réseaux nationaux, ainsi que de réseaux régionaux qui permettent de faire apparaître certains alignements sismiques confortant l'idée qu'une cartographie des failles actives est désormais possible.

La surveillance du territoire semble donc désormais réalisable par ces réseaux, tout au moins, pour les événements les plus forts.

En revanche, les réseaux accélérométriques sont quasiment inexistantes. Les seuls accéléromètres installés sur le territoire métropolitain ne sont pas très performants en raison de leur répartition géographique et de leur manque de sensibilité.

Dans ces conditions, si un séisme destructeur survenait en France, il n'y aurait que très peu de chances de recueillir des mouvements forts et probablement pas dans la zone épacentrale. Il ne pourrait donc en résulter aucun progrès dans l'estimation qualitative de l'aléa sismique.

LA PREVENTION DES SEISMES

Cette prévention passe par :

- une évaluation correcte de l'aléa sismique,
- une bonne conception des diverses constructions et ouvrages nouveaux,
- un contrôle efficace de la bonne exécution de ces ouvrages,
- le confortement du bâti ancien lorsque celui-ci s'avère problématique,
- enfin de bons plans d'urbanisme qui évitent de trop grandes concentrations, soit démographiques, soit industrielles, dans les zones les plus délicates.

Or, si le dispositif législatif et réglementaire est désormais en place en France, il est souvent mal connu et donc mal appliqué. Il n'est qu'à constater le retard pris dans la mise en application des PER (plans d'exposition aux risques) pour évaluer la difficulté de sensibilisation à l'aléa sismique.

Le contrôle de la construction parasismique, du moins dans l'habitat individuel, est inexistant.

L'IMMENSE PARC EXISTANT

La France est un pays dont le parc immobilier a un faible taux de renouvellement : 1 % par an environ, ce qui explique que l'immense majorité de ce parc ne connaît pas de dispositif parasismique et n'en connaîtra pas avant longtemps si des dispositions particulières ne sont pas prises. Seule une implication de l'Etat et des collectivités territoriales, puis des propriétaires (par un certain nombre de mesures incitatives), permettra une mise aux normes parasismiques du parc immobilier français, notamment des immeubles destinés à recevoir du public.

C'est probablement dans cette direction que devront converger les efforts prioritaires de toute politique de prévention.

LA FORMATION - L'INFORMATION

Si les ingénieurs peuvent relativement aisément se former au génie parasismique, il n'en va pas de même des architectes dont le cursus obligatoire des études ne comporte pas de formation spécifique à ce type de prévention.

Information insuffisante également des enseignants, notamment dans les régions concernées, qui ne dispensent pas de formation spécifique, pas plus qu'ils ne disposent de matériel pédagogique adapté.

L'information des élèves demeure -à quelques notables exceptions près- insuffisante, voire inexistante. Il en est également ainsi de la population qui n'est sensibilisée qu'au moment du dépôt d'un permis de construire, souvent d'ailleurs de façon très incomplète.

LA GESTION DE LA CRISE

Les caractéristiques très particulières de la catastrophe induite par un séisme conduisent à penser, comme aux Etats-Unis ou au Japon, à l'application d'un plan de secours spécifique, notamment dans les départements et territoires d'outre-mer où l'éloignement et les pertes de temps qui en résultent constituent des circonstances aggravantes du risque.

Le risque sismique n'est pas limité géographiquement, ce qui pose le problème du positionnement des secours : dans la zone ou en périphérie ? S'il est nécessaire d'avoir des secours immédiats, certains centres risquent d'être inopérants de l'intérieur, suite aux dégâts subis. Il faudra de toute manière des secours de l'extérieur.

Le dernier tremblement de terre mortel en France s'est produit à Lambesc le 11 juin 1909; de magnitude 6.2, il a provoqué 46 morts et 250 blessés. En 1984, une étude simulant un séisme de même magnitude un soir de juin 1982 montrait qu'il aurait occasionné entre 400 et 1 000 morts, et des milliers de blessés.

Sommes-nous sûrs que, depuis 1984, nous ayons beaucoup progressé dans la protection parasismique, et sommes-nous sûrs de notre volonté à prévenir les risques majeurs ?

L'ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN EST BEAUCOUP PLUS PRESENT QU'ON NE LE CROIT.

En dix jours, en janvier 1994, 150 mouvements de terrain, dont un de 10 millions de tonnes ont été enregistrés. Mais les grands mouvements sont le plus souvent répertoriés, et les petits n'engendrent généralement pas de victimes.

Cependant chaque mouvement est un cas particulier et seulement une vingtaine de sites donnent lieu à une surveillance en permanence.

L'INVENTAIRE

Si certains grands phénomènes sont bien connus, il n'est pas certain que tous soient répertoriés. Il est souhaitable de réaliser un inventaire systématique de l'ensemble des phénomènes, potentiels, actifs ou historiques pour lesquels des enjeux importants existent. Des bases de données existent ou sont en création en différents endroits, il est nécessaire que ce développement se fasse de manière coordonnée.

Les vides souterrains -carrières souterraines, mines "orphelines"- ne sont pas assez connus en général, et pourtant il ne se passe d'année sans qu'une information nous parvienne sur la disparition d'une habitation dans le sous-sol.

L'impact des activités humaines sur les mouvements de terrain est très important. En montagne, cela a entraîné des modifications des infrastructures d'accès aux stations de ski, l'abandon ou la modification de la pratique agricole. Une étude des modifications du territoire en zones sensibles est nécessaire, afin d'en tirer les enseignements pour l'aménagement futur.

Ce besoin de bases de données régionales (abord par zones homogènes) et surtout de suivi de l'évolution des zones potentiellement instables est du ressort des observatoires régionaux : CETE, BRGM, RTM ; cependant il faut veiller à la centralisation et à la coordination de ces données.

L'EVALUATION ET LA CARTOGRAPHIE

La méthodologie de la cartographie de l'aléa, appuyée sur une expérience ancienne et sur le développement informatique moderne, est considérée à juste titre comme l'un des points forts de la recherche française en ce domaine.

Mais la recherche universitaire est insuffisamment développée ; on constate un cruel manque de contacts entre géographes, géologues, ingénieurs et trop peu d'équipes pluridisciplinaires sont en place.

LA PREVISION ET LA SURVEILLANCE

La météorologie pour le suivi et la surveillance des mouvements, la télésurveillance sont bien maîtrisées, tout comme la méthodologie d'étude, de reconnaissance et d'instrumentation des sites instables.

Cependant l'absence de maîtrise d'ouvrage de la surveillance (quelle que soit d'ailleurs l'importance du risque) est un véritable problème. Il n'existe pas d'organisme officiel à ce jour qui soit chargé de la surveillance, et il serait souhaitable que des comités régionaux de surveillance des mouvements de terrain soient mis en place.

En terme de surveillance, c'est à un expert de déterminer le point de criticité, il y a donc un grand intérêt à des expertises de groupe. Quant à la protection des vies humaines, cela incombe à la Direction de la Sécurité civile : cette mission de surveillance ne devrait-elle pas lui revenir ?

LA PREVENTION ET LA PROTECTION

La prévention progresse, si on peut s'exprimer ainsi, à chaque catastrophe, les enseignements qui en sont tirés venant renforcer la réglementation administrative ou technique. On pourrait donc envisager, à l'instar de ce qui se fait pour les séismes, que des missions d'expertise post-événements soient organisées lorsqu'un mouvement de grande ampleur s'est produit à l'étranger. Le Comité national de prévention des mouvements de terrain, s'il voit enfin le jour, pourrait organiser ces missions.

Les techniques de stabilisation sont relativement bien maîtrisées, tout au moins pour des phénomènes de faible ampleur. Pour les très grands phénomènes, il n'y a pas de protection possible, sinon à provoquer le mouvement lorsque toutes les mesures de sécurité sont prises. Cette démarche, qui a été appliquée notamment au Japon, n'est toutefois pas sans risque mais le comportement des professionnels devrait permettre de le minimiser très fortement.

LA REGLEMENTATION, L'INFORMATION ET L'ORGANISATION DES SECOURS

Les règles existent, encore faut-il les appliquer. La loi permet maintenant d'exproprier les domaines exposés sans tenir compte dans l'indemnisation du risque facteur d'expropriation, c'est une grande avancée. L'insouciance des élus peut malheureusement réduire à néant les efforts entrepris.

Des lacunes subsistent pour les biens non assurables des collectivités locales. Il faut noter que le département de la Savoie a proposé une solution originale avec son Fonds "Risques naturels", basé sur la mutualisation.

L'évacuation des populations soumises à cet aléa est possible quelques heures avant le déclenchement du phénomène. Mais plus le temps d'alerte est long, moins les populations respectent les consignes. Il faut donc déterminer très précisément la période de criticité.

L'absence la plus criante est celle d'une instance permettant de gérer le risque mouvements de terrain, et une clarification des responsabilités est indispensable.

RECOMMANDATIONS

1 - Affirmer la nécessité de prise en compte des Risques Majeurs dans la vie de la Nation et l'Aménagement du Territoire en redonnant à la Délégation un caractère interministériel (ou en en faisant un ministère)

2 - Doter cette Délégation interministérielle aux Risques Majeurs d'appuis techniques, qui pourraient être pour tout ce qui concerne la géodynamique interne le BRGM et pour les conditions climatiques Météo France

Pour l'aléa tremblement de terre :

3 - Création d'un Centre de Recherches sur les Tremblements de Terre, centre pluridisciplinaire, en Provence. Ce Centre devrait assurer la coordination de la recherche en matière de prévision ainsi qu'en matière de coopération internationale

4 - Doter la France d'un réseau accélérométrique opérationnel, indispensable pour la connaissance des mouvements forts et pour la forme du signal qui s'avère capitale dans les études de génie parasismique. Un engagement financier de tous les ministères concernés et des collectivités locales doit traduire la nécessité reconnue par tous depuis 1989 de combler cette lacune qui met la France au dernier rang des pays européens pour la surveillance des mouvements forts

5 - Faire établir un audit de l'existant, en matière d'établissements destinés à recevoir du public, d'établissements stratégiques et d'installations classées, à réaliser par les Conseils Régionaux ayant dans leurs circonscriptions une partie concernée par le risque sismique

6 - Les travaux de mise aux normes nécessaires après cet audit doivent être programmés dans les 3 prochains plans Etat/Région, suivant l'importance du risque et la classification des établissements

7 - Pour toute commune soumise à un quelconque aléa, assujettir toute modification du POS à la publication du PPR, celui-ci devant de toute manière être réalisé avant l'an 2000

- 8 - Classer certains bâtiments et ouvrages stratégiques (centres de secours, services d'urgence hospitaliers, centres de télécommunications) des zones sismiques 3 en risque spécial, plutôt qu'en risque normal classe D
- 9 - Envisager une reconstruction rapide de certains de ces bâtiments, aux normes parasismiques ainsi que les établissements scolaires des Petites Antilles, après une étude qui devrait être achevée au plus tard au 1^{er} janvier 1997
- 10 - Créer un corps d'inspection des constructions aux normes parasismiques, les organismes de contrôle existant pouvant être conventionnés à cet effet
- 11 - Diffuser périodiquement, dans toute commune classée en zone 2, les consignes à suivre avant, pendant et après un séisme. Cela doit faire l'objet d'un affichage public sur les panneaux destinés à cet effet et d'une information annuelle pour tous les habitants de la commune
- 12 - Pour tout nouveau permis de construire sollicité dans une commune figurant dans l'annexe au décret 91-461 du 14 mai 1991 relatif à la prévention du risque sismique, une information sur les règles techniques élémentaires mais indispensables à respecter doit être fournie. Un document national pourrait être personnalisé par les directions départementales de l'Équipement concernées
- 13 - Revoir le système d'assurances des catastrophes naturelles, en dégagant des fonds pour la recherche en prévention, puisque cette amélioration des connaissances devrait permettre de préserver davantage les vies et les biens
- 14 - Lier dans les zones sismiques la possibilité de souscrire une assurance au respect des normes parasismiques dans les constructions nouvelles
- 15 - Lier les indemnisations, même dans le cas d'intervention du fonds CAT NAT, au respect des normes parasismiques pour les constructions anciennes de classe C ou D, après un délai de mise en conformité
- 16 - Accorder aux travaux de mises aux normes parasismiques des avantages fiscaux similaires à ceux accordés pour des travaux de grosses réparations
- 17 - Créer à partir de la mallette pédagogique à usage des écoles des modules par aléa afin de réduire le prix de cet outil indispensable et mieux répondre ainsi à la demande des enseignants et à la réalité du terrain, développer des outils simples (affiches, vidéo)
- 18 - Inclure dans le cursus obligatoire des écoles d'architecture un enseignement de génie parasismique

19 - Développer, dans les zones sismiques, une formation obligatoire des enseignants à ce risque. Pour les zones classées en 3ème catégorie, une journée d'information et d'exercices pratiques destinée aux élèves de l'ensemble des établissements doit être programmée dans la première semaine de la rentrée scolaire

20 - Développer et doter les unités spécialisées d'un matériel de détection fonctionnant sur le repérage par leur respiration des personnes ensevelies

21 - Les plans de secours spécifiques doivent impérativement reposer sur plusieurs axes et moyens de communication, les ouvrages d'art étant les plus exposés en cas de séisme

22 - Créer en Guyane, où l'exposition aux risques naturels est moindre, une base logistique de secours, organisée autour d'une unité de Sécurité Civile, et d'un détachement gérant un magasin général de matériel, dont un hôpital de campagne

Pour l'aléa mouvement de terrain :

23 - Nommer enfin les membres du Comité national d'évaluation des risques de mouvements de terrain, créé par décret n°84-10 du 3 janvier 1984

24 - Développer de façon coordonnée les bases de données en France : fichiers informatisés des événements, recensement des cartes d'aléa réalisées, effectuer l'inventaire systématique des phénomènes de grande ampleur, potentiels, actifs, pour lesquels existent des enjeux importants

25 - Développer la recherche pluridisciplinaire à l'instar de ce qui se met en place à l'Institut National des Sciences de l'Univers ou en région Rhône-Alpes

26 - Poursuivre la recherche et le développement de techniques de localisation de vides souterrains

27 - Développer les suivis de grands mouvements en France et, éventuellement, à l'étranger : cinématique des instabilités ; modélisation et prévision, notamment en relation avec les données météorologiques (glissements, éboulements, coulées). Sur certains versants potentiellement instables, effectuer un point zéro géodésique le plus rapidement possible

28 - Envisager, à l'instar de ce qui se fait au sein de l'AFPS, que des missions d'expertise post-événements soient organisées lorsqu'un mouvement de terrain de grande ampleur s'est produit à l'étranger

29 - Elaborer un guide méthodologique de la cartographie d'aléa, en prévision du nouveau programme de cartographie à lancer (PPR) : il est souhaitable que tous les opérateurs aient la même conception de la cartographie

30 - Poursuivre la recherche et le développement de techniques de stabilisation efficaces et peu coûteuses (clouage, drainage, ...)

31 - Rédiger en français un manuel ou un ouvrage de synthèse sur les mouvements de terrain et leur prévention, ainsi que des guides techniques plus spécialisés

32 - Effectuer des inventaires des personnes et biens exposés de l'urgence : partir des cibles sensibles et examiner ce à quoi elles sont exposées plutôt que des sources de danger : installations classées, chutes de blocs sur itinéraires routiers

33 - Clarifier les responsabilités respectives de l'État et des Collectivités locales en matière de prévention

34 - Créer un fonds d'intervention pour parer aux événements qui surviennent à l'improviste durant l'année

ADOPTION DU RAPPORT
PAR L'OFFICE PARLEMENTAIRE

M. Christian KERT a présenté les conclusions et recommandations de son rapport lors de la séance que l'Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques a tenue le 19 avril 1995.

Les conclusions et recommandations du rapport ont été adoptées à l'unanimité.

ANNEXES

ANNEXE 1

LISTE DES PERSONNALITES ENTENDUES

I. Personnalités entendues à PARIS

mardi 14 juin 1994 :

M. Philippe MASURE, Chargé de mission Environnement et Risques du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), Vice-président du Comité français de la Décennie internationale de la prévention des catastrophes naturelles (DIPCN)

mercredi 22 juin 1994 :

M. Paul-Henri BOURRELIER, Président de l'Instance d'évaluation de la politique publique de prévention des risques naturels

mercredi 6 juillet 1994 :

M. Bagher MOHAMMADIOUN, sismologue, Chef du Bureau d'Évaluation des Risques Sismiques pour la Sûreté des Installations Nucléaires à l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire

mardi 12 juillet 1994 :

M. Jean-Daniel VAZELLE, Chef du Bureau des Risques Naturels et Technologiques à la Direction de la Sécurité civile du Ministère de l'Intérieur

M. Jean-Marie PINARD, Chef du Bureau de la section Montagne à la Direction de la Sécurité civile

mercredi 14 septembre 1994 :

M. Pierre GODEFROY, BRGM, Responsable du groupe Risques naturels et Géoprospective

mercredi 19 octobre 1994:

M. Jean-Claude ROSSIGNOL, Physicien à l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP), Département de Géomagnétisme et de Paléomagnétisme, et Chargé de mission à l'Institut National des Sciences de l'Univers (INSU), CNRS-URA 729

M. Renaud VIÉ LE SAGE, Directeur du Groupe des Sciences Physiques pour l'Environnement à l'Université Paris 7, ancien Délégué aux Risques Majeurs

mercredi 9 novembre 1994 :

M. Gustave DEFRANCE, Directeur de la Prévention des Pollutions et des Risques, Délégué aux Risques Majeurs, Ministère de l'Environnement
M. Jean NOYELLE, Chargé de mission à la Délégation aux Risques Majeurs

mardi 16 novembre 1994 :

M. Bernard SACQUEPÉE, Maire de WICKERSCHWIHR

M. Alain PECKER, Président de l'Association Française du Génie Parasismique (AFPS)

M. Paul TAPPONNIER, Directeur du Département de Tectonique de l'IPGP, CNRS-URA 1093

M. Raoul MADARIAGA, Directeur du Département de Sismologie de l'IPGP, CNRS-URA 195

M. Claude JAUPART, Directeur du Laboratoire de dynamique des systèmes géologiques de l'IPGP, Responsable du programme Risques naturels à l'INSU, CNRS-URA

mercredi 23 novembre 1994 :

M. Yves CARISTAN, Chef du Laboratoire de Détection Géophysique du Commissariat à l'Energie Atomique

mercredi 30 novembre 1994 :

M. Jacques BETBEDER-MATIBET, Conseiller scientifique EDF-SEPTEN, Membre du Conseil Scientifique et Technique de l'AFPS

mardi 6 décembre 1994 :

M. Pierre ANTOINE, géologue au Laboratoire de Géologie et de Mécanique de l'IRIGM Grenoble

mercredi 21 décembre 1994 :

M. Jean B. SAVY, Directeur adjoint du Programme "Natural Phenomena Hazards" du Lawrence Livermore National Laboratory de l'Université de Californie

mardi 10 janvier 1995 :

M. Gustave DEFRANCE, Délégué aux Risques Majeurs

M. Igino TONELLI, Délégué adjoint aux Risques Majeurs

M. Jean-Noël TONNON, Chef du bureau des risques naturels

M. Gabor CZITROM, chargé risque sismique DRM

M. Marcel TOULEMONT, chargé risque Mouvement de terrains DRM

M. Hubert BARATIN, Service de l'environnement industriel

mardi 24 janvier 1995 :

M. Philippe MASURE, Vice-président du Comité français de la Décennie internationale de la prévention des catastrophes naturelles (DIPCN)

M. Jean-Louis DURVILLE, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

M. François GILLET, Directeur du Pôle grenoblois d'Études et de Recherche pour la Prévention des Risques Naturels

lundi 6 février 95 :

M. Jean-Pierre MASSUÉ, Secrétaire exécutif, Secrétaire général de la Fédération européenne des réseaux scientifiques, Conseil de l'Europe, Accord EUR-OPA Risques Majeurs

mercredi 8 février 95 :

M. Jean-Pierre POZZI, Laboratoire de Géologie, Ecole Normale Supérieure de Paris

M. Guy AUBIGNY, Ingénieur général des Télécommunications, Adjoint au Haut Fonctionnaire de Défense

M. Boris ROZENWAIG, Chef du Service des Télécommunications et de la Sécurité des Systèmes d'Information au Ministère de l'Industrie, des Postes et Télécommunications et du Commerce extérieur

Général Jean-Claude MARION, Chargé de mission auprès du Service "Plans et Moyens de Défense" au Commissariat Général à la Mobilisation industrielle

M. Victor DAVIDOVICI, Conseiller en génie sismique, Coordinateur des activités nucléaires, Direction technique de SOCOTEC, Président d'honneur de l'AFPS

mardi 21 février 95 :

M. Paul-Henri BOURRELIER, Président de l'Instance d'évaluation de la politique publique de prévention des risques naturels

M. Guy DENEUFBOURG, Rapporteur de l'Instance d'évaluation, Secrétaire général de la DIPCN

Mme Bernadette de VANSSAY, Sociologue, CEDRA, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, membre de l'Instance d'évaluation, membre de la DIPCN

M. Jean-Claude FLAGEOLLET, Professeur à l'Université Louis Pasteur de Strasbourg, Directeur du Centre Européen pour les Risques Géomorphologiques

II. Personnalités entendues lors de missions en France

mardi 11 octobre 1994 :

Entretiens de l'École Nationale Supérieure de Géologie de NANCY

M. Bernard DURAND, Directeur de l'ENSG Nancy

M. Jean-Louis LE MOUËL, Directeur de l'Institut de Physique du Globe de Paris, Membre de l'Académie des Sciences

M. Rolando ARMIJO, Physicien à l'I.P.G. Paris

M. Gabriel AUVINET, Professeur de géomécanique à l'ENSG Nancy et à l'UNAM (Mexique)

M. Jean-Paul TISOT, Professeur de géotechnique à l'ENSG Nancy

M. Eric TANAYS, Chef de l'Unité de Mécanique des sols au Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Nancy

M. Gustave DEFANCE, Directeur de la prévention, de la pollution et des risques naturels au Ministère de l'Environnement

M. Jean-Louis CHEMINÉE, Directeur de recherche au CNRS, Directeur des observatoires volcanologiques de l'I.P.G. Paris, Président de l'organisation mondiale des observatoires volcanologiques

M. Didier MASSONNET, Chef du département "Performances des Systèmes Radar" au CNES

M. Eric LEROI, Chef de projet Risque mouvement de terrain au Département Géophysique et Imagerie Géologique du BRGM

M. Alain MARCHAND, Délégué général du Pôle de l'Eau de Nancy

M. Michel LEFEBVRE, Ingénieur au CNES, expert pour les programmes "Solid Earth" de la NASA

M. Daniel HAHN, Adjoint au Directeur Régional de l'Environnement de Lorraine

M. Daniel ROUX, Directeur Interrégional de Météo-France Nord-Est

mercredi 12 octobre 1994 :

Journée Mondiale de la Décennie Internationale de la Prévention des Catastrophes Naturelles à NANCY

M. Jean-Louis LE MOUËL, Directeur de l'Institut de Physique du Globe de Paris, Membre de l'Académie des Sciences, Président du Comité français de la D.I.P.C.N.

M. Philippe MASURE, Vice-Président du Comité français de la D.I.P.C.N.

M. Paul-Henri BOURRELIÉ, Président de l'Instance d'évaluation de la politique publique de prévention des risques naturels

M. Jean GRASSIN, Rapporteur de l'Instance d'évaluation de la politique publique de prévention des risques naturels

M. Igino TONELLI, Délégué adjoint aux Risques Majeurs

M. Pierre MOUROUX, Chef de projet Risque et génie sismiques au Département Géophysique et Imagerie Géologique du BRGM

M. Jean-Claude ROSSIGNOL, à l'I.P.G. Paris, Département de Géomagnétisme et de Paléomagnétisme

M. Bruno ROYET, Chef du groupe Construction au CETE de l'Est, Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Strasbourg

jeudi 3 novembre 1994 :

A MARSEILLE

M. Claude COLLIN, Directeur de l'Institut de Prévention et de Gestion des Risques urbains (IPGR)

M. Gilbert BELLES, Directeur du Service Environnement de la ville d'Avignon

M. Jean-Pierre HEMY, Directeur de l'Ecole d'architecture de Luminy

M. Milan ZACEK, Professeur à l'Ecole d'architecture de Luminy, responsable du Certificat d'Etudes Approfondies en Architecture parasismique

A AIX-EN-PROVENCE

M. PAULY, Ingénieur au CETE Méditerranée

vendredi 4 novembre 1994 :

A NICE

M. Jean-Pierre MENEROUD, Chef du groupe géologie-sols, risque sismique au Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement (CETE de Nice)

M. Jacques BERNEY, Directeur du Service Prévention et Gestion des Risques de la Ville de Nice

PRINCIPAUTE DE MONACO

M. Jean-Michel MANZONE, adjoint au Chef du service de l'environnement de la Principauté de MONACO

Mme Nicole BETHOUX, sismologue

A BRIGNOLES

Lieutenant-Colonel MOINE, Commandant l'Unité de Sécurité Civile n°7

Lieutenant-Colonel BASTAROLI, Commandant en Second l'U. S. C. 7

mardi 15 novembre :

A GRENOBLE

à l'IRIGM - (CNRS-URA 733)

M. Georges POUPINET, Directeur du Laboratoire de Géophysique interne

M. Michel CAMPILLO, Professeur

M. Pierre-Yves BARD, ingénieur des Ponts et Chaussées, responsable du projet de microzonage sismique

M. Jean-Robert GRASSOT, sismicité induite
M. Denis HATZFELD, responsable du projet accéléromètres
M. François THOUVENOT, surveillance sismologique SISMALP
M. Julien FRECHET, surveillance sismologique SISMALP

au Conseil général

M. Gérard TOURNOUX, chargé de mission ISÈRE, département pilote

jeudi 8 décembre 1994:

A SALON DE PROVENCE

M. Pierre MOUROUX, BRGM
M. Claude COLLIN, Directeur de l'IPGR
M. Pierre GODEFROY, BRGM
M. Bagher MOHAMMADIOUN, sismologue au BERSIN (IPSN)
M. Victor MEREAU, Directeur général d'I.F. Technologies Multimedia
M. Gabor CZITROM, chargé du risque sismique à la DRM
M. Milan ZACEK, Professeur à l'Ecole d'architecture de Luminy
M. Jean-Christophe NIEL, sous-directeur à la Direction de la Sécurité des Installations Nucléaires (DSIN)
M. Denis DUVAL, de la division Environnement de la DRIRE PACA
M. Pascal PINET, de la Direction Régionale de l'Environnement (DIREN-PACA)
M. Gilbert BELLES, Directeur du Service Environnement de la ville d'Avignon
M. Jean-Daniel VAZELLE, Direction de la Sécurité civile du Ministère de l'Intérieur
Colonel Philippe NARDIN, responsable du CIRCOSC de Valabre

vendredi 9 décembre 1994 :

A LAMBESC

M. Jean THIBAUT, Principal du Collège de Lambesc
M. BLANCHER, Principal-adjoint du Collège de Lambesc
Mme Monique AUDIER, adjointe au Maire de Lambesc, chargée des risques majeurs

A MARSEILLE

au BRGM

M. Pierre GODEFROY, Responsable du groupe Risques naturels et Géoprospective
M. Pierre MOUROUX, Chef de projet Risque et génie sismiques au Département Géophysique et Imagerie Géologique
M. Eric LEROI, Chef de projet Risque mouvement de terrain au Département Géophysique et Imagerie Géologique

mardi 10 janvier 1995 :

pour les deux centres du CEA

M. Yves CARISTAN, Chef du Laboratoire de Détection Géophysique (LDG),
de la Direction des Essais

M. PIERRE TREFOURET, Attaché parlementaire du CEA

AU CENTRE D'ÉTUDES DE BRUYERES-LE-CHATEL

M. François ANDRIEU, Directeur du Centre d'Études

M. Alain BARTHOUX, Directeur des Essais

M. Bruno FEIGNET, Secrétaire Général du Centre Sismologique Euro-Méditerranéen (CSEM)

M. Jean-Louis PLANTET, Chef de la section Sismologie et Géophysique Externe (SGE) du LDG

M. Jean-Philippe AVOUAC, Responsable du groupe Tectonique et Structure de la Lithosphère (TSL) du LDG

AU CENTRE D'ÉTUDES DE SACLAY

Mme Eliane LOQUET, Directeur du Centre d'Études

M. Alain COMBESCURE, Chef du Service d'Études Mécaniques et Thermiques (SEMT), Département de Mécanique et de Technologie, Direction des Réacteurs Nucléaires

Mme Françoise GANTENBEIN, Chef du Laboratoire d'Études de Mécanique Sismique (EMSI) du SEMT/DMT/DRN

AUX ANTILLES du 16 au 20 janvier 1995

en GUADELOUPE

mardi 17 janvier 1995 : à Basse-Terre

à l'Hôtel de Région

M. Jean-Pierre ETCHARRY, Préfet, Directeur Général des services du Conseil Régional de la Région Guadeloupe

M. Philippe SALLES, Directeur des services techniques du Conseil Régional

au palais du Conseil Général

M. Lucien PARIZE, Conseiller général, Président de la Commission Education

à l'Observatoire Volcanologique du Houëlmon

M. Michel FEUILLARD, Directeur de l'Observatoire

M. Christian ANTENOR-HABAZAC, Directeur technique

M. Alain DOMIQUIN, Sismologue

M. Gilbert HAMMOUYA, Géochimiste

à la Préfecture

M. Michel DIEFENBACHER, Préfet de la Région Guadeloupe

M. Alain ROUSSEAU, Sous-Préfet, Directeur de Cabinet du Préfet de la Région Guadeloupe

M. Max ETNA, Chef du bureau des Affaires Européennes au Conseil Régional

M. Michel FEUILLARD, Directeur de l'Observatoire Volcanologique du Houëlmont

M. Christian ASSELIN de BEAUVILLE, Directeur du Laboratoire de Physique Atmosphérique, Université Antilles-Guyane

M. Jean-Jacques JÉRÉMIE, Directeur du Laboratoire de Volcanologie et Géochimie, Université Antilles-Guyane

M. Serge LALLIER, Directeur du BRGM ANTILLES

M. le docteur Jean-Louis LUPERON, Médecin Chef du SAMU 971

M. le Lieutenant-Colonel Félix ANTENOR-HABAZAC, Chef d'Etat-Major du Service Départemental d'Incendie et de Secours

M Gilles RIZO, Chef du Service Interministériel de Défense et de Protection Civile (S.I.D.P.C.)

M. Patrice WAGNER, Adjoint au Directeur Départemental de l'Équipement

M. Francis ANDRAS, Chef de service Aménagement et Logement de la DDE

mercredi 18 janvier 1995 : à Pointe à Pitre*au BRGM*

M. Serge LALLIER, Directeur du BRGM ANTILLES

M. Olivier SEDAN, Ingénieur géologue

M. Jean-Marc MOMPÉLAT, Ingénieur géologue

à l'Université ANTILLES-GUYANE

M. Christian ASSELIN de BEAUVILLE, Directeur du Laboratoire de Physique Atmosphérique

M. Jean-Jacques JÉRÉMIE, Directeur du Laboratoire de Volcanologie et Géochimie

M. Max ETNA, Chef du bureau des Affaires Européennes au Conseil Régional

en MARTINIQUE**jeudi 19 janvier 1995 :**

pour l'ensemble des entretiens sauf ceux se déroulant à l'Hôtel de Région ou au Conseil général

Mme Marie-Henriette CHABRERIE, Chef du Service Interministériel de Défense et de Protection Civile (S.I.D.P.C.)

à la Préfecture

M. Jean-Yves CHIARO, Directeur de Cabinet du Préfet de Région
M. Jean-Pierre DEFRESNE, Directeur Départemental de l'Équipement
M. Xavier MARTIN, Directeur Régional de l'Environnement
M. Serge LALLIER, Directeur du BRGM ANTILLES
M. Jean-Marc MOMPÉLAT, Ingénieur géologue BRGM
Mme JOUVE, Chef de Bureau préfectoral d'Urbanisme et Cadre de Vie

à l'Observatoire Volcanologique du Morne des Cadets

M. VIODE, Directeur de l'Observatoire
M. Pierre CELMA, Conseiller Général, Président de la Commission Bâtiments et Travaux publics
M. Yves SIDIBE, Direction des infrastructures et de l'eau à la Direction des Services techniques du Conseil Général
M. Marc-Michel DEAU, Direction des infrastructures et de l'eau à la Direction des Services techniques du Conseil Général

à Bellefontaine

M. Ernest RENARD, Maire de Bellefontaine
M. Jean-Pierre DEFRESNE, Directeur Départemental de l'Équipement
M. Didier GONTAR, chargé de mission à la DDE
M. Jean-Claude YANG-TING, service Routes à la DDE
M. Serge LALLIER, Directeur du BRGM ANTILLES
M. Jean-Marc MOMPÉLAT, Ingénieur géologue BRGM

à l'Université ANTILLES-GUYANE, à Fort-de-France

M. Thierry HARTOG, Maître de Conférences, Vice-Président de l' U.A.G.
M. Robert D'ERCOLE, Maître de Conférences, Département de Géographie
M. Guy AUGUSTIN-LUCILE, Direction des Services techniques du Conseil Général de la Martinique, chargé des bâtiments et collèges
Mme Claudine JEAN-THÉODORE, Conseillère pédagogique, responsable de la sensibilisation aux risques pour l'enseignement primaire
M. Max DELERAY, Professeur de lycée, responsable de la sensibilisation aux risques pour l'enseignement secondaire

à l'Hôtel de Région

M. Georges NEGOUAI, Conseiller Régional, Président de la Commission Aménagement du Territoire
M. Camille MOUTOUSSAMY, Chargé de mission Environnement et maîtrise de l'énergie

à l'Hôtel du Conseil Général

M. Léon ZAMI, Premier Vice-Président du Conseil Général

vendredi 20 janvier 1995 :*à la Préfecture***M. Jean-François CORDET**, Préfet de la Région Martinique*à la Cellule d'Analyse des Risques et de l'Information Préventive (CARIP)***M. Anicet TURINAY**, Député de la Martinique, Président de l'Association des Maires**M. le docteur Olivier ORTOLÉ**, Adjoint au Chef de Service du SAMU**M. Yv-Marie SERALINE**, spécialiste de la communication OMDAC**M. Michel BARTEL**, Directeur d'hôpital, Médecins du Monde Antilles**M. Didier GONTARD**, chargé de mission à la DDE**M. le Lieutenant Fred MIRAM MARTHE ROSE**, Adjoint au Chef du Service Départemental d'Incendie et de Secours**M. Jean-Marc MOMPÉLAT**, Ingénieur géologue BRGM**Mme Claudine JEAN-THÉODORE**, Conseillère pédagogique, responsable de la sensibilisation aux risques pour l'enseignement primaire**M. Max DELERAY**, Professeur de lycée, responsable de la sensibilisation aux risques pour l'enseignement secondaire**Mme Yannik AUBURTIN GALLAIS**, Adjoint au Chef de Bureau préfectoral d'Urbanisme et Cadre de Vie**Mme Migerelle BEAULIEU**, S.I.D.P.C.**M. Brunice CAIUS**, S.I.D.P.C.*Associations s'intéressant aux risques majeurs***M. Paul-Henri CHARTOL**, Vice-Président de l'ASSAUPAMAR**Mme Madeleine de GRANDMAISON**, Présidente de la Société des Galeries de Géologie et de Botanique de Fort-de-France**M. Marcel BON SAINT CÔME**, Président de la SEPANMAR**Mme Murielle MICHAUD**, Présidente de TABOULIKANI**M. Georges NEGOUAI**, Président du CORDEM**M. Robert RENCOT**, Président de l'APPELS**M. Florent GRABIN**, Vice-Président de l'APPELS**M. Pierre DAVIDAS**, Secrétaire de l'APPELS**M. José NOSEL**, Directeur du Parc Naturel Régional*Architectes***M. Lucien CIDAISE MONTAISE**, Président du Conseil de l'Ordre des Architectes de la Martinique**M. Franck HUBERT**, architecte, Commission Risques naturels*sur les sites de Fort-de-France***M. Serge LALLIER**, Directeur du BRGM ANTILLES**M. Jean-Marc MOMPÉLAT**, Ingénieur géologue BRGM

M. CONCY, Directeur des services techniques de la ville de Fort-de-France
Mlle Karine SOBESKY, Société d'Economie Mixte d'Aménagement de Fort-de-France
M. Olivier LAMEYNARDIE, SEMAFF
M. Jean-Pierre MADKAUD, SEMAFF

mardi 21 février 95 :

A L'IPSN, A FONTENAY-AUX-ROSES

M. Philippe VESSERON, Directeur de l'Institut de Protection et de Sûreté des Installations Nucléaires
M. Alain L'HOMME, Chef du Département de Protection de l'Environnement et des Installations
M. Jacques DUCO, Adjoint au Chef du DPEI
M. Jean-Claude BARESCUT, Chef du Service d'Etudes et de Recherches sur la Géosphère et l'Elimination des Déchets, DPEI
M. Bagher MOHAMMADIOUN, Chef du Bureau d'Évaluation des Risques Sismiques pour la Sûreté des Installations Nucléaires, SERGD, DPEI
Mme Thérèse GRANIER, géologue, BERSSIN
M. Jean-Christophe GARIEL, sismologue, BERSSIN

III. Personnalités entendues lors de missions à l'étranger

AUX ETATS-UNIS du 20 au 24 septembre 1994

M. Pascal REVEL, Attaché Scientifique

A LOS ANGELES

au Consulat de France

M. Jean-Maurice RIPERT, Consul Général

M. Jérôme CHAMPAGNE, Consul Général adjoint

au Centre 911

M. Dennis MARTIN, Manager du Centre de commandement des pompiers du comté de Los Angeles

à l'Université privée CalTech (California Institute of Technology)

M. George HOUSNER, Professeur d'ingénierie sismique

au département "Construction" du comté de Los Angeles

M. Tom REMILLARD, Superintendant

au Centre opérationnel de la "Santa Monica Freeway"

M. Roy FISHER, CALTRANS, Responsable de la reconstruction autoroutière après le tremblement de terre du 17 janvier 1994

M. Jean B. SAVY, Directeur adjoint du Programme "Natural Phenomenal Hazards" du "Lawrence Livermore National Laboratory" de l'Université de Californie

A SAN FRANCISCO

à l'Université de Stanford

Dr. Helmut KRAWINKLER, Directeur du John A. Blume Earthquake Engineering Center, Professeur de Génie civil

Mme Anne S. KIREMIDJIAN, Co-Directeur du John A. Blume Earthquake Engineering Center, Professeur de Génie civil

au City Hall à Oakland

M. Michael BATTAINI, Directeur de "Sheedy"

M. David R. Van VOLKINBURG, Directeur de "Dynamic Isolation Systems"

M. Gerald MOK, du "Lawrence Livermore National Laboratory" de l'Université de Californie

à Berkeley

Mme le Dr. Barbara ROMANOWICZ, Professeur de Géophysique, Directeur de "Seismographic Station" de l'Université de Californie

à l'Exploratorium

M. Goery DELACOTE, Directeur

au Palais de la Légion d'Honneur

Mrs Debby FRIEDEN, Project Manager of Remodeling the Palace of Legion of Honor

au Federal Emergency Management Agency

Mrs Vicky DOTY, Directeur du FEMA

M. Joseph D. DOMINGUEZ, Assistant du Directeur du FEMA

Mrs Helen R. DuBOIS-SMITH, Assistante du Directeur du FEMA

au San Francisco Emergency Command Center

Admiral John W. BITOFF, Directeur du "Mayor's Office of Emergency Services" de San Francisco

au "State of California Emergency Management Agency"

Mrs Lynn MURPHY, Program Planner Governor's Office of Emergency Services Earthquake Program

AU JAPON du 25 au 29 septembre 1994

M. Georges VERCHERY, Attaché scientifique

A TOKYO

à l'Ambassade de France

S. Exc. M. Jean-Bernard OUVRIEU, Ambassadeur de France

M. Jean-François STUYCK-TAILLANDIER, Conseiller scientifique

M. Robert CAPITANI, Conseiller nucléaire

M. Michel DEJAEGHER, Consul

M. Kaname KAMADA, Sénateur, Président de la Commission spéciale sur les catastrophes de la Chambre des Conseillers

M. Hiroyuki MITA, chercheur, Conseiller de la Commission de la Construction de la Chambre des Conseillers

M. Kazuhiro YAMAUCHI, assistant du Directeur de la Commission spéciale sur les catastrophes de la Chambre des Conseillers

M. Daikichi ISHIBASHI, Député, Président de la Commission spéciale sur les catastrophes de la Chambre des Représentants

M. Hajime SUGITA, chercheur

M. Hideaki YOSHIZAWA, assistant du Directeur de la Commission spéciale sur les catastrophes de la Chambre des Représentants

à l'Agence des Sciences et Techniques

M. Kohji YAMASHITA, Directeur de la section "Disaster Prevention Research"

au Ministère de la Construction

M. Asao YAMAKAWA, Directeur de la Division des affaires internationales et du Bureau des Affaires économiques

M. Hiroshi KANEKO, Directeur adjoint du "Building Guidance Division, Housing Bureau"

M. Kouichi KOSHIUMI, Directeur adjoint du "Building Guidance Division, Housing Bureau"

M. Tomohiro YOSHIKAWA, Directeur adjoint du "Slope Conservation Division, Erosion and Sediment Control Department, River Bureau"

à l'Université de Tokyo

M. le Professeur Yoshio FUKAO, Directeur de l'"Earthquake Research Institute"

M. Teruyuki KATO, Professeur associé au "Earthquake Research Institute"

M. le Professeur Tsuneo KATAYAMA, Directeur de l'"International Center for Disaster-Mitigation Engineering" de l'Institut des Sciences industrielles.

au "National Land Agency" (Cabinet du Premier Ministre)

M. Tomomitsu FUJII, Directeur du "Earthquake Disaster Counter Measures Division, Disaster Prevention Bureau"

M. Katsuhiko HARA, adjoint du Directeur

M. le Professeur Kiyou MOGI, Président du "Coordinating Committee for Earthquake Prediction" et Chairman du "Prediction Council for the Area Intensified Measures Against Earthquake Disaster"

au "Japon Meteorological Agency"

Dr. Masaro SAIKI, Directeur adjoint des Affaires internationales

Dr. Nobuo HAMADA, Chef du service volcans du "Seismological and Volcanological Department"

M. Noritake NISHIDE, Adjoint au chef du service volcans du "Seismological and Volcanological Department"

au Centre de secours d'Azabu

M. Moriyuki HIRAYANAGI, Chef du centre de secours

Captain Isamu OHTSUKA, chargé de l'information de la population

M. Sadao SUMI, adjoint au chef de centre

A KYOTO

à l'Université de Kyoto

M. le Professeur Torao TANAKA, Directeur du "Disaster Prevention Research Institute"

M. Kyoji SASSA, Professeur au "Disaster Prevention Research Institute"

EN GRECE du 14 au 16 décembre 1994

M. Dominique LE MASNE, Conseiller scientifique

M. Philippe BRAULT, Attaché scientifique

A ATHENES

à l'Ambassade de France

M. BASTELICA, Premier Conseiller

Mme MUSSO, Conseiller culturel, scientifique et de coopération

au ministère des travaux publics

M. Costas GEITONAS, Ministre délégué de l'Environnement, de l'Aménagement du Territoire et des Travaux Publics

M. le Professeur PAPANICOLAOU, Président de l'Office de prévision et de prévention des séismes (OASP)

M. IOANNIDIS, Directeur de l'OASP

M. KOTSONIS, Directeur au ministère des travaux publics

à l'Université d'Athènes

M. P. VAROTSOS, Directeur du département de physique des solides de l'Université d'Athènes

M. Vassilios HADJICONTIS, Professeur au département de physique des solides de l'Université d'Athènes

à l'Observatoire d'Athènes

M. STAVRAKARIS, Directeur

à l'Université Polytechnique d'Athènes

M. le Professeur G. VEIS, Président du Conseil scientifique de l'Observatoire d'Athènes

M. Panayotis CARYDIS, Directeur du Laboratoire de Génie parasismique de l'Université Polytechnique d'Athènes

Mlle Sylvie GRUSZOW, chercheur de l'IPG Paris et Université d'Athènes, Département de Géologie, Division de Géophysique et Géothermie

ANNEXE 2

LISTE DES CANTONS EN ZONE SISMIQUE

Annexe au décret 91-461 du 14 mai 1991
relatif à la prévention du risque sismique

Répartition des départements, des arrondissements et des cantons
entre les cinq zones de sismicité
(Journal Officiel du 17 mai 1991)

Répartition des départements, des arrondissements et des cantons
entre les cinq zones de sismicité

Cette liste est conforme au code officiel géographique édité par l'Institut national de la statistique et des études économiques et mis à jour au 1^{er} janvier 1989.

L'appartenance d'un site donné à une zone sismique est déterminée par l'appartenance de ce site à un département, à un arrondissement ou à un canton, par référence au découpage administratif valable le 1^{er} janvier 1989, quelles que puissent être les modifications ultérieures de ce découpage.

DÉPARTEMENTS MÉTROPOLITAINS

DÉPARTEMENTS (arrondissements)	CANTONS			
	Zone II	Zone I B	Zone I A	Zone 0
01 - Ain Arrondissement de Belley Arrondissement de Bourg-en-Bresse Arrondissement de Gex Arrondissement de Nantua		Belley, Champagne-en-Vaïromay, Sayssel, Virieu-le-Grand. En totalité. Bellegarde-sur-Vaisenne.	Hauteville-Lompnes, Lhuis, Saint-Rambert-en-Bugey. Brenod, Nantua, Oyonnax (tous les cantons).	Les autres cantons. En totalité. Les autres cantons.
02 - Aisne				La totalité du département.
03 - Allier				La totalité du département.
04 - Alpes-de-Haute-Provence Arrondissement de Barcelonnette Arrondissement de Castellane Arrondissement de Digne Arrondissement de Forcalquier	Entrevaux. Les Mées, Valensole. Manosque (tous les cantons), Peyruis.	En totalité. Les autres cantons. Les autres cantons. Forcalquier, Reiffanne, Saint-Etienne, Sisteron, Turriers, Volonne.	Les autres cantons.	
05 - Hautes-Alpes Arrondissement de Briançon Arrondissement de Gap		Aiguilles, L'Argentière-la-Bessée, Briançon (tous les cantons), Guillestre. Clorges, Embrun, Savines-le-Lac.	Les autres cantons. La Bâtie-Neuve, Gap (tous les cantons), Laragne-Monteglin, Orcières, Ribiers, Tallard.	Les autres cantons.
06 - Alpes-Maritimes Arrondissement de Grasse Arrondissement de Nice	Cagnes-sur-Mer (tous les cantons), Carros, Coursegoules, Vence. En totalité.	Les autres cantons.		

DÉPARTEMENTS (arrondissements)	CANTONS			
	Zone II	Zone I B	Zone I A	Zone 0
07 - Ardèche Arrondissement de Largentière..... Arrondissement de Privas..... Arrondissement de Tournon.....			Bourg-Saint-Andéol, Rocheமாறு, Viviers.	En totalité. Les autres cantons. En totalité.
08 - Ardennes				La totalité du département.
09 - Ariège Arrondissement de Foix..... Arrondissement de Pamiers..... Arrondissement de Saint-Girons.....		Ax-les-Thermes, Les Cabannes, Qué- rigut, Tarascon-sur- Ariège, Vicdessos. Castillon-en-Couserans, Masset, Oust, Saint- Girons, Saint-Lizier.	Les autres cantons. La Mas-d'Azil, Varilhes. Les autres cantons.	Les autres cantons.
10 - Aube				La totalité du département.
11 - Aude Arrondissement de Carcassonne..... Arrondissement de Limoux..... Arrondissement de Narbonne.....		Axat. Tuchan.	Mouthoumet. Belcaire, Couiza, Quillan. Durban-Corbières, Sigean.	Les autres cantons. Les autres cantons. Les autres cantons.
12 - Aveyron				La totalité du département.
13 - Bouches-du-Rhône Arrondissement d'Aix-en-Provence..... Arrondissement d'Arles..... Arrondissement d'Istres..... Arrondissement de Marseille.....	Lambesc, Peyrolles-en- Provence, Salon-de- Provence.	Aix-en-Provence (tous les cantons), Trets. Eyguières, Orgon. Berre-l'Étang, Istres.	Les autres cantons. Arles (canton Est), Châ- teaurenard, Saint- Rémy-de-Provence, Martigues, Marignane, Roquevaire.	Les autres cantons. Les autres cantons. Les autres cantons.
14 - Calvados Arrondissement de Bayeux..... Arrondissement de Caen..... Arrondissement de Lisieux..... Arrondissement de Vire.....			Bourguebus, Bretteville- sur-Laize, Cabourg, Caen (tous les cantons), Creully, Douvres-la- Délivrande, Evrecy, Quistreham, Tilly-sur- Seules, Troarn.	En totalité. Les autres cantons. En totalité. En totalité.
15 - Cantal Arrondissement d'Aurillac..... Arrondissement de Mauriac..... Arrondissement de Saint-Flour.....			Massiac.	En totalité. En totalité. Les autres cantons.
16 - Charente				La totalité du département.
17 - Charente-Maritime Arrondissement de Jonzac..... Arrondissement de Rochefort..... Arrondissement de La Rochelle..... Arrondissement de Saintes..... Arrondissement de Saint-Jean-d'Angély.....			Le Château-d'Oléron, Marennes, Rochefort (tous les cantons), Saint-Agnant, Saint- Pierre-d'Oléron, La Tremblade.	En totalité. Les autres cantons. En totalité. En totalité. En totalité.
18 - Cher				La totalité du département.

DÉPARTEMENTS (arrondissements)	CANTONS			
	Zone II	Zone I B	Zone I A	Zone 0
19 - <i>Corrèze</i>				La totalité du département.
20 A - <i>Corse-du-Sud</i>				La totalité du département.
20 B - <i>Haute-Corse</i>				La totalité du département.
21. - <i>Côte-d'Or</i>				La totalité du département.
22. - <i>Côtes-d'Armor</i>				La totalité du département.
23. - <i>Creuse</i>				La totalité du département.
24. - <i>Dordogne</i>				La totalité du département.
25. - <i>Doubs</i> Arrondissement de Besançon Arrondissement de Montbéliard		Audincourt, Etupes, Hérimoncourt, Maiche, Montbéliard (tous les cantons), Pont-de-Roide, Saint- Hippolyte, Sochaux- Grand-Charmont, Valentigney.	Pierrefontaine-lès- Varans. Les autres cantons. Morteau, Mouches, Pon- tarlier.	Les autres cantons. Les autres cantons.
25. - <i>Drôme</i> Arrondissement de Die Arrondissement de Nyons Arrondissement de Valence		La Chapelle-en-Vercors. Pierrelatte, Saint-Paul- Trois-Châteaux. Montélimar (tous les cantons).	Châtillon-en-Diois, Die. Buis-les-Baronnies, Gri- gnan, Nyons. Dieulefit, Marsanna, Saint-Jean-de- Royans.	Les autres cantons. Les autres cantons. Les autres cantons.
27. - <i>Eure</i>				La totalité du département.
28. - <i>Eure-et-Loir</i>				La totalité du département.
29. - <i>Finistère</i>				La totalité du département.
30. - <i>Gard</i> Arrondissement d'Alès Arrondissement de Nîmes Arrondissement du Vigan			Bagnols-sur-Cèze, Pont- Saint-Espirit, Roque- maure, Villeneuve- lès-Avignon.	En totalité. Les autres cantons. En totalité.
31. - <i>Haute-Garonne</i> Arrondissement de Muret Arrondissement de Saint-Gaudens		Aspet, Bagnères-de- Luchon, Barbazan, Montréjeau, Saint- Beat.	Boulogne-sur-Gesse, Saint-Gaudens, Salies-du-Salat.	En totalité. Les autres cantons. En totalité.
32. - <i>Gers</i> Arrondissement d'Auch Arrondissement de Codom Arrondissement de Mirande			Masseube, Mielan.	En totalité. En totalité. Les autres cantons.
33. - <i>Gironde</i>				La totalité du département.

DÉPARTEMENTS (arrondissements)	CANTONS			
	Zone II	Zone I B	Zone I A	Zone 0
34. - <i>Hérault</i>				La totalité du département.
35. - <i>Ille-et-Vilaine</i>				La totalité du département.
36. - <i>Indre</i>				La totalité du département.
37. - <i>Indre-et-Loire</i> Arrondissement de Chinon Arrondissement de Tours Arrondissement de Loches			Chinon, L'Île-Bouchard, Richelieu, Sainte-Maure-de-Touraine.	Les autres ca: En totalité. En totalité.
38. - <i>Isère</i> Arrondissement de Grenoble		Allevard, Clavelles, Domène, Echirolles (tous les cantons), Eybens, Fontaine-Sassenage, Fontaine-Seysinet, Goncelin, Grenoble (tous les cantons), Meylan, Monestier-de-Clermont, La Mure, Rives, Saint-Egrève, Saint-Ismier, Saint-Laurent-du-Pont, Saint-Martin-d'Hères (tous les cantons), La Tourvet, Tullins, Vif, Villard-de-Lans, Ville, Voiron.	Le Bourg-d'Oisans, Corps, Mens, Pont-en-Royans, Saint-Etienne-de-Saint-Geoirs, Saint-Marcellin, Valbonnais, Vinay.	Les autres cantons.
Arrondissement de La Tour-du-Pin		Le Port-de-Beauvoisin, Saint-Geoirs-en-Valdaine, Virieu.	Bourgoin-Jallieu, Le Grand-Lemps, Morestel, La Tour-du-Pin.	Les autres cantons.
Arrondissement de Vienne				En totalité.
39. - <i>Jura</i> Arrondissement de Dole Arrondissement de Lons-le-Saunier Arrondissement de Saint-Claude			Les Bouchoux, Morez, Saint-Claude.	En totalité. En totalité. Les autres cantc
40. - <i>Landes</i>				La totalité du département.
41. - <i>Loir-et-Cher</i>				La totalité du département.
42. - <i>Loire</i>				La totalité du département.
43. - <i>Haute-Loire</i> Arrondissement de Brioude Arrondissement du Puy Arrondissement d'Yssingeaux			Blesle.	Les autres cantons. En totalité. En totalité.
44. - <i>Loire-Atlantique</i> Arrondissement de Châteaubriant Arrondissement de Nantes			Machecoul, Saint-Philbert-de-Grand-Lieu, Bourgneuf-en-Retz.	En totalité. Les autres cantons.
Arrondissement de Saint-Nazaire				Les autres cantons.
Arrondissement d'Ancenis				En totalité.
45. - <i>Loiret</i>				La totalité du département.
46. - <i>Lot</i>				La totalité du département.
47. - <i>Lot-et-Garonne</i>				La totalité du département.

DÉPARTEMENTS (arrondissements)	CANTONS			
	Zone II	Zone I B	Zone I A	Zone 0
48 - Lozère				La totalité du département.
49 - Maine-et-Loire				La totalité du département.
50 - Manche				La totalité du département.
51 - Marne				La totalité du département.
52 - Haute-Marne				La totalité du département.
53 - Mayenne				La totalité du département.
54 - Meurthe-et-Moselle				La totalité du département.
55 - Meuse				La totalité du département.
56 - Morbihan				La totalité du département.
57. - Moselle				La totalité du département.
58. - Nièvre				La totalité du département.
59. - Nord				La totalité du département.
60. - Oise				La totalité du département.
61. - Orne				La totalité du département.
62. - Pas-de-Calais				La totalité du département.
63. - Puy-de-Dôme Arrondissement d'Ambert Arrondissement de Clermont-Ferrand		Aubière, Beaumont, Chamalières, Clermont-Ferrand (tous les cantons), Coumon-d'Auvergne, Gerzat, Pont-du-Château, Royat, Saint-Amand-Tallende, Verteizon, Veyre-Monton.	Billom, Rochefort-Montagne, Saint-Dier-d'Auvergne, Vichy-Comte.	En totalité. Les autres cantons.
Arrondissement d'Issoire			Ardes, Besse-et-Saint-Anastaise, Champeix, Issoire, Saint-Germain-Lembron.	Les autres cantons.
Arrondissement de Riom		Ennezat, Riom (tous les cantons).	Aigueperse, Combronde, Manzat, Pontgibaud, Randan, Courpière, Lezoux, Meringues, Thiers.	Les autres cantons.
Arrondissement de Thiers				Les autres cantons.
64. - Pyrénées-Atlantiques Arrondissement de Bayonne			Iholdy, Saint-Etienne-de-Baigorry, Saint-Jean-Pied-de-Port, Mauléon-Licharre, Monein, Navarrenx.	Les autres cantons.
Arrondissement d'Oloron-Sainte-Marie	Arudy, Laruns.	Accous, Aramits, Lasseube, Oloron-Sainte-Marie (tous les cantons), Tardets-Sorholus.		Les autres cantons.
Arrondissement de Pau	Nay-Bourdettes (tous les cantons).	Jurançon, Pau (tous les cantons), Pontacq.	Billère, Lascar, Montaner, Morlaàs.	Les autres cantons.

DÉPARTEMENTS (arrondissements)	CANTONS			
	Zone II	Zone I B	Zone I A	Zone 0
65. - Hautes-Pyrénées				
Arrondissement d'Argelès-Gazost	Argelès-Gazost, Aucun, Lourdes (tous les cantons), Saint-Pé-de-Bigorre.	Les autres cantons.		
Arrondissement de Bagnères-de-Bigorre	Arreau, Bagnères-de-Bigorre, La Barthe-de-Neste, Campen.	Les autres cantons.		
Arrondissement de Tarbes		Aureilhan, Bordères-sur-l'Échez, Gaïen, Laloubère, Ossun, Pouyastruc, Séméc, Tarbes (tous les cantons), Tournay, Trie-sur-Baise.	Castelnau-Magnoac, Rabastens-de-Bigorre, Vic-en-Bigorre.	Les autres cantons.
66. - Pyrénées-Orientales				
Arrondissement de Céret	Arles-sur-Tech, Prats-de-Mollo-la-Preste.	Les autres cantons.		
Arrondissement de Perpignan		En totalité.		
Arrondissement de Prades	Mont-Louis, Olette, Saillagouse.	Les autres cantons.		
67. - Bas-Rhin				
Arrondissement d'Haguenau		Bischwiller.	Haguenau, Molsheim, Rosheim, Wasselonne.	Les autres cantons.
Arrondissement de Molsheim				Les autres cantons.
Arrondissement de Saverne			Les autres cantons.	En totalité.
Arrondissement de Sélestat-Erstein		Benfeld, Erstein, Marckolsheim.	Les autres cantons.	
Arrondissement de Strasbourg-Campagne		Bischheim, Brumath, Geispolsheim, Illkirch-Graffenstaden, Mundsheim, Schiltigheim.	Les autres cantons.	
Arrondissement de Wissembourg		Lauterbourg, Seltz.	Les autres cantons.	
Arrondissement de Strasbourg-Ville		En totalité.		
68. - Haut-Rhin				
Arrondissement d'Altkirch	Altkirch, Ferrette, Hirsingue.	Les autres cantons.		
Arrondissement de Colmar		En totalité.		
Arrondissement de Guebwiller		En totalité.		
Arrondissement de Mulhouse	Habsheim, Huningue, Sierentz.	Les autres cantons.		
Arrondissement de Ribeauvillé		Kaysersberg.	Les autres cantons.	
Arrondissement de Thann		En totalité.		
69. - Rhône				La totalité du département.
70. - Haute-Saône				
Arrondissement de Lure		Faucogney-et-la-Mer, Héricourt (tous les cantons).	Champagney, Lure (tous les cantons), Luxeuil-les-Bains, Mélissey, Saint-Loup-sur-Semouse, Saint-Sauveur, Villersexel.	Les autres cantons.
Arrondissement de Vesoul				En totalité.
71. - Saône-et-Loire				La totalité du département.
72. - Sarthe				La totalité du département.
73. - Savoie				
Arrondissement d'Albertville		Albertville (tous les cantons), Beaufort, Bourg-Saint-Maurice, Grésy-sur-Isère, Motiers, Ugine.	Les autres cantons.	
Arrondissement de Chambéry		En totalité.		
Arrondissement de Saint-Jean-de-Maurienne		Aigueballe, La Chambre, Saint-Jean-de-Maurienne.	Les autres cantons.	

DÉPARTEMENTS (arrondissements)	CANTONS			
	Zone II	Zone I B	Zone I A	Zone 0
74 - Haute-Savoie Arrondissement d'Annecy Arrondissement de Bonneville		En totalité. Bonneville, Chamonix-Mont-Blanc, Cluses, La Roche-sur-Foron, Saint-Gervais-les-Bains, Saint-Jeoire, Sallanches, Samoëns, Scionzier.	Les autres cantons.	
Arrondissement de Saint-Julien-en-Genevois Arrondissement de Thonon-les-Bains		En totalité. Douvaine.	Les autres cantons.	
75 - Paris				La totalité du département.
76 - Seine-Maritime				La totalité du département.
77 - Seine-et-Marne				La totalité du département.
78 - Yvelines				La totalité du département.
79 - Deux-Sèvres Arrondissement de Bressuire Arrondissement de Niort Arrondissement de Parthenay			Thouars (1 ^{er} canton). Airvaux, Parthenay, Saint-Loup-Lamairie.	Les autres cantons. En totalité. Les autres cantons.
80 - Somme				La totalité du département.
81 - Tarn				La totalité du département.
82 - Tarn-et-Garonne				La totalité du département.
83 - Var Arrondissement de Draguignan Arrondissement de Toulon Arrondissement de Brignoles		Comps-sur-Artuby. Aups, Rians.	Callas, Draguignan, Fayence, Fréjus, Saint-Raphaël, Salernes. Barjols, Saint-Maximile-Sainte-Beaume, Tavernes.	Les autres cantons. En totalité. Les autres cantons.
84 - Vaucluse Arrondissement d'Apt Arrondissement d'Avignon Arrondissement de Carpentras		Apt, Bonnieux, Cadenet, Cavailhon, Pertuis.	Les autres cantons. En totalité. En totalité.	
85 - Vendée Arrondissement de Fontenay-le-Comte Arrondissement de La Roche-sur-Yon Arrondissement des Sables-d'Olonne			Beauvoir-sur-Mer, Challans.	En totalité. En totalité. Les autres cantons.
86 - Vienne Arrondissement de Châtellerault Arrondissement de Montmorillon Arrondissement de Poitiers			Loudun, Moncontour, Les Trois-Moutiers.	Les autres cantons. En totalité. En totalité.
87 - Haute-Vienne				La totalité du département.
88 - Vosges Arrondissement d'Epinal Arrondissement de Neufchâteau Arrondissement de Saint-Dié		Plombières-les-Bains, Remiremont.	Bruyères, Epinal (tous les cantons), Saulxures-sur-Moselle, La Thiélot, Xertigny. Corcieux, Fraize, Gérardmer.	Les autres cantons. En totalité. Les autres cantons.

DÉPARTEMENTS (arrondissements)	CANTONS			
	Zone II	Zone I B	Zone I A	Zone 0
89 - Yonne				La totalité du département.
90 - territoire de Belfort		La totalité du département.		
91 - Essonne				La totalité du département.
92 - Hauts-de-Seine				La totalité du département.
93 - Seine-Saint-Denis				La totalité du département.
94 - Val-de-Marne				La totalité du département.
95 - Val-d'Oise				La totalité du département.

OUTRE-MER

	CANTONS				
	Zone III	Zone II	Zone I B	Zone I A	Zone 0
<i>Départements d'outre-mer</i>					
Guadeloupe.....	En totalité.				
Guyane.....	En totalité.				En totalité.
Martinique.....					En totalité.
Réunion.....					En totalité.
<i>Collectivités locales</i>					
Saint-Pierre-et-Miquelon.....					En to

ANNEXE 3

**ATLAS COMMUNAL DES RISQUES NATURELS
COMMUNE DE BOUILLANTE
GUADELOUPE**

**Extraits du document établi sur commande de la
Délégation aux Risques Majeurs du Ministère de l'Environnement**

**par la DDE de Guadeloupe
et le BRGM Antilles**

Seuls sont présentés ici les documents concernant les aléas sismique et mouvements de terrain. Les cartes de cet atlas sont toutes en couleurs, les nuances étant très difficilement reproductibles et le but de cette présentation n'étant que d'illustrer l'utilité d'un tel travail, j'ai choisi de ne présenter qu'une seule carte de l'aléa "mouvements de terrain".



AGENCE ANTILLES

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT
DELEGATION AUX RISQUES MAJEURS



DDE
GUADELOUPE

ATLAS COMMUNAL DES RISQUES NATURELS
COMMUNE DE BOUILLANTE
GUADELOUPE

Par O. SEDAN et M. TERRIER
Collaboration de F. MACIEJAK et F. DURAND

RAPPORT R 36 374 ANT 4S 92
Décembre 1992

SOMMAIRE

NOTICE GENERALE ET PRINCIPES DE CARTOGRAPHIE

- Introduction
- Aléa mouvements de terrain
- Aléa sismique
- Aléa volcanique
- Aléa cyclonique
- Aléa inondation

CARTES

- Cadre géographique
- Aléa mouvements de terrains: glissements, chutes de blocs, liquéfaction
- Aléa mouvements de terrains: embacles; Aléa cyclonique: marée de tempête, houles cycloniques
- Aléa sismique: effets de site
- Aléa sismique: failles actives
- Aléa inondation

SYNTHESE

INTRODUCTION

Du par sa situation géographique et géologique, l'archipel guadeloupéen est soumis à une large gamme de phénomènes naturels dangereux. En effet, sa position, en zone tropicale, l'expose au passage des cyclones, tempêtes et dépressions, responsables de dégâts liés au vent mais aussi à l'eau : inondations, marées de tempête, houles cycloniques.

Les fortes précipitations peuvent de plus générer ou déclencher des mouvements de terrain : glissements, éboulements, embâcles, coulées boueuses...

L'archipel guadeloupéen appartient à l'arc des petites Antilles, correspondant à une situation géodynamique particulière, résultant de l'affrontement de la plaque Amérique et de la plaque Caraïbes, la première plongeant sous la deuxième. Cette confrontation (subduction) est responsable d'une forte activité sismique et volcanique, dont les exemples historiques sont nombreux.

La Basse-Terre, entièrement constituée de roches volcaniques, est propice aux mouvements de terrain en raison de son fort relief, d'une pluviosité élevée et d'une altération importante des roches. La présence de la Soufrière, volcan actif, fait peser un risque important surtout dans la partie sud de l'île. L'aléa mouvements de terrain est plus faible aux Saintes et au niveau des îles du Nord, en raison d'une pluviosité plus réduite et d'un relief moins important. La Grande Terre et Marie Galante, constituées de plateaux calcaires d'origine récifale reposant sur un substratum volcanique ancien, présentent des reliefs émoussés. Si les phénomènes volcaniques (limités à des retombées de cendres et des émanations gazeuses) et de mouvements de terrain y sont moins à craindre, leur situation plus rapprochée de la zone d'affrontement des plaques y rend l'aléa sismique plus fort. C'est également le cas de la Désirade, constitué d'un vaste plateau calcaire reposant sur une ancienne croûte océanique constituée de niveaux volcaniques.

L'état, de par la loi du 22 juillet 1987 et du décret d'application du 13 octobre 1990, a pour obligation de porter à la connaissance du public, par l'intermédiaire des communes, l'ensemble des phénomènes naturels pouvant faire courir un risque aux biens et aux personnes. Cette information, essentiellement cartographique et élaborée à partir des connaissances scientifiques et techniques du moment, s'opère le plus souvent par l'annexion aux POS, au moment de leur réalisation ou de leur révision, d'un certain nombre de documents. Afin d'homogénéiser le contenu et la présentation de ce "porter à connaissance", il a été prévu de :

- réaliser pour chaque commune une série de cartes, accompagnées de légendes explicatives, précisant le niveau d'aléa pour des phénomènes donnés;
- réaliser une notice d'utilisation générale, valable pour l'ensemble des communes, comportant, pour chaque phénomène, une description de ce dernier, le type de dégât qu'il est susceptible d'occasionner, et l'explication du mode de représentation cartographique.

- aléa : probabilité d'apparition d'un phénomène dangereux d'une intensité donnée au cours d'une période donnée
- vulnérabilité : pourcentage de dommages occasionnés par un phénomène dangereux d'intensité donnée
- risque : "produit" des précédents : probabilité de perte (économique et humaines) occasionnée par un phénomène dangereux, au cours d'une période donnée.

ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN

Sous l'expression générique "Mouvements de terrain" sont regroupés des phénomènes variés, tels que :

- les glissements de terrain;
- les éboulements et chutes de blocs rocheux;
- les coulées de boue, laves torrentielles, embâcles;
- la liquéfaction des sols sous sollicitation sismique.

Chacun de ces phénomènes fait l'objet d'une description particulière et d'une cartographie adaptée de l'aléa qu'il représente.

ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN

GLISSEMENTS DE TERRAIN

Description du phénomène

C'est un phénomène affectant en général des roches "meubles", qui provoque le déplacement d'une masse de terrain sur une surface de rupture.

Lorsque l'ampleur du mouvement devient importante, on peut observer, à l'aval, une langue ou bourrelet de pied correspondant au volume de matière déplacée. La rupture se fait soit au sein d'un même matériau (rupture subcirculaire), soit selon un plan de contact préexistant (failles, fractures, contacts séparant deux formations de nature différente).

La vitesse d'un glissement est variable mais très généralement lente. Lorsque le phénomène prend une ampleur exceptionnelle, plusieurs dizaines d'hectares, on peut parler de glissement de versant.

L'apparition d'un glissement de terrain est le résultat de la conjonction de plusieurs facteurs dont certains sont pas ou peu variables dans le temps (nature du matériau, présence de plans de rupture préférentiels), tandis que d'autres (naturels ou anthropiques) peuvent être fortement évolutifs, tels la teneur en eau, la morphologie (érosion de berge, création de talus routier par exemple).

Lorsqu'un facteur subit une très forte variation dans un laps de temps très court, tels l'occurrence d'un séisme, une saturation brutale ou une érosion due à des précipitations exceptionnelles, on parle de facteur déclenchant du glissement.

La détermination d'un niveau d'aléa passe donc par l'appréciation de l'ensemble de ces facteurs. Cette présomption est de plus confrontée à la présence (ou l'absence) de mouvements de terrain actuels ou passés, dont on a fait l'inventaire.

Parmi les principaux facteurs d'instabilité analysés en Guadeloupe, on peut citer :

- la pente des terrains et la morphologie ;
- la pluviosité, le drainage ;
- la nature, l'épaisseur, l'altération des différentes couches ;
- les facteurs liés à l'action de l'homme.

La sismicité est un facteur d'instabilité particulier qui a de fortes conséquences sur le déclenchement des glissements de terrain (effets induits).

L'analyse des séismes historiques montre que ceux-ci induisent une généralisation des phénomènes de glissement de terrain. Les phénomènes normalement de petite ampleur (chutes de blocs, glissements de sol superficiels, glissements rocheux) seront plus sensibles à une mobilisation sous séisme que les glissements rotationnels profonds, de grande ampleur.

L'analyse mécanique de la stabilité d'un versant sous action sismique (vibrations tridimensionnelles) est une question encore mal résolue à l'heure actuelle. La vibration sismique va en effet modifier un certain nombre de facteurs difficiles à prendre en compte : orientation de la pesanteur ("pseudo-pente"), pressions interstitielles, modification des caractéristiques mécaniques des terrains.

Cartographie de l'aléa

L'aléa glissements de terrain a été cartographié en quatre niveaux, résultant d'une combinaison "naturaliste" entre la fréquence des phénomènes (leur probabilité d'apparition) et leur ampleur potentielle.

Niveau 1

La probabilité d'apparition de mouvements de terrain est très faible à nulle.

Ce niveau correspond souvent aux zones de pentes faibles à nulles.

Niveau 2

La probabilité d'apparition de mouvements de terrain de faible ampleur est faible à moyenne, elle peut devenir forte sous action humaine (routes, terrassements). La probabilité d'apparition de mouvements de grande ampleur est très faible à nulle.

La pente est moyenne à forte (10 - 30°), l'altération profonde. Il existe quelques indices de mouvements supposés ou connus.

Niveau 3

La probabilité d'apparition de mouvements de terrain de faible ampleur est importante; toutefois, la probabilité d'apparition de mouvements de grande ampleur reste faible.

La pente est forte à très forte (supérieure à 30°), les zones sont localisées sur les flancs des vallées très encaissées, les fronts de coulées récentes, les dômes et cônes volcaniques, quelquefois au niveau du bord de mer. Les indices d'instabilité sont connus et nombreux.

Niveau 4

Ce niveau, présentant le degré d'aléa maximum, correspond à une probabilité forte d'apparition de glissements de grande ampleur.

Ce niveau d'aléa est attribué généralement aux zones présentant des indices connus de glissements de versant, qui peuvent être actifs, ou aux édifices volcaniques dont l'instabilité est historiquement reconnue.

L'étude des grands glissements montre toutefois que les facteurs déterminants de tels phénomènes sont peu accessibles et que, dans certains cas, leur présomption d'apparition serait restée faible avant leur déclenchement. C'est pour cela que le niveau 3 n'exclut pas totalement l'apparition de tels phénomènes.

Influence d'une sollicitation sismique

La carte de l'aléa glissements de terrain présente, en surimposition aux niveaux précédemment définis de l'aléa, les extensions éventuelles des différents niveaux sous sollicitation sismique.

- le niveau 1 reste inchangé ;
- le niveau 2 peut soit recéler des formations dont les caractéristiques mécaniques vont diminuer pendant le séisme, soit présenter des zones de pente forte qui sous l'action sismique peuvent devenir à "pseudo-pente" "très forte". Dans ces zones, la probabilité d'apparition de mouvements de faible ampleur devient importante. Ces zones de niveau 2 passent alors au niveau 3 en conditions dynamiques ;
- Le niveau 3 reste inchangé. La probabilité de glissement de faible ampleur est toujours forte. Toutefois, leur généralisation peut bouleverser le paysage, d'une manière équivalente à un mouvement de grande ampleur. Rien ne permet par contre de distinguer des sous-zones où la probabilité d'apparition de glissements de grande ampleur serait plus forte ;
- Le niveau 4, maximal, reste inchangé.

ALÉA MOUVEMENTS DE TERRAIN

ÉBOULEMENTS ET CHUTES DE BLOCS ROCHEUX

Description du phénomène

Les éboulements mobilisent des blocs de roches plus ou moins homogènes situés au sommet ou sur une pente. Pour que ce phénomène puisse se produire, un certain nombre de conditions doit être réuni :

- existence de blocs :

- * au sein d'une formation massive fracturée ou fissurée ;
- * au sein d'une formation hétérogène présentant une matrice meuble à grains fins.

- mobilisation possible des blocs :

- * topographie en falaise ;
- * orientation des blocs favorable ;
- * présence éventuelle d'une formation sous-jacente plus meuble, déformable ou érodable ;
- * action mécanique de l'eau.

L'ampleur du phénomène est lié d'une part à la quantité et au volume des blocs mobilisables, d'autre part, à la surface et à la topographie de l'aire de réception des blocs éboulés.

Des blocs déjà éboulés, stoppés dans les parties de l'aire de réception présentant une pente forte, peuvent être remobilisés par un déchaussement provoqué par l'érosion ou par une sollicitation sismique.

La sollicitation sismique semble agir sur le phénomène à deux niveaux :

- en généralisant la mobilisation des blocs instables ;
- en élargissant l'aire de réception, les blocs pouvant parcourir un trajet plus important.

Cartographie de l'aléa

Elle consiste à délimiter les zones d'émission et de réception des blocs, en leur affectant un niveau d'aléa. Celui-ci sera fonction du nombre de blocs, de leur taille, de leur état d'instabilité, etc..., mais indépendant de la surface de l'aire de réception.

On distingue 3 niveaux :

- faible à nul (non cartographié) ;
- moyen ;
- fort.

Il n'a pas été fait de distinction entre aire de réception sans ou avec sollicitation sismique. En effet, la délimitation de cette zone se base essentiellement sur l'observation de la position des blocs déjà éboulés, sans que l'on puisse distinguer les blocs éboulés lors d'un séisme des autres.

La présence de nombreuses configurations de terrain potentiellement dangereuses et nées de l'action humaine, comme les carrières (particulièrement en Grande Terre) ou les talus routiers, peut conduire pour certaines communes à faire la distinction entre les pentes abruptes d'origine naturelle et artificielle.

Pour d'autres communes, la superposition très fréquente des zones d'aires de réception de blocs et des zones exposées au risque de glissement de terrain a conduit à regrouper les deux aléas sous le terme de "Mouvements de terrain", en sachant toutefois que les phénomènes d'embâcles et de liquéfaction, vu leur spécificité, font l'objet d'une cartographie séparée.

ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN

EMBACLES, COULEES BOUEUSES, LAVES TORRENTIELLES

Description du phénomène

Lorsqu'un glissement de terrain provoque l'obstruction du lit d'un cours d'eau par un certain volume de matériaux, deux grands types de phénomène peuvent se produire :

- 1) La morphologie du cours d'eau (pente, section) et les volumes de matériaux glissés ou éboulés ne permettent pas la constitution d'une retenue d'eau significative. Dans ce cas, il y a une simple modification morphologique provisoire du cours d'eau (profil en long), celui-ci retrouvant rapidement son profil initial par érosion de la masse glissée. Pourront alors apparaître des écoulements de type coulée boueuse ou lave torrentielle dont le pouvoir destructeur est plus important qu'une crue équivalente.

Les laves torrentielles et coulées boueuses peuvent de plus se produire lors de précipitations très importantes et brutales dans la partie supérieure des bassins versants. Le pouvoir érosif de la crue des cours d'eau sera alors extrême.

Un cas particulier de coulée boueuse est celui des lahars, liés à une crise volcanique, qui correspondent à une mobilisation par les cours d'eaux à partir des pentes supérieures du volcan de matériel d'origine primaire (cendres, blocs) et/ou secondaire (matériel altéré).

- 2) Lorsque la morphologie du cours d'eau et les volumes de matériaux glissés ou éboulés permettent la constitution d'une digue naturelle et d'une retenue d'eau importante, il y a risque d'embâcle. Cette digue peut se voir renforcée par les éléments solides charriés par le cours d'eau et arrachés en amont (troncs d'arbres par exemple). A terme, la lame d'eau déversante, les infiltrations au sein de la masse obstruant le cours d'eau, provoqueront une érosion de la digue et sa rupture brutale. Il s'en suivra la propagation d'une onde de crue (eau chargée) d'autant plus importante que le volume de la retenue et la hauteur de la digue seront importants. Le pouvoir destructeur est amplifié par rapport au cas précédent.

De tels phénomènes se sont produits en Guadeloupe en particulier à la suite des désordres provoqués par le séisme destructeur de 1843.

Cartographie de l'aléa

L'aléa coulée boueuse existe le long d'une rivière lorsque :

- son bassin versant présente une partie sommitale suffisamment vaste dans des zones à fortes pentes ;
- elle traverse des zones présentant un aléa important de glissement de terrain.

L'éventualité de la formation d'embâcle nécessite de plus, le long du cours d'eau, des zones présentant à la fois des caractéristiques morphologiques telles qu'une retenue puisse se former (étranglement au niveau de la digue) et un risque important de glissement (situé en général dans la partie moyenne du bassin versant).

En raison même du nombre et de la variabilité des paramètres, il est particulièrement difficile de caractériser le niveau d'aléa. Lorsque le phénomène présente une probabilité d'occurrence a priori non négligeable, il est signalé.

La détermination de la largeur de la zone située de part et d'autre du cours d'eau, affectée par une embâcle est très difficile, le volume de matériaux, donc de la retenue naturelle, étant inconnu.

Nous avons pris le parti de l'assimiler au lit majeur du cours d'eau, tout en prenant en compte que l'étalement dans les zones basses des plaines alluviales favorise l'amortissement des ondes de crue.

ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN

LIQUEFACTION

Description du phénomène

La liquéfaction est un phénomène qui peut se produire sous sollicitation sismique et concerne certaines formations géologiques : sables, limons ou sables vaseux, quelquefois des vases, saturés d'eau et peu compacts.

La granulométrie est uniforme et le diamètre moyen des grains oscille entre 0,05 et 1,5 mm. La formation doit de plus être saturée en eau.

Le passage d'une onde sismique peut provoquer une déstructuration brutale du matériau avec remontée éventuelle des sols liquéfiés en surface, rendant particulièrement instables les constructions reposant sur ces formations.

Ces phénomènes se sont largement produits dans le passé en Guadeloupe, particulièrement lors du séisme de 1843.

Deux approches sont possibles et complémentaires pour délimiter les zones liquéfiables.

La première consiste à faire l'inventaire et la délimitation des zones qui se sont déjà liquéfiées dans le passé.

La seconde repose sur l'analyse des coupes de sondages et essais géotechniques disponibles qui peuvent fournir des indications sur les critères permettant d'identifier les formations géologiques liquéfiables.

Cartographie de l'aléa

Deux zones ont été délimitées sur les cartes d'aléa :

- Les zones où existent des formations liquéfiables :

Il s'agit des zones où l'on a la quasi-certitude que ces phénomènes se produiront lors d'un séisme de magnitude importante :

- * soit parce qu'elles se sont déjà liquéfiées dans le passé,
- * soit parce qu'elles renferment des formations liquéfiables affleurantes ou identifiées par sondage.

- Les zones où peuvent exister des formations liquéfiables :

Ce sont des zones où le mode de mise en place des matériaux peut laisser penser que le sous-sol renferme de telles formations. Cette présence peut être confirmée ou infirmée par des sondages.

ALEA SISMIQUE

Les effets destructeurs d'un séisme sont de deux catégories. Les effets directs concernent les déformations liées aux vibrations résultant du passage des ondes et les éventuelles ruptures à la source du tremblement de terre.

L'ensemble des mouvements de terrain pouvant être provoqués par un séisme, tels que glissements, chutes de blocs, liquéfaction est appelé effets induits. Ceux-ci ont été présentés dans le précédent chapitre "Aléa Mouvements de terrain".

Si les effets directs possibles d'un séisme s'analysent au préalable de manière régionale, des particularités locales peuvent modifier de manière significative ces effets :

- D'une part, la configuration (topographie, géologie) du terrain peut modifier les valeurs du signal vibratoire (amplitude, fréquence). On parle alors d'effet de site.
- D'autre part, des déformations du sol particulières peuvent se produire au voisinage des failles, si celles-ci participent à la génération du séisme. De telles failles sismogènes sont appelées failles actives.

ALEA SISMIQUE

EFFETS DE SITE

Description du phénomène

Les irrégularités de la surface topographique et la présence de couches souterraines de nature et de géométrie variable, conduisent à modifier, parfois profondément, les caractéristiques des vibrations du sol. Des amplifications de ces vibrations peuvent se produire alors au niveau de sites défavorables.

La vibration sismique peut être assimilée à une addition de vibrations élémentaires possédant une fréquence et une amplitude propre. Les effets de site peuvent conduire à une amplification de certaines composantes seulement de ces vibrations, et à l'atténuation des autres.

Ces amplifications peuvent être plus pénalisantes pour certains bâtiments, possédant une hauteur (ou une structure) particulière, ou au contraire affecter une large gamme de constructions.

Deux grands ensembles d'effets de site peuvent être distingués.

- Les effets de site topographiques :

Les sommets des buttes, les crêtes allongées, les rebords de plateaux et de falaises sont souvent le siège d'amplifications importantes, intéressant une large gamme de constructions.

- Les effets de site liés à la structure et à la nature du sous-sol :

Les caractéristiques mécaniques de certaines formations superficielles, la géométrie de ces formations (empilement, remplissage de fond de vallée, contact tectonique ou stratigraphique) sont susceptibles de modifier le signal sismique.

Certaines catégories de bâtiments seront fortement sensibles à ces amplifications en fonction de leur nombre d'étage par exemple. Seule une étude détaillée permet d'évaluer ces effets de site.

Les experts ont déterminé un certain nombre de configurations topographiques ou du sous-sol simplifiées susceptibles de provoquer des effets de site.

La délimitation des zones sensibles aux effets de site se fait par une comparaison entre les données de terrain et ces configurations types.

Il existe, par ailleurs, des méthodes (méthodes instrumentales, méthodes théoriques ou numériques) qui permettent de quantifier les modifications apportées au signal et de tenir compte de l'effet de site dans le calcul des structures pour l'application des règles parasismiques.

Elles nécessitent soit une instrumentation assez longue et lourde, soit des reconnaissances géologiques et géotechniques détaillées du sous-sol qui ne peuvent être mises en oeuvre dans le cadre du "Porter à connaissance".

Cartographie de l'aléa

Deux types de zones sont délimités sur la carte de l'aléa :

- les zones où se produisent des effets de sites topographiques ;
- les zones où se produisent des effets de sites liés à la structure et à la nature du sous-sol.

ALEA SISMIQUE

FAILLES ACTIVES

Description du phénomène

En cas de séisme suffisamment fort et superficiel, la rupture sur un plan de faille ayant engendré le séisme peut se propager depuis le foyer jusqu'en surface du sol, occasionnant alors des déplacements et déformations importants. Le mouvement relatif des deux compartiments situés de part et d'autre de la faille pourrait atteindre, en certaines régions de la Guadeloupe plusieurs décimètres. Les ouvrages fondés sur ces failles ou à leur voisinage subiraient alors des désordres graves.

La reconnaissance des failles susceptibles d'engendrer des séismes majeurs repose sur divers critères liés à la sismicité et aux déformations géologiques récentes observées. L'identification des failles sismogènes (présentant une activité sismique) n'est certifiée que lorsque l'on dispose de localisations des foyers à l'aide d'un réseau d'enregistrement, suffisamment précises pour pouvoir être mises en relation indubitablement avec des structures géologiques connues. Ce n'est pas actuellement le cas en Guadeloupe. On ne peut donc s'appuyer que sur les preuves géologiques du rejeu récent de ces failles.

Le tracé précis de ces accidents peut souvent être masqué par certaines formations géologiques en surface du sol. Il faut avoir alors recours à des méthodes d'investigation plus lourdes (géophysique, sondages, tranchées,...) pour pouvoir l'établir. Ce type d'investigation sort du cadre des objectifs poursuivis par le présent "porter à connaissance".

Cartographie de l'aléa

N'ont été tracés sur les cartes que les accidents dont la réalité géologique est prouvée, le rejeu récent établi et le tracé connu avec suffisamment de précision pour autoriser un report à l'échelle du 1/10000 (c'est-à-dire avec une incertitude inférieure à quelques dizaines de mètres). La carte structurale régionale à 1/50000 permet cependant de repérer les failles susceptibles d'intéresser le territoire communal mais ne répondant pas, en l'état actuel des connaissances, aux critères précédents.

Pour les failles réparties à 1/10000, deux cas sont distingués :

- le tracé de la faille est établi avec une précision métrique à décamétrique à partir d'observations de terrain. Il est représenté en trait continu ;
- le tracé de la faille est extrapolé (ou interpolé) à partir (ou entre) des secteurs où il est bien établi, sans contrôle possible sur le terrain (zone urbanisée par exemple). Le segment correspondant est alors représenté par des tirets, traduisant une incertitude de localisation dont l'ordre de grandeur dépend des conditions locales.

Dans le contexte guadeloupéen, la probabilité d'observer à l'échelle de la durée de vie d'un ouvrage, des ruptures de surface sur le segment de faille particulier susceptible de l'affecter, est extrêmement faible. C'est pourquoi, dans la pratique, il peut ne pas en être tenu compte pour les ouvrages à risque normal de classe A et B⁽¹⁾. Par contre, pour les ouvrages à risque spécial⁽¹⁾, quelle que soit cette probabilité, les exigences de sûreté conduisent à éviter leur implantation au voisinage de tels accidents. Dans la mesure du possible, cette mesure doit être étendue aux ouvrages à risque normal de classes C et D⁽¹⁾ (conformément aux recommandations AFPS 90 qui la généralise à tous les bâtiments). La définition de la zone à neutraliser doit alors être envisagée au cas par cas, pour chaque faille considérée.

⁽¹⁾ selon la classification éternisée par le décret d'application n° 91-461 du 14 mai 1991, de la loi du 22 juillet 1987

((

**COMMUNE DE BOUILLANTE
CADRE GEOGRAPHIQUE**

La commune de Bouillante est située à l'Ouest de l'île de Basse-Terre. Elle couvre une superficie d'environ 44 km².

Sa position en côte sous le vent lui procure un climat sec au niveau du littoral, relatif climat d'abri qui contraste avec le climat d'hyper-humidité de la zone montagneuse située à l'Ouest. Les précipitations pluviométriques annuelles varient en effet de 1000 mm à 1250 mm au niveau du littoral, pour atteindre plus de 4000 mm au relief des Mamelles et plus de 4500 mm au Piton de Bouillante.

Le territoire communal est drainé dans les zones moyenne et haute altitude par un réseau hydrographique relativement dense. Au Nord de la commune, ce réseau alimente deux cours d'eau principaux : la rivière Bourceau (alimentée par les reliefs de Pitons de Bouillante) et la rivière Lostau (alimentée par les reliefs des Pitons de Bouillante et des Mamelles).

La partie orientale de la commune correspond à des zones relativement élevées (l'altitude du Piton de Bouillante est de 1088 m) ; la topographie y est caractérisée par des versants avec des pentes fortes et des ravines nombreuses et encaissées. Par contre, la moitié Ouest de la commune présente un relief relativement plus doux, aux pentes plus faibles.

C'est sur la partie occidentale qu'est localisé l'essentiel des activités humaines (zones urbaines, habitat rural, plantations, pâturages). Depuis le littoral jusqu'à la zone montagneuse interne, la végétation présente un étagement relativement régulier, fonction de l'altitude et corrélativement de la pluviosité. Elle est de type xérophile entre 0 m et 300 m environ (forêt tropicale sèche), puis de type mésophile entre 250 m et 500 m en moyenne, et enfin de type hygrophile pour les reliefs globalement supérieurs à 450 m d'altitude.

Sur la commune de Bouillante, les formations géologiques sont représentées pour l'essentiel par des dépôts volcaniques, soit de type coulées de laves massives, soit de type brèches pyroclastiques consolidées ou non consolidées.

Ces formations appartiennent à trois ensembles volcano-structuraux :

a) la chaîne axiale (ou l'ensemble Piton de Bouillante - Sans Toucher - Matéliane) qui est constituée par les massifs centraux de l'île. Le caractère effusif dominant a permis la mise en place de coulées massives articulées principalement autour de caldeiras. L'activité de cet ensemble est datée du Pléistocène.

b) la chaîne andésitique de Bouillante, située en bordure de la côte Caraïbe ; elle est formée par plusieurs petits appareils volcaniques au dynamisme éruptif essentiellement hydro-magmatique et alignés sur le flanc Ouest de la chaîne axiale ; le début de l'activité de la chaîne n'est pas connu, par contre la fin est datée à 150 000 BP par les premiers produits de la Soufrière. On note dans cette partie de l'île une activité hydrothermale de haute température.

c) la chaîne septentrionale, dans laquelle s'inscrit la région des Mamelles ; il s'agit de la chaîne la plus ancienne. Les Mamelles témoignent du dernier épisode volcanique connu de la chaîne ; il est daté à 1 million d'années environ et serait de nature dacitique. Le dernier ensemble ne couvre qu'une partie limitée de la commune de Bouillante.

La pédologie, conditionnée par le climat, la nature et l'âge relativement ancien des formations volcaniques se traduit depuis les zones côtières sèches jusqu'aux reliefs montagneux hyperhumides, par : des vertisols, des sols à montmorillonite et kaolinite, des sols ferralitiques compacts et enfin des sols ferralitiques friables dans les zones les plus hautes. L'ensemble de ces différents types de sols comporte une fraction argileuse importante.

La partie Ouest de la commune présente un habitat dense et regroupe l'essentiel des activités humaines ; elle fait l'objet d'une cartographie des aléas à grande échelle, 1/10000. Tandis que pour la partie Est, un zonage à plus petite échelle, 1/25000, permet une vue synthétique de l'extension des phénomènes.

GLISSEMENTS: *Les phénomènes sont localisés:*

- dans les zones de pentes moyennes à fortes, où l'altération est profonde. Les talus d'éboulls, les versants raides de certains mornes et les versants des rivières dans leur cours inférieur sont classés dans cette catégorie. Il s'agit d'un niveau d'aléa moyen (niveau 2).
- dans les zones de pentes fortes à très fortes, généralement localisées dans les flancs de vallées très encaissées, les crêtes escarpées de sommets, les zones de sous-sol de mauvaise tenue. Le niveau d'aléa est fort (niveau 3).

CHUTES DE BLOCS: *Ces phénomènes sont localisés au niveau de falaises d'origine naturelle ou anthropique.*

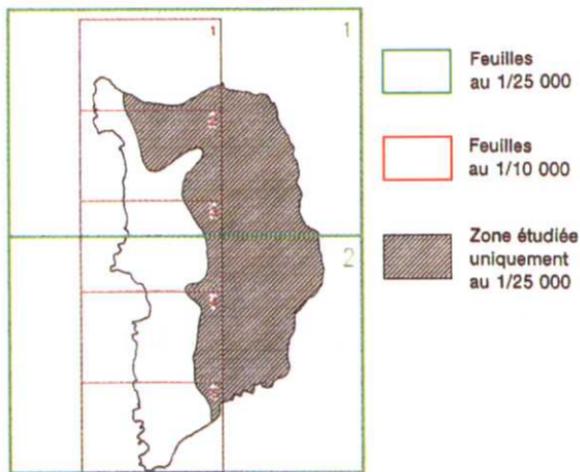
Pour les falaises supérieures à 10 mètres et/ou les falaises recoupant des formations peu compactes, le niveau d'aléa est fort.

LIQUEFACTION: *Les formations liquéfiables se localisent au niveau des plaines alluviales (lits majeurs des rivières, terrasses anciennes), les secteurs de plages cotières et de vases à palétuviers.*

ECHELLE 1/25 000

SITUATION

Aléas représentés



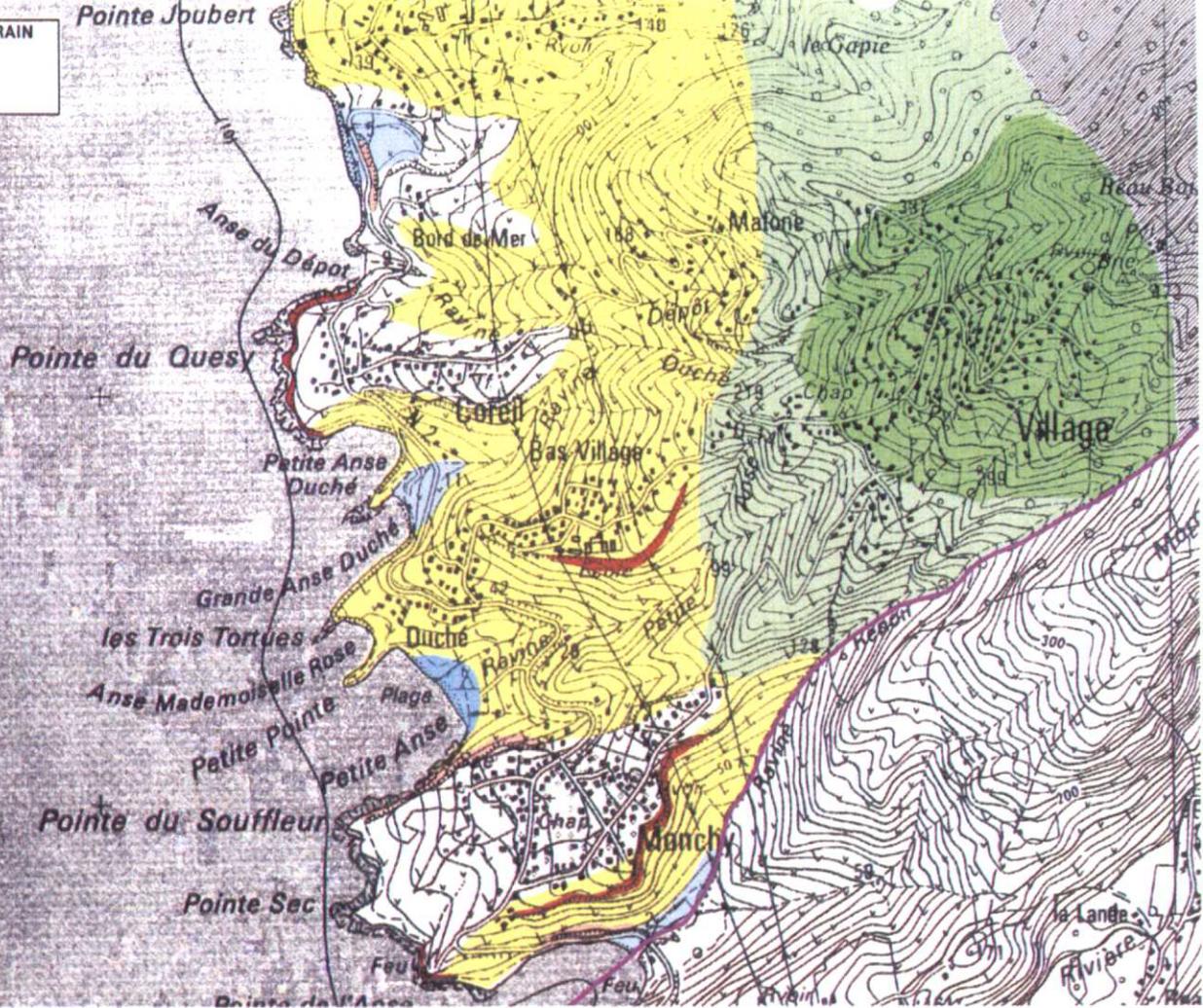
ECHELLE 1/10 000

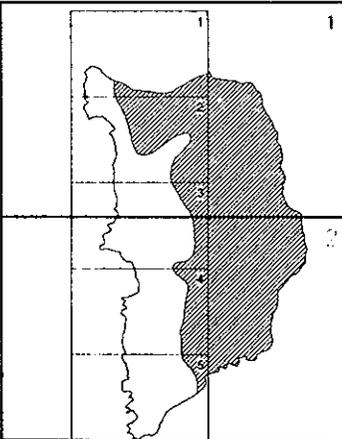
Aléas représentés

LEGENDE



ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN
BOUILLANTE - Feuille 5
Echelle 1/10 000
BRGM - R 36 374 ANT 45 92



BRGM R 36 374 ANT 4S 92	COMMUNE DE BOUILLANTE	ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN: EMBACLES
<p>EMBACLES:</p> <p><i>L'aléa existe pour les rivières de Bourceau, de Lostau et Colas. Celles-ci ont un bassin versant relativement important, elles traversent des zones étroites pouvant servir de vérou aux matériaux glissés chariés par le cours d'eau.</i></p> <p>MARÉES ET HOULES:</p> <p><i>Les marées de tempête et les houles cycloniques donnent lieu à des surcôtes marines.</i></p> <p><i>Au sein de la zone exposée, plus on se rapproche du rivage, plus l'aléa est important.</i></p>		ALEA CYCLONIQUE: MAREES DE TEMPETE, HOULES CYCLONIQUES
ECHELLE 1/25 000	SITUATION	LEGENDE
<i>Aléas représentés</i>	 <ul style="list-style-type: none">  Feuilles au 1/25 000  Feuilles au 1/10 000  Zone étudiée uniquement au 1/25 000 	<ul style="list-style-type: none">  Niveau d'aléa faible à nul  Embâcles: aléa présent  Zones exposées au déferlement des houles cycloniques les plus fortes  Zones exposées au déferlement des houles cycloniques et aux marées de tempêtes les plus fortes
ECHELLE 1/10 000		
<i>Aléas représentés</i>		

BRGM R 36 374 ANT 4S 92	COMMUNE DE BOUILLANTE	ALEA SISMIQUE
		EFFETS DE SITE

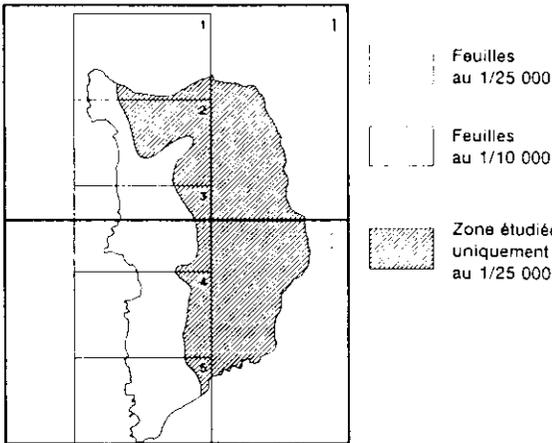
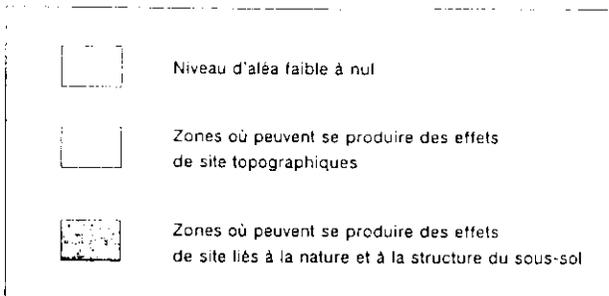
EFFETS DE SITE:

Effets topographiques:

Les phénomènes sont localisés au niveau des crêtes ou des versants présentant une pente relativement forte.

Effets liés au sous-sol:

Ils sont potentiellement présent au niveau des plaines alluviales (lits majeurs des rivières et terrasses anciennes), les secteurs de plages côtières et de vases à palétuviers.

ECHELLE 1/25 000	SITUATION	LEGENDE
<i>Aléa représenté</i>		
ECHELLE 1/10 000		
<i>Aléa représenté</i>		

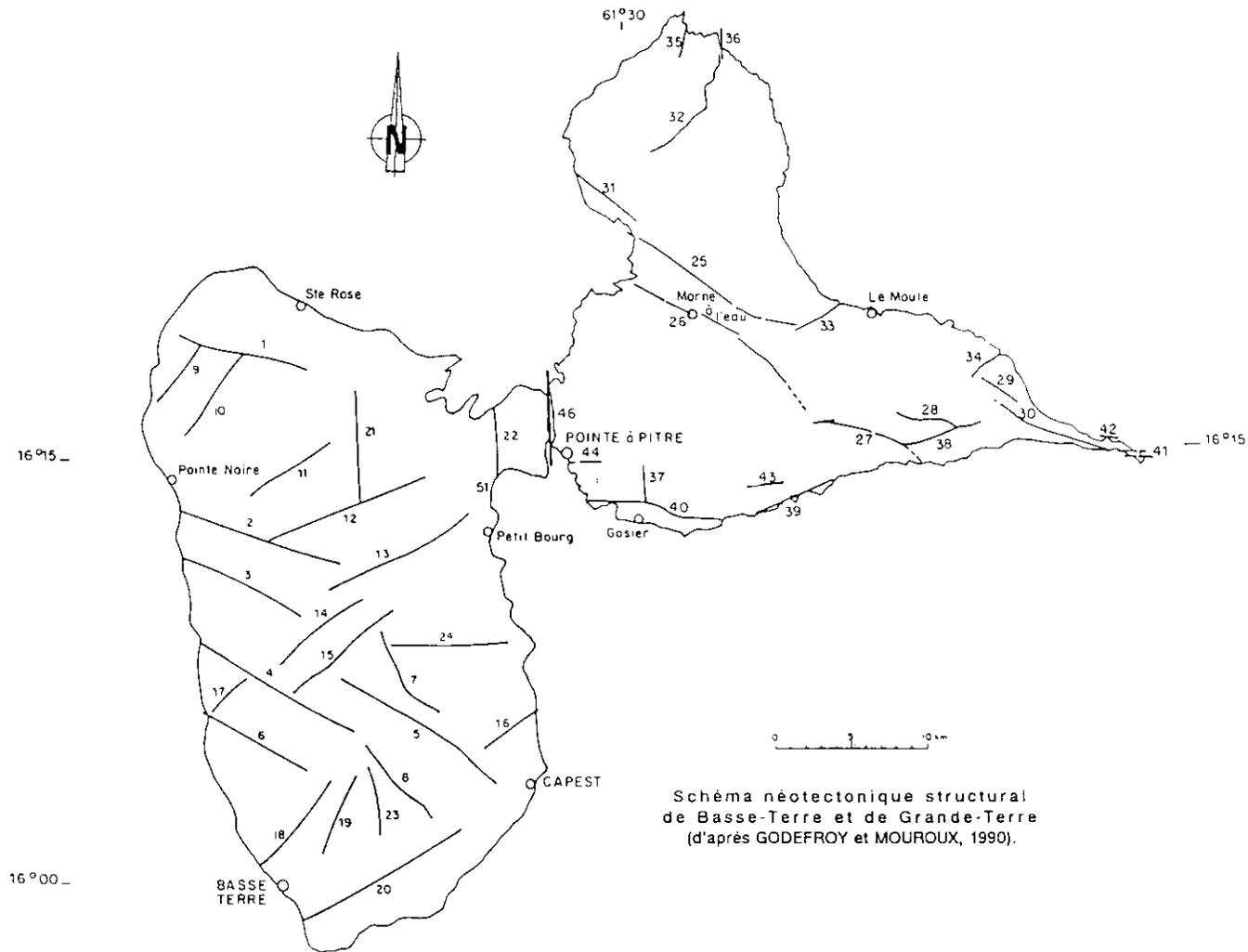


Schéma néotectonique structural
de Basse-Terre et de Grande-Terre
(d'après GODEFROY et MOUROUX, 1990).

Afin de préciser l'importance relative des différents phénomènes naturels pouvant affecter le territoire communal, nous avons été amenés à évaluer, de manière qualitative, des niveaux de risques. Cette évaluation a pour objectif d'intégrer la fréquence des phénomènes, leur intensité (ces deux composantes formant l'aléa), et la présence dans des zones vulnérables de ces aléas.

Des valeurs arbitraires sont attribuées à chacun de ces facteurs, avec la logique suivante:

<i>Fréquence:</i>	1	<i>très faible fréquence, inférieure à une fois par siècle.</i>
	2	<i>faible fréquence, environ deux fois par siècle.</i>
	3	<i>forte à moyenne fréquence, environ décennale.</i>
<i>Intensité:</i>	1	<i>phénomène ponctuel ou ayant relativement de faibles conséquences pour la vie humaine.</i>
	2	<i>phénomène pouvant occasionner des dégâts importants au bâti et mettant largement en péril la sécurité des personnes.</i>
	3	<i>phénomène catastrophique entraînant une destruction quasi-totale du bâti, fatal aux personnes présentes sur le lieu.</i>
<i>Présence de zones dangereuses</i>	0	<i>absence.</i>
	1	<i>ponctuelle.</i>
	2	<i>moyenne.</i>
	3	<i>majeure partie.</i>

Hors du bourg, on a tenu compte de la densité des constructions pour estimer la valeur de ce dernier paramètre.

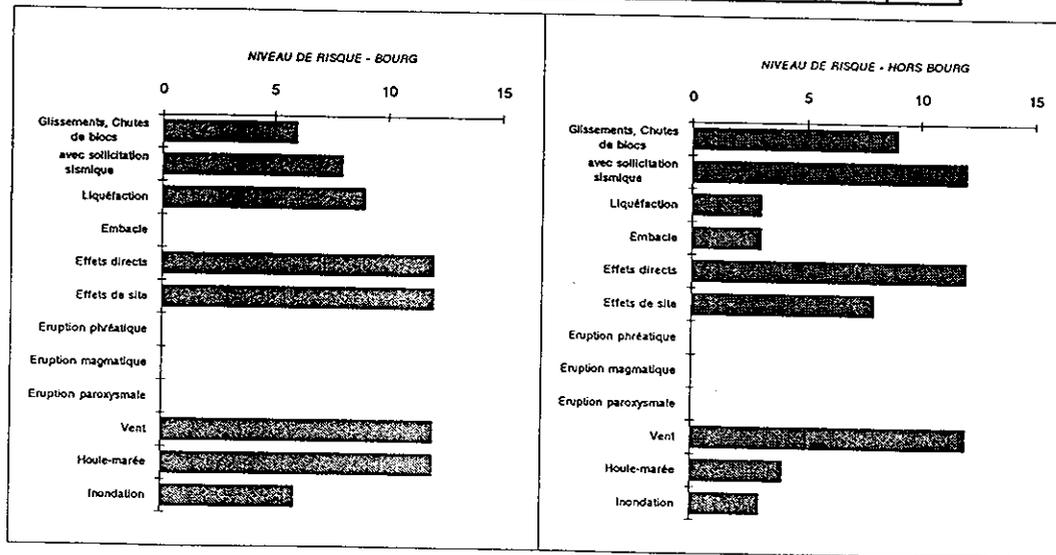
Le produit de la fréquence, de l'intensité et de la présence permet de calculer une valeur quantitative du niveau de risque, destinée cependant uniquement à comparer entre eux les différents risques.

L'ensemble des aléas analysés sur la commune ont été récapitulés. Nous avons ajouté deux phénomènes importants, n'ayant pas fait l'objet de cartes détaillées, car pouvant affecter globalement l'ensemble du territoire:

- les effets directs d'un séisme;
- les effets cycloniques liés aux vents.

COMMUNE DE BOUILLANTE

		fréquence	Intensité	PRESENCE		RISQUE	
				bourg	hors bourg	bourg	hors bourg
ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN	Glissements, Chutes de blocs	3	1	2	3	6	9
	avec sollicitation sismique	2	2	2	3	8	12
	Liquéfaction	1	3	3	1	9	3
	Embacle	1	3	0	1	0	3
ALEA SISMIQUE	Effets directs	2	2	3	3	12	12
	Effets de site	2	2	3	2	12	8
ALEA VOLCANIQUE	Eruption phréatique	2	2	0	0	0	0
	Eruption magmatique	1	3	0	0	0	0
	Eruption paroxysmale	1	3	0	0	0	0
ALEA CYCLONIQUE	Vent	2	2	3	3	12	12
	Houle-marée	2	2	3	1	12	4
ALEA INONDATION	Inondation	3	1	2	1	6	3



Au niveau du bourg, les niveaux de risques maximum sont liés aux effets directs des séismes et des cyclones. Les effets d'un séisme peuvent être localement aggravés par les phénomènes de liquéfaction, d'effet de site et de mouvement de terrain. La bande côtière semble particulièrement vulnérable aux houles et marées cycloniques. Le risque d'inondation est localement présent. Le risque volcanique est exclus.

Hors du bourg, on a constaté un accroissement du risque mouvements de terrain.

ANNEXE 4

**LISTE DES PERSONNES PRESENTES
A L'AUDITION PUBLIQUE
DU JEUDI 16 FEVRIER 1995**

Quels enseignements peut-on tirer du séisme de Kobe ?

**LISTE DES PERSONNES PRESENTES A L'AUDITION PUBLIQUE
DU JEUDI 16 FEVRIER 1995**

***QUELS ENSEIGNEMENTS PEUT-ON TIRER
DU SÉISME DE KOBE?***

1 - CONNAISSANCE DES SEISMES ET DU NIVEAU SISMIQUE

Connait-on suffisamment les séismes ? Peut-on prévoir un séisme ? Evaluation du niveau de l'aléa sismique. L'observation des séismes est-elle satisfaisante ? L'exemple du 14 décembre 1994 au Plateau des Glières : pouvait-on prédire ce séisme ? Le point sur la recherche et l'expérimentation de la méthode VAN.

- **M. Pascal BERNARD**, sismologue de l'Institut de Physique du Globe de Paris, CNRS-URA 195
- **M. Yves CARISTAN**, Chef du Laboratoire de Détection Géophysique du Commissariat à l'Energie Atomique
- **M. Armando CISTERNAS**, Physicien à l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg, CNRS-URA 1358
- **M. Denis HATZFELD**, Laboratoire de Géophysique interne de l'IRIGM Grenoble, responsable du projet accéléromètres, CNRS-URA 733
- **M. Jean-Louis LE MOUEL**, Directeur de l'IPGP, Membre de l'Académie des Sciences, Président du Comité français de la Décennie internationale de la prévention des catastrophes naturelles, CNRS-URA 729
- **M. Bagher MOHAMMADIOUN**, Chef du Bureau d'Évaluation des Risques Sismiques pour la Sûreté des Installations Nucléaires à l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire
- **M. Paul TAPPONNIER**, Directeur du Département de Tectonique de l'IPGP, CNRS-URA 1093
- **M. François THOUVENOT**, Laboratoire de Géophysique interne de l'IRIGM Grenoble, surveillance sismologique SISMALP, CNRS-URA 733

2 - LA PREVENTION DES SEISMES

Bilan de la mission de génie parasismique de retour de Kobe. La loi du 22 juillet 1987 et le décret du 14 mai 1991, ainsi que le bâti existant concernant les installations classées et nucléaires, les infrastructures de transport, les établissements à risque normal de classe D. L'application du microzonage sismique. Les normes européennes. L'information et la préparation des populations.

- la mission de l'Association Française de génie parasismique de retour de KOBE :

- . **M. Jean-Pierre MENEROUD**, Chef du groupe géologie-sols, risque sismique au Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement (CETE de Nice), chef de mission
- . **M. Jacques BETBEDER-MATIBET**, Conseiller scientifique EDF-SEPTEN,
- . **M. Jean-Pierre BIGER**, Bureau Veritas
- . **M. Claude BOUTIN**, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat
- . **Mme Laurence CRET**, SGN
- . **M. Thanh Son DUONG**, SOCOTEC Industrie
- . **M. Jean-Christophe GARIEL**, IPSN
- . **M. Samy ICHE**, IPSN
- . **M. Jean-François SIDANER**, Coyne et Bellier
- . **M. Murès ZAREA**, Gaz de France

et

- **M. Hubert BARATIN**, Service de l'environnement industriel
- **M. Pierre-Yves BARD**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, responsable du projet de microzonage sismique, CNRS-URA 733
- **M. Philippe BISCH**, Vice-Président du comité de rédaction de l'Eurocode 8
- **M. Pierre BOURRIER**, Directeur du développement Bâtiments et Travaux publics du groupe USINOR-SACILOR, membre de l'Earthquake Engineering Research Institute
- **M. François COGNÉ**, Inspecteur Général de la Sureté nucléaire du CEA
- **M. André COIN**, Directeur technique SAE
- **M. Claude COLLIN**, Directeur de l'Institut de Prévention et de Gestion des Risques urbains (IPGR)
- **M. Serge CONTAT**, Chef du Bureau Qualité et Prévention, Direction de l'Habitat et de la Construction
- **M. Gabor CZITROM**, Chargé risque sismique DRM
- **M. Victor DAVIDOVICI**, Direction technique SOCOTEC, Président d'honneur de l'AFPS
- **M. Jean-Louis DOURY**, Chef de la Division Stabilité des Structures au CSTB
- **M. Jacques GUELLEC**, Ingénieur général (Conseil Général des Ponts)
- **M. Martin KOLLER**, Conseiller technique de la mission suisse de sauvetage à Kobe, Membre de la Société suisse de génie parasismique et de la dynamique des structures (SGEB)
- **M. Philippe MASURE**, Chargé de mission Environnement et Risques du BRGM, Vice-président du Comité français de la DIPCN
- **M. Pierre MOUROUX**, Chef de projet Risque et génie sismiques du BRGM
- **M. Jean-Christophe NIEL**, Sous-Directeur à la Direction de la Sûreté des Installations Nucléaires (DSIN)

- **M. Alain PECKER**, Géodynamique et Structure, Président de l'AFPS
- **M. Jacques TANZI**, Ingénieur général (Conseil Général des Ponts)
- **M. Igino TONELLI**, Délégué adjoint aux Risques Majeurs

3 - LA GESTION DE LA CRISE

Le déblaiement, la recherche de survivants. La médecine de catastrophe. L'organisation des plans de secours est-elle bien adaptée ? La coopération européenne existe-t-elle ?

- **M. le Médecin en Chef Pierre CHEVALIER**, Directeur des études de l'École d'application du Service de Santé des Armées
- **M. Claude COLLIN**, Directeur de l'Institut de Prévention et de Gestion des Risques urbains (IPGR)
- **Capitaine DEMARET**, Chef du bureau Opérations de l'USC 1 de Nogent-le-Rotrou
- **M. le Médecin en Chef Laurent DOMANSKI**, DICA de l'USC 1 de Nogent-le-Rotrou
- **Lieutenant Colonel DUMONT**, Commandant en second de l'USC 1 de Nogent-le-Rotrou
- **Colonel Gérard GILARDO**, Chef du Bureau de la coordination opérationnelle, Direction de la Sécurité civile, Ministère de l'Intérieur
- **M. Jacques GUELLEC**, Ingénieur général (Conseil Général des Ponts)
- **Dr Patrick HIRTZ**, Chef de mission de "Médecins du Monde", Médecin Chef Adjoint au SDIS de la Marne
- **M. Martin KOLLER**, Conseiller technique de la mission suisse de sauvetage à Kobe, Membre de la Société suisse de génie parasismique et de la dynamique des structures (SGEB)
- **Dr Claude LAPANDRY**, Directeur médical du SAMU 93, Président de l'organisation mondiale des SAMU, professeur de médecine de catastrophes
- **Mme Bernadette de VANSSAY**, Sociologue, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales

10795 2017 010595 — Direction des Journaux Officiels. 26, rue Desaix — 75727 Cedex 15