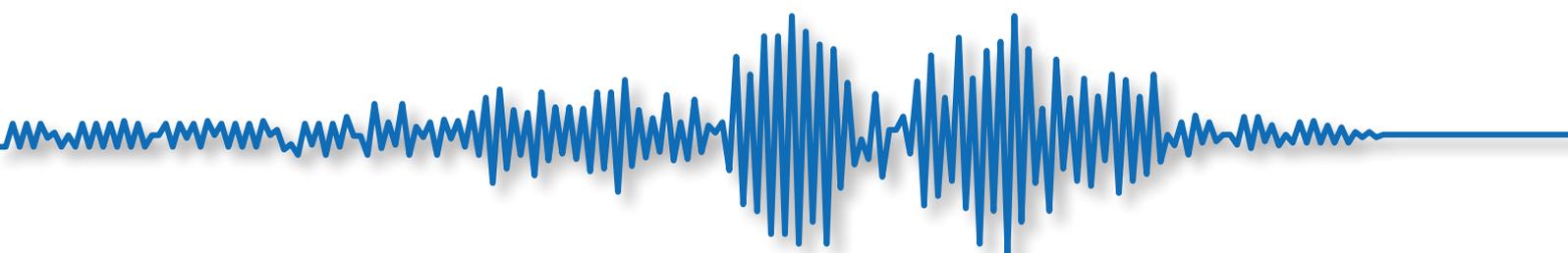




Institut des Sciences de la Terre

SECOUSSES SISMOIQUES :

OÙ EN EST LA SCIENCE ?



Dossier de presse - mercredi 13 avril 2011

Contact presse : natacha.cauchies@obs.ujf-grenoble.fr

SOMMAIRE

Dossier de presse

Programme de la Visite de Presse	3
Introduction - <i>“Secousses sismiques” : où en est la science ?</i>	4
Présentation institutionnelle - <i>Un observatoire : l’OSUG, un laboratoire : ISTerre, une équipe : GRCC</i>	5
Les recherches en sismologie à ISTerre : de la source sismique aux applications	6
Le risque sismique en Rhône-Alpes : points clés	7
L’implication d’ISTerre dans Richter 38 : l’observation géophysique	8
Retour sur les récents séismes : Japon, Nouvelle Zélande...	9
Intervention et matériel post-sismique	10
Contacts	11
Quelques visuels disponibles - <i>Témoignages sismiques et travaux sismologiques dans le monde et en Rhône-Alpes</i>	12- -13
Annexes : Dossier sur le risque sismique	14-
Le phénomène “séisme”	
L’aléa sismique en Rhône-Alpes : les sismicités historique et instrumentale les effets de site	
La réponse du bâti aux secousses : éviter la fatalité la réglementation parasismique l’application : la conception parasismique la vulnérabilité sismique	
La caractérisation des séismes : l’intensité macrosismique les magnitudes	
L’observation sismologique : les ondes sismiques les réseaux d’observation	
La prévention sismique : l’aléa sismique le zonage sismique	
Eclairages des sciences sociales sur la vulnérabilité sismique en France : l’observation des réactions post-sismiques les enquêtes de perception la vulnérabilité “sociale” les décisions parasismiques une discontinuité entre expertise, règles et actions l’urbanisme	
Pour en savoir plus : des ressources bibliographiques et webographiques.	-27

PROGRAMME

Visite de presse

Mercredi 13 avril 2011, à 10h30, à ISTerre

Domaine universitaire, Maison des Géosciences, 1381 rue de la piscine, 3840 Saint Martin d'Hères

10h30 : accueil-café

10h45 : Introduction par Philippe CARDIN, chercheur CNRS, directeur de l'Institut des Sciences de la Terre.

11h – 12h :

- **Les recherches en sismologie à ISTerre : de la source sismique aux applications**
Jean VIRIEUX, professeur UJF (Université Joseph Fourier)
- **Le risque sismique en Rhône-Alpes : points clés et idées reçues**
Pierre-Yves BARD, chercheur IFSTTAR (Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux)
- **L'implication d'ISTerre dans Richter 38 : l'observation géophysique**
Emmanuel CHALJUB, géophysicien OSUG (Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble)
- **Retour sur les récents séismes : Japon, Nouvelle Zélande...**
Anne PAUL, chercheur CNRS
- **Visite et démonstration des instruments sismiques**
Sandrine ROUSSEL, technicienne CNRS et Simon BAYLE, assistant-ingénieur CNRS

Echanges avec les journalistes – **Questions / réponses**

INTRODUCTION

Secousses sismiques : où en est la science ?

Secousses sismiques, secousses morales

Les tremblements de terre sont parmi les phénomènes naturels ceux qui, depuis longtemps, frappent le plus l'imagination de l'homme. En effet, ils sont brusques et soudains, et les victimes qu'ils causent en quelques instants peuvent se compter par milliers. Ils revêtirent longtemps un caractère plus mystérieux encore car ils ébranlaient la croyance innée de l'homme en la fixité de la terre; au XVIIIème siècle, l'origine des secousses sismiques reste encore un mystère: on parle d'êtres imaginaires remuants à l'intérieur de la terre, d'effondrement de gigantesques cavités souterraines, et les secousses de la terre sont naturellement considérées comme des punitions infligées par le ciel.

Même si aujourd'hui les origines physiques des tremblements de terre sont de mieux en mieux connues, la puissance des secousses étonne encore parfois. Aucune autre force naturelle ne peut en un temps aussi court provoquer autant de dommages et de victimes. Les exemples catastrophiques les plus contemporains, tels que les séismes d'Izmit (Turquie, 1999), de Kobe (Japon, 1995), de Boumerdès (Algérie, 2003), du Kashmir (Pakistan, 2005), du Sichuan (Chine, 2008), d'Haiti (janvier 2010), de Christchurch (Nouvelle Zélande, février 2011), de Sendai (Japon, 11 mars 2011) montrent la fragilité des environnements urbains face à la puissance destructrice de ces événements. Communiquer sur ces catastrophes et sur les risques telluriques est un "terrain mouvant", sensible pour les populations; un sujet complexe face auquel il convient de s'outiller pour informer au mieux les citoyens sur la compréhension de ces phénomènes.

Richter 38, une invitation à faire le point

Dans le cadre de l'exercice préfectoral de simulation sismique "Richter 38", les géophysiciens de l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble (OSUG) et les chercheurs de l'Institut des Sciences de la Terre (ISTerre) proposent une visite de

presse. Cette rencontre est l'occasion de faire le point sur les aléas, risques et catastrophes telluriques en Rhône-Alpes et dans le monde. Les interventions reviennent sur les enjeux de l'observation et de la recherche menée aujourd'hui sur la dynamique de la Terre, et notamment en sismologie.

En cas de catastrophes telluriques locales, l'OSUG et ISTerre se donnent pour mission d'informer au mieux les pouvoirs publics grâce à l'analyse des observations géophysiques. Les exemples récents ont démontré l'importance de cette information scientifique. L'événement sismique et l'observation post-sismique sont aussi étudiés pour améliorer nos connaissances et faire progresser nos méthodes de recherche.

De Richter 38 aux défis de la sismologie du début du XXIème siècle

Richter 38 est l'occasion de capitaliser sur les connaissances et les enseignements, mais aussi sur les prérequis pour aller au-delà. En effet, de grands défis attendent les sismologues du XXIème siècle, et pour lesquels les chercheurs d'ISTerre entendent contribuer à grand pas dès la prochaine décennie :

- la prédiction des séismes (localisation, taille, de manière probabiliste puis déterministe), et l'estimation des mouvements associés ;
- la construction d'un réseau national moderne d'instruments géophysiques (nouveaux équipements, nouveau centre de données, nouveaux logiciels) ;
- l'utilisation des ondes sismiques pour imager le sous-sol proche et profond, les ouvrages et leurs fondations (ressources naturelles, volcans, mouvements de terrains, stockages souterrains...) et faire un suivi temporel fin de leurs propriétés ;
- la quantification et la réduction de la vulnérabilité des sociétés (bâti, réseaux, sites sensibles) aux séismes, tsunamis, mouvements de terrains.

PRESENTATION INSTITUTIONNELLE

L'Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble

L'OSUG est un Observatoire des Sciences de l'Univers (OSU) et une école interne de l'Université Joseph Fourier - Grenoble 1.

Structure fédérative, l'Observatoire de Grenoble regroupe 6 laboratoires et 5

équipes de recherche associées, sous multi-tutelles (CNRS, UJF, IRD, UdS, IFSTTAR, G-INP, MétéoFrance). Fort de 840 agents et doctorants, l'OSUG oeuvre dans tous les domaines des Sciences de l'Univers, de la planète Terre et de l'Environnement: astrophysique, planétologie, géophysique, climatologie, hydrologie, glaciologie, écologie...

Accompagnant l'activité de recherche dans ces disciplines, une mission particulière de l'OSUG est la réalisation d'observations continues et systématiques de la Terre et de l'Univers, activité nécessaire pour la compréhension des phénomènes naturels et de l'impact de l'activité humaine. Ainsi, en réseau national au sein de l'INSU (Institut National des Sciences de l'Univers, CNRS) et en association avec d'autres instituts (institut Ecologie-Environnement du CNRS) et organismes de recherche nationaux et internationaux, les équipes développent des instruments d'observation (télescopes au sol et embarqués, réseaux de suivi sismologique, atmosphérique, hydrométéorologique...) ou de mesure en laboratoire (spectrométrie optique et X, bassins à houle...), en assurent l'utilisation via des campagnes ou en support à la communauté utilisatrice, gèrent de grandes bases de données et en réalisent la diffusion. L'OSUG assure la mise en oeuvre d'outils communs (centre de calcul, bases de données, systèmes d'information géographique, moyens géochimiques...) et de plateformes technologiques (hall d'intégration, plateformes Environalp, plateforme tournante Coriolis, caractérisation des micro-organismes MOME...) au service de la recherche et des missions d'observation.

Composante de l'UJF, l'Observatoire assure également la formation universitaire en Sciences de la Terre, de l'Univers et de l'Environnement, et contribue activement à la diffusion des connaissances au public dans ces disciplines.

L'Institut des Sciences de la Terre

Laboratoire membre de l'OSUG, ISTERre se concentre sur l'étude physique et chimique de la planète Terre. En couplant observations des objets naturels, expérimentations et modélisations des phénomènes complexes, l'institut étudie les grands systèmes - lithosphère, manteau et noyau terrestre - et processus actifs : sismique, volcanisme, géodynamo, formation



des chaînes de montagnes, érosion...

C'est l'un des fleurons de la recherche française en sciences de la Terre. Il réunit plus de 200 chercheurs et une cinquantaine d'ingénieurs et techniciens, ce qui fait de lui le second laboratoire CNRS de cette thématique en France. Une trentaine de thèses y sont soutenues chaque année. En particulier, la sismologie y a une place de choix puisque sont réunis des sismologues spécialistes de la source sismique, de la tomographie sismique et du risque sismique. Dans ce cadre, ISTERre a participé à l'élaboration des nouvelles normes parasismiques. Ces connaissances sont partagées avec les chercheurs des pays en voie de développement (Pérou, Liban, Algérie,...) dans le cadre des missions de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) auquel ISTERre appartient. Les chercheurs du laboratoire participent à la formation universitaire des étudiants (UJF, UdS) et tout particulièrement au moyen d'un Master de recherche européen Erasmus Mundus.

Le Groupe Risques, Crises & Catastrophes - laboratoire PACTE

Le groupe RCC du laboratoire PACTE est une équipe de recherche associée à l'OSUG. Il rassemble une dizaine de chercheurs en sciences sociales issus de plusieurs disciplines (géographie, sociologie, sciences politiques...) sur la problématique des risques et catastrophes associés à des phénomènes naturels. Les activités du groupe RCC relèvent de trois approches complémentaires des risques et catastrophes: l'analyse globale du risque, avec une entrée forte sur la vulnérabilité sociale (observation, évaluation, modélisation), qui intègre les représentations spatiales et cognitives du risque et qui se traduit également par des liens étroits avec les chercheurs en sciences de la Terre ; les logiques d'acteurs, la gouvernance du risque, la résilience, l'action publique constituent également des objets d'étude du groupe RCC ; la matérialisation du risque par la reconstitution de catastrophes, que ce soit au travers d'approches historiques, géomorphologiques, l'intégration de l'observation sociale dans les enquêtes post-crise et la participation à des retours d'expérience ; la réduction des risques, avec des liens forts entre recherche et opérationnel (diagnostics locaux...).

LES RECHERCHES EN SISMOLOGIE À ISTERRE : DE LA SOURCE SISMIQUE AUX APPLICATIONS

Géodynamique et sismicité

Les séismes surprennent par leur violence. Ils proviennent des mouvements des plaques tectoniques, morceaux rigides car froids à la surface de la Terre qui se déplacent au gré des mouvements convectifs de la machine thermique qu'est la Terre. La tectonique des plaques nous permet de comprendre le fonctionnement de cette machine.

Celle-ci nous dit donc que l'évolution des contacts entre plaques ne peut se faire que sur des millions d'années. On peut en déduire que, là où il y a eu des séismes, il y aura des séismes à l'échelle humaine. Il se pourrait qu'il y ait des séismes dans des régions non encore identifiées si l'activité sismique est faible.

Cette théorie nous renseigne également où auront lieu ces séismes : à ces fameux contacts, le long de failles dont la longueur permet d'estimer l'ampleur maximale des séismes possibles. Il est difficile de bien les cartographier et de distinguer celles qui sont actives. Cette difficulté vient d'une part de l'opacité de la Terre (difficile de voir à travers) et de la fenêtre de temps très réduite de notre observation de moins d'un siècle pour la partie instrumentale et de plusieurs siècles pour la partie historique, fenêtre que nous essayons d'agrandir par divers moyens.

Physique de la rupture sismique

La question de savoir quand aura lieu un événement sismique reste pour l'instant sans réponse. En effet, il nous faut comprendre d'une part le chargement mécanique du milieu autour de la faille et comment la rupture soudaine a lieu, rupture contrôlée par la faiblesse locale, dite cohésion, de la roche. Nous n'arrivons pas à observer d'une manière fine ce chargement ni les zones critiques où le seuil de rupture risque d'être atteint. Il est donc difficile de prévoir les tremblements de terre. Il reste la conviction, certains diront la croyance, qu'une zone atteignant le seuil critique est le siège de phénomènes annonciateurs de la rupture comme une variation rapide de la vitesse des ondes sismiques, une expulsion des fluides : nous essayons de les traquer mais, sans succès, jusque-là.

Cette rupture s'accompagne d'un glissement avec frottement dont nous essayons de cerner le comportement. Comment la rugosité entre les deux lèvres de la faille affecte ce glissement ? Que deviennent les roches au contact : sont-elles portées à

des températures de fusion ? Quelle est l'importance de la zone endommagée autour de la faille ? Bref, la physique de la rupture sismique est en train de nous livrer ses secrets à grand renfort d'observations, de modélisation et d'expériences de laboratoire.

Les ondes sismiques

Ce n'est pas le séisme qui tue mais les ondes. Y-a-t-il des séismes sans émission d'ondes ? Si oui, comment les observer ? Cela est possible grâce aux déplacements que l'on observe avec des instruments GPS donnant des précisions millimétriques de déplacement. Ces séismes silencieux retardent donc le futur séisme violent : il nous faut les étudier.

Heureusement, ces ondes qui tuent sont amorties avec la distance de propagation par rapport au foyer du séisme. Nous essayons de mieux caractériser le mouvement vibratoire du sol et son atténuation par différentes approches. Des effets de résonance peuvent malheureusement amplifier localement ce mouvement comme dans les bassins sédimentaires : ce sont les effets de site.

Vulnérabilité physique

Bien sûr, les conséquences de ces vibrations dépendront des structures humaines qui subissent ces vibrations. Comment pourront-elles résister à ces mouvements en dissipant l'énergie sismique sans dépasser un seuil de rupture ? La vulnérabilité du bâti est un élément clef concernant l'importance des dégâts et donc la probabilité de pertes de vies humaines. Il est donc essentiel de la caractériser, dans une optique de prévention.

Il est également possible de réaliser des systèmes d'écoute très réactifs pour un diagnostic temps quasi-réel (quelques secondes) afin de réaliser une meilleure protection aux effets des ondes grâce à une mise en sécurité active : c'est l'alerte précoce.

Sismologie

Les recherches souvent à caractère fondamental sont nombreuses pour mieux comprendre les séismes, les milieux traversés et les ondes qui se propagent. Elles ont une importance cruciale pour les enjeux de société dans un monde où la densité de population accroît dramatiquement notre vulnérabilité aux risques naturels. Les scientifiques sont directement concernés.

LE RISQUE SISMIQUE EN RHÔNE-ALPES : POINTS CLÉS

L'aléa en France et en Rhône-Alpes : aperçu général

L'aléa sismique en France métropolitaine en général, et en Rhône-Alpes en particulier, reste modéré ; il est la conséquence du rapprochement des plaques Africaine et Eurasienne et de la rotation de la péninsule italienne, qui peuvent faire rejouer des failles anciennes ou éloignées de la frontière des deux plaques. L'analyse des sismicités historique (sur environ 500 ans) et instrumentale (sur environ 50 ans, mais avec un fort gain en précision au cours des deux dernières décennies grâce à la densité du réseau Sismalp) indique un taux d'activité moyen de l'ordre d'un séisme de magnitude supérieure ou égale à 3,5 par an, et d'un séisme de magnitude supérieure ou égale à 4,5 tous les 10 ans. Cela conduit statistiquement à un séisme de magnitude 6 tous les quelques siècles.

C'est en considération de cette activité sismique "modérée" mais réelle, que l'ensemble de la région Rhône-Alpes est classé en zone sismique, de très faible (Z2, partie ouest), à faible (Z3) ou moyenne (Z4), dans le nouveau zonage sismique officiel, dont l'application est obligatoire à compter du 01/05/2011. Dans cette zone "Z4" orientée Sud-Ouest / Nord-Est, et allant du Vercors à Genève et au Mont-Blanc, l'aléa est considéré équivalent à celui des zones les plus sismiques des Pyrénées, de Provence, des Alpes Maritimes, et du sud de l'Alsace, tous touchés historiquement par des séismes de magnitude avoisinant 6 voire plus. Bien qu'aucun séisme de telle magnitude n'y soit connu (le plus fort est celui de Chamonix en 1905, de magnitude estimée à 5.7), le taux d'activité et le contexte tectonique rendent de tels événements parfaitement plausibles.

Il n'en reste pas moins que cet aléa et les niveaux associés sont très modestes comparés à des pays très sismiques comme la Californie, la Turquie, le Japon entre autres.

Un séisme, on ne peut rien y faire?

S'il est vrai qu'on ne peut (presque) rien faire pour réduire l'aléa, on peut par contre agir sur le risque en réduisant la vulnérabilité des enjeux exposés. C'est justement tout l'enjeu de la réglementation parasismique, qui permet de limiter la vulnérabilité physique des constructions pour des "surcoûts" minimes !

Il reste que la réglementation actuelle en France ne s'applique – en règle générale – qu'aux constructions neuves pour la catégorie "risque normal" (conséquences limitées à la structure même du bâtiment et à ses occupants). Le seul moyen réglementaire d'agir sur l'existant en France est l'utilisation des "PPRS" (Plans de Prévention des Risques naturels Sismiques). Sur le territoire

Le risque sismique résulte de la conjonction entre une "menace" naturelle, aussi appelée "aléa sismique", et l'existence de différents biens ou activités qui y sont exposés, et qui y sont plus ou moins vulnérables. L'estimation du risque nécessite l'estimation de l'aléa, l'identification des enjeux, et l'analyse de leur vulnérabilité.

rhônalpin, le seul exemple complet de PPRS est celui d'Annecy, réalisé après le séisme de 1996. Un confortement parasismique systématique pour tout l'existant est irréaliste en raison des coûts associés, mais on peut cependant mentionner, parmi les mesures les plus efficaces pour un coût très limité, le renforcement des cheminées et autres éléments extérieurs dont la chute peut provoquer des victimes. Parmi les autres catégories de constructions à examiner en priorité en raison des enjeux, on peut mentionner les écoles et les grands ensembles résidentiels du "boom" immobilier des années 50-60 (avant les premiers codes parasismiques), sur lesquels le récent séisme de Christchurch (Nouvelle Zélande, 22/02/2011) a encore attiré l'attention.

Un aléa plus fort sur des sites défavorables

L'aléa sismique peut être localement aggravé par des conditions géologiques "défavorables": sols sableux saturés en eau pouvant provoquer de la liquéfaction, versants susceptibles d'être déstabilisés, et couverture sédimentaire amplifiant les mouvements vibratoires. La partie alpine du territoire rhônalpin présente la particularité d'être sillonnée de grandes vallées glaciaires maintenant comblées d'alluvions lacustres et fluviales. Ces remplissages, très épais (jusqu'à 1km) et encaissés, reposant sur un substratum très rigide, sont de véritables "caisses de résonance" pour les ondes sismiques, produisant des amplifications majeures (dépassant parfois un facteur 10) sur une plage de fréquences affectant une vaste population d'immeubles. Leur présence sous les agglomérations grenobloises et chambériennes justifierait des études spécifiques pour les installations sensibles et des PPRS pour les constructions à risque normal.

Les contributions d'ISterre

Les membres du laboratoire ISterre ont apporté, et continuent d'apporter, leur contribution aux études de zonage national et européen, à l'analyse de la structure et de la réponse sismique des vallées alpines, et au développement de méthodes instrumentales pour un meilleur diagnostic de la vulnérabilité des bâtiments existants.

L'IMPLICATION D'ISTERRE DANS RICHTER 38 : L'OBSERVATION GÉOPHYSIQUE

Les Alpes bougent sur des échelles de temps très différentes. Depuis les mouvements lents des plaques tectoniques, de l'ordre du millimètre par an, jusqu'à leur glissement soudain lors des séismes, à des vitesses du mètre par seconde. Depuis les mouvements lents des pentes sur les versants, de l'ordre du centimètre par an, jusqu'aux glissements de terrain, à des vitesses de la dizaine de mètres par seconde.

Pour mieux comprendre et estimer les aléas sismiques et gravitaires alpins, le laboratoire ISTerre dispose de plusieurs réseaux permanents de mesures géophysiques, intégrés dans les dispositifs d'observation du CNRS-INSU et dans le Très Grand Instrument de Recherche Resif.

Des réseaux sismologiques complémentaires

Il n'existe pas de capteur sismologique universel capable d'enregistrer les mouvements du sol avec suffisamment de sensibilité et de dynamique dans toute la gamme des périodes de vibration. Les réseaux sismologiques diffèrent donc en terme de type d'instruments et de géométrie (nombre et positions des stations), suivant les objectifs scientifiques poursuivis.

Conçu en 1987, le **réseau sismologique des Alpes (Sismalp)** est constitué d'une quarantaine de stations sismologiques qui mesurent la vitesse du sol sur l'ensemble du Sud-Est de la France, du lac Léman aux Alpes-Maritimes. Les objectifs du réseau sont d'observer la sismicité régionale (environ 700 séismes localisés par an), de mieux en comprendre la sismotectonique, de mieux estimer l'aléa sismique, de mieux connaître la structure profonde de la lithosphère alpine et de permettre des recherches fondamentales sur la source sismique. Bien qu'il ne soit pas un réseau d'alerte (gérée nationalement par le Cea), Sismalp répond au besoin d'information de la population et des autorités dès qu'un séisme est ressenti.

Le **réseau accélérométrique permanent (RAP) des Alpes** opère une trentaine de stations qui mesurent l'accélération du sol à proximité des zones sismiques actives et en milieu urbain, sur les sols sédimentaires et dans les bâtiments. Ces stations permettent d'enregistrer les mouvements du sol sans saturer dans la gamme de fréquences où les bâtiments et les ouvrages sont les plus vulnérables. Leurs enregistrements sont particulièrement importants pour comprendre la nature du mouvement du sol qui affecte les bâtiments et permettre de prévoir les mouvements causés par les forts séismes qui, bien que peu fréquents, peuvent se produire dans les Alpes.

Déformations et instabilités de versants

Le réseau de mesure des déformations ISTerre/OSUG est composé de 15 stations **GPS** qui enregistrent les signaux satellitaires et permettent d'estimer la déformation tectonique dans les Alpes avec une précision du dixième de millimètre par an, d'identifier les failles actives et quantifier leur chargement sismique. En cas de fort séisme, l'enregistrement continu du signal GPS donne une mesure directe du déplacement du sol, qui permet de mieux contraindre l'énergie libérée par le séisme et de mieux comprendre la dynamique de la rupture sur la faille.

Le **service national d'observatoire multidisciplinaire des instabilités de versants (OMIV)**, coordonné par ISTerre a pour objectif d'étudier la dynamique des mouvements gravitaires (endommagement, déclenchement, propagation) et l'effet des nombreux forçages externes (climat, séismes). Omiv coordonne l'acquisition de données multidisciplinaires (auscultation sismique, déplacements, hydrologie de versants), denses et répétées dans le temps sur quatre sites dans les Alpes françaises : Avignonet, La Clapière, Séchillienne et Super-Sauze.

Cette activité d'observation est une étape indispensable pour pouvoir modéliser ces phénomènes associés à des enjeux économiques et sociétaux importants dans les zones montagneuses.

En cas de séisme...

Lorsqu'un séisme de magnitude supérieure à 2 (en général ressenti par la population) survient dans les Alpes, une localisation préliminaire est effectuée par le réseau Sismalp. Si la magnitude dépasse 2,5, cette localisation fait l'objet d'un communiqué en direction des autorités et des médias si le séisme a lieu sur le territoire français. Lorsque la magnitude atteint 3,5, l'abondance probable des répliques peut inciter au déploiement de quelques stations supplémentaires dans la zone épiscopale pour les localiser. Les données des autres réseaux d'observation sont également analysées et une page d'information scientifique est mise en ligne sur le site ISTerre.

Pour des magnitudes supérieures à 5, comme dans le scénario envisagé pour Richter38, il est nécessaire de renforcer encore ce déploiement de stations supplémentaires : dans la zone épiscopale pour localiser les répliques et comprendre le mécanisme de la source, sur certains sites sensibles pour mieux comprendre a posteriori la nature du mouvement du sol et dans certains bâtiments pour établir un diagnostic d'endommagement.

RETOUR SUR LES RÉCENTS SÉISMES : JAPON, NOUVELLE ZÉLANDE...

Séismes meurtriers : quels enseignements ?

L'analyse a posteriori des caractéristiques des séismes meurtriers, comme celle du comportement des bâtiments, sont des éléments essentiels pour une meilleure compréhension du phénomène et des voies à explorer pour réduire la vulnérabilité des populations.

Magnitude et Dégâts. Les dégâts provoqués par un séisme ne sont pas simplement corrélés à sa magnitude. A Haïti, le séisme de magnitude 7 du 12/1/2010 a fait plus de 220 000 victimes et mis tout un pays en très grande difficulté tandis que celui du Chili du 27/2/2010, de magnitude 8,8, a fait 600 victimes. Cette énorme différence s'explique en partie par la différence de qualité du bâti, mais aussi par la densité de population au voisinage du séisme. Le séisme d'Haïti s'est en effet produit à faible profondeur (13 km), directement sous une région fortement peuplée, ce qui n'était pas le cas au Chili. L'analyse des deux séismes les plus marquants de 2010 met ainsi en évidence, une fois de plus, la vulnérabilité face au risque sismique de pays fortement peuplés et sans réglementation parasismique.

En ce début d'année 2011, les deux événements les plus marquants se sont, eux, produits dans deux pays fortement développés et bien préparés, la Nouvelle-Zélande et le Japon. Que s'est-il donc passé ? Quels enseignements les sismologues en tirent-ils ?

Séisme de Tohoku - Japon, 11 mars 2011

Un séisme « géant » de magnitude Mw=9,0. Le 4ème plus gros depuis 1900 : un événement exceptionnel d'une magnitude inattendue dans le pays le mieux préparé du monde. En s'appuyant sur leurs très riches réseaux d'observation et études de sismicité historique, nos collègues Japonais estimaient quasi-certaine (99% de probabilité) l'occurrence d'un séisme de magnitude 7,5 dans les 25 ans à venir dans cette région. Mais il semble que la magnitude du séisme du 11 mars ait été supérieure aux scénarii envisagés.

Un séisme localisé à distance des zones habitées (près de 100 km au large, 25 à 30 km de profondeur) : les vibrations haute-fréquence du sol ont été atténuées dans leur propagation vers la côte. L'erreur d'estimation de magnitude n'a donc pas eu de conséquence dramatique sur le niveau de vibrations du sol, comme le suggère la généralement bonne tenue des bâtiments récents. Les précautions pour protéger le bâti conventionnel ont été essentielles pour la protection de la population.

Un tsunami induit de forte amplitude. La montée des eaux produite par le déplacement vertical du fond de la mer lors du séisme a dépassé 10 m. Les digues de protection dimensionnées pour un séisme de magnitude 8 ont été largement submergées. Les conséquences de la sous-estimation de la magnitude maximale ont, là, été dramatiques. Mais la construction d'une digue continue de plus de 10 m de hauteur sur 600 km de côte était-elle envisageable? Elle aurait en tous cas protégé les générateurs de secours de la centrale de Fukushima et peut-être permis d'éviter l'accident nucléaire. Ces observations amènent les sismologues à se reposer la question de la magnitude maximale possible sur un réseau de failles connues. L'analyse des séismes historiques passés ne donne ainsi qu'une borne minimale aux séismes potentiels dans une région donnée.

Séisme de Christchurch - Nouvelle Zélande, 22 février 2011

Un séisme de magnitude modérée Mw=6,3 aux conséquences inattendues pour un pays préparé comme la Nouvelle-Zélande : 220 victimes, plus de 400 000 bâtiments affectés. La Nouvelle-Zélande subit régulièrement des séismes de magnitude supérieure à 6,5 (22 en 100 ans). Pourtant, la faille sur laquelle se sont produits les deux séismes du 3/9/2010 (Mw=7,1, aucune victime) et du 22/2/2011 (Mw=6,3) n'était pas connue et le niveau de microsismicité enregistré dans la zone avant septembre 2010 était très faible. Après le 1er événement du 3/9/2010, localisé dans une zone agricole à 45 km de la ville de Christchurch, les autorités s'étaient félicitées du faible impact des vibrations sur le bâti à Christchurch. Il prouvait, d'après elles, l'utilité de règles très strictes de construction parasismique. Mais le séisme du 22 février était **localisé exactement sous la ville à faible profondeur** (5 km). Les caractéristiques du séisme (localisation, mécanisme de rupture) et la nature du sous-sol ont induit des accélérations du sol extrêmement fortes (parfois supérieures à 2 fois l'accélération de la pesanteur), supérieures aux niveaux pris en compte dans la réglementation. Les conséquences sur le bâti ont été dramatiques. Ce niveau de magnitude à proximité d'une agglomération importante est possible en France métropolitaine, et probable aux Antilles. Les enseignements à tirer sont que l'observation de la microsismicité sur des durées longues est importante pour identifier les failles cachées, qu'il faut veiller à conserver la mémoire des événements passés, et enfin s'assurer d'un minimum de marge et de redondances par-rapport à la réglementation pour une conception saine du bâti.

INTERVENTION ET MATÉRIEL POST-SISMIQUE

L'intervention post-sismique

SisMob (<http://sismob.obs.ujf-grenoble.fr>) est le parc national d'instruments sismologiques mobiles terrestres, intégré au Réseau sismologique et géodésique Français (RESIF, <http://www.resif.fr/>).

Ce parc mobile comporte une centaine de stations sismologiques qui sont déployées pour des applications couvrant toute la sismologie d'observation : de l'étude de la structure interne de la Terre à celle des aléas sismiques, volcaniques et gravitaires.

L'une des activités du parc est l'intervention post-sismique en France ou à l'étranger pour enregistrer les répliques en l'absence ou en complément des observatoires sismologiques permanents. Des instruments de SisMob ont ainsi été déployés lors des séismes récents de l'Aquila (Italie) en 2009, d'Haïti et du Chili en 2010.

Le parc dispose de cinq stations sismologiques prêtes en permanence pour un déploiement après un séisme sur le territoire français.



Expérience Undervolc
sur le Piton de la Fournaise (Ile de la Réunion).



Mesure de précurseurs de chute d'une
écaïlle rocheuse
lors de l'expérience Chamousset (France, 38).

Le matériel

Ces stations sont composées de plusieurs éléments :

- un ou plusieurs capteurs tri-composantes (verticale, nord, est). Ces capteurs, vélocimètres ou accéléromètres, mesurent les vibrations du sol de 10 mHz à 100 Hz. Ils sont très sensibles et peuvent mesurer des vibrations sismiques émises par des séismes se produisant de l'autre côté du globe ;
- un numériseur qui enregistre les signaux délivrés par le capteur ;
- une horloge externe qui permet d'avoir une base de temps absolu, nécessaire notamment à la localisation précise du foyer d'un tremblement de terre. Cette référence de temps, émise par les satellites de positionnement GPS, est commune à toutes les stations installées sur le terrain.
- une source d'alimentation constituée le plus souvent de batteries et panneaux solaires qui suffisent à l'autonomie de ces systèmes à très faible consommation d'énergie (environ 2W).

CONTACTS

Nous restons à votre disposition pour tous renseignements ultérieurs.

Voici une liste de **personnes ressources** :

- * Pourquoi y-a-t-il des séismes ?** < tectonique des plaques, dynamique des failles, physique de la rupture, propagation des ondes, cycle sismique ; tomographie sismique >
Jean VIRIEUX, professeur UJF, membre de l'équipe *Risques* d'ISTerre :
04.76.63.52.54 | 06.80.06.08.52 | jean.virieux@obs.ujf-grenoble.fr
- * Pourquoi y-a-t-il des séismes dans les Alpes ?** < formation des chaînes de montagne, géodynamique des Alpes >
Anne PAUL, chercheur CNRS, membre de l'équipe *Ondes et Structures* d'ISTerre :
04.76.63.52.58 | 06.76.66.58.00 | anne.paul@obs.ujf-grenoble.fr
- * Observation et surveillance des séismes dans les Alpes** < failles et zones sismiques actives, statistiques de sismicité, sismicité historique du Sud-Est >
François THOUVENOT, géophysicien OSUG, membre de l'équipe *Mécanique des failles* d'ISTerre :
04.76.63.51.50 | 06.08.46.66.78 | francois.thouvenot@obs.ujf-grenoble.fr
- * Observer pour comprendre, surveiller, alerter** < réseaux & Instruments d'observation ; méthodes d'alertes >
Olivier COUTANT, géophysicien OSUG, membre de l'équipe *Ondes et Structures* d'ISTerre :
04.76.63.52.53 | 06.08.84.46.40 | olivier.coutant@obs.ujf-grenoble.fr
- * Peut-on rendre les constructions plus sûres ?** < réponse des sols et du bâti ; protection de la construction courante et des installations sensibles >
Pierre-Yves BARD, chercheur IFSTTAR, membre de l'équipe *Risques* d'ISTerre :
04.76.63.51.72 | 06.72.87.26.97 | pierre-yves.bard@obs.ujf-grenoble.fr
- * Peut-on prévoir les séismes ?** < Répliques et précurseurs sismiques >
Agnès HELMSTETTER, chercheur CNRS, membre de l'équipe *Risques* d'ISTerre :
04.76.63.52.56 | 06.24.14.12.76 | agnes.helmstetter@obs.ujf-grenoble.fr
- * Qu'est-ce qu'un glissement de terrain ?** < déclenchement ; suivi de Séchillienne ; avalanches de neige déclenchées >
Jean-Robert GRASSO, géophysicien OSUG, membre de l'équipe *Mécanique des failles* d'ISTerre :
04.76.63.52.56 | 06.70.45.94.27 | jean-robert.grasso@obs.ujf-grenoble.fr
- * Comment faut-il réagir face à un tremblement de terre ?** < Analyse géographique et sociologique de la crise >
Elise BECK, maître de conférences UJF, membre de l'équipe *Risques, Crises et Catastrophes* de PACTE :
04.76.82.20.64 | 06.18.90.60.94 | elise.beck@ujf-grenoble.fr
- * Pour tout autre renseignement** < présentation de nos structures de recherche, recherche d'images, etc.>
ou toute mise en contact avec des experts en Sciences de la Terre, de l'Univers et de l'Environnement :
Natacha CAUCHIES, chargée de communication OSUG :
04.76.63.55.11 | 06.88.66.15.80 | natacha.cauchies@obs.ujf-grenoble.fr

QUELQUES VISUELS DISPONIBLES :



Expériences sismologiques en milieu urbain :

Beyrouth, septembre 2009

Ecole à Caracas, avril 2006

© ISTerre



Mission post-sismique à L'Aquila, avril 2009 :

Analyse de la gestion de crise par l'équipe GRCC-Pacte

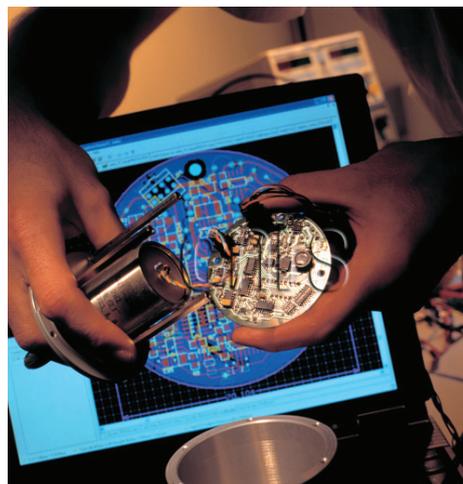
© AFPS



Mesure de bruit de fond (Pérou, 2009)

en réseau avec 10 stations : capteur CMG40, numériseur Kephren (gris, IHR) et boîtier WARAN (jaune, prototype) pour l'acquisition et le traitement en temps réel.

© ISTerre



Conception et assemblage d'un capteur sismique à une composante 2.5Hz.

C'est l'un des 210 capteurs IHR (Imagerie Haute Résolution) du parc Sismob.

© CNRS Photothèque / E. PERRIN

Contact :

Natacha CAUCHIES
(communication OSUG)

TÉMOIGNAGES SISMIQUES ET TRAVAUX SISMOLOGIQUES DANS LE MONDE ET EN RHÔNE-ALPES

© ISTERRE, GRCC-PACTE, OSUG



Les églises d'Argentière et d'Epagny
portent les cicatrices des **séismes**
de **1905** (Chamonix)
et de **1996** (Annecy).
© ISTERRE



Des enregistrements graphiques sur
tambours...

© ISTERRE

...aux **sismogrammes numériques**
disponibles sur téléphone mobile

© ISTERRE



[Voir aussi les autres visuels de ce dossier.](#)



**Installation d'une station
sismique permanente
dans les Hautes-Alpes**

(l'Argentière-la-Bessée, 2009) :
"OGAG" est une station
accélérométrique, large bande
et GPS (commune aux réseaux
RAP-RLBP-Renag)

© ISTERRE





De tous temps, le mystère entourant les tremblements de terre a favorisé l'émergence de théories hasardeuses, d'observations farfelues, d'idées reçues.... Depuis les années 60, la sismologie a connu un essor considérable, essentiellement motivé par le besoin d'expliquer les phénomènes observés et ressentis, encouragé aussi par le désir de connaître les profondeurs de la terre. La connaissance acquise depuis permet de lever quelques ambiguïtés sur la réalité sismique de la France et de la région Rhône-Alpes et sur la représentation et l'observation des phénomènes sismiques. Des idées reçues persistent que ce document essaye de préciser. Elles traduisent souvent et finalement une connaissance imparfaite des grandes notions de la sismologie que sont par exemple la magnitude, les ondes sismiques, les effets de site ou la réglementation parasismique, notions qui sont reprises et illustrées ici.

Les tremblements de terre sont, à l'origine, des phénomènes naturels, qui engendrent des processus complexes. Il est illusoire de vouloir en expliquer simplement tous les aspects sans dénaturer leur signification. Ce document s'attache à refléter l'état des connaissances; il s'appuie sur les résultats des recherches, des expériences et des observations menées, au sein de l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble, à l'Institut des Sciences de la Terre et par le Groupe associé "Risques, Crises et Catastrophes" du laboratoire PACTE. Sont citées en fin d'article des références de ressources documentaires complémentaires.

Le phénomène "séisme"

La tectonique des plaques montre que la lithosphère est constituée de grandes plaques en mouvement. C'est à la limite des plaques lithosphériques que l'activité sismique est la plus intense.

Les tremblements de terre sont liés au glissement brusque sur des failles. Ce phénomène est qualifié de rebond élastique : la région de la faille bloquée se déforme progressivement, parfois pendant des centaines d'années (déformation élastique lente), en accumulant de l'énergie, jusqu'à céder brutalement ; c'est la rupture sismique, les contraintes tectoniques se relâchent, la faille est à nouveau bloquée, et le cycle sismique recommence.

Le glissement soudain des deux lèvres de la faille libère en quelques fractions de seconde une énergie considérable qui se propage sous forme de vibrations depuis la surface de rupture (hypocentre ou foyer) jusqu'à la surface terrestre. Ces vibrations sont caractérisées par leur fréquence (de 0.01 à 50 Hz) et leur amplitude. Les ondes sismiques qui les propagent sont, elles, caractérisées par leur type (ondes de compression dites ondes P, ondes de cisaillement dites ondes S et ondes de surface) et leur vitesse de propagation.



L'aléa sismique en Rhône-Alpes

L'analyse des séismes passés et la surveillance de l'activité sismique sont formelles: il existe une activité sismique dans les Alpes, nous révélant une région en perpétuel mouvement.

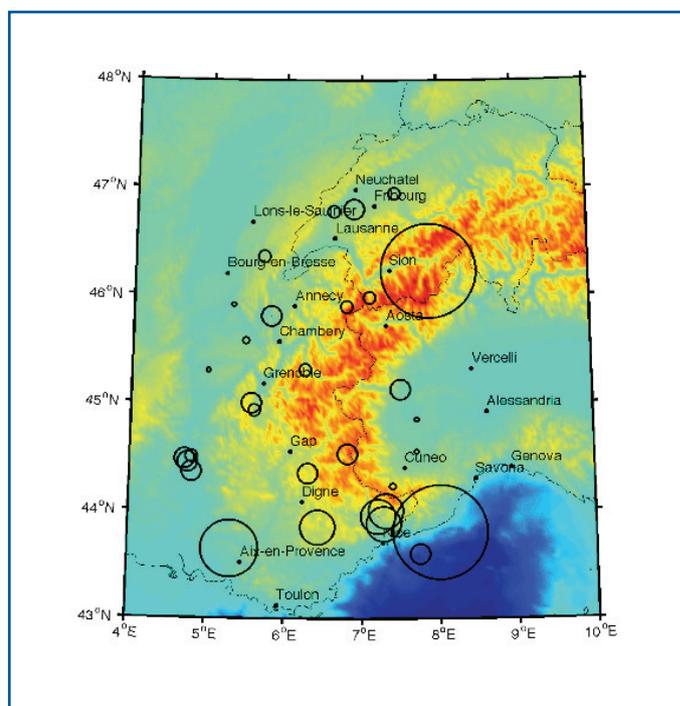
Sismicités historique et instrumentale Si l'on regarde dans le passé proche et si on s'intéresse non plus à la région Rhône-Alpes seule mais au massif des Alpes françaises dans son ensemble, des séismes marquants apparaissent: ce sont les séismes de Lambesc dans le Sud des Alpes (1909) ayant provoqué dommages et victimes, le séisme de Corrençon (1962) ayant fissuré des maisons dans le Vercors, celui de Chamonix de 1905 où des fissures et des chutes d'objets ont été répertoriées, ou encore celui d'Epagny (1996) qui provoqua de nombreux dommages.

Les données historiques issues de Levret et al. (1996) et de la base de données SISFRANCE (<http://www.sisfrance.net>) et instrumentales permettent d'identifier plusieurs secteurs des Alpes où règne une activité sismique différente :

- (1) des zones à sismicité modérée témoignant de l'activité des fronts alpins, avec d'est en ouest l'arc interne piémontais, puis celui du briançonnais qui se poursuit jusqu'au Valais, et les Alpes externes, depuis le Vercors jusqu'au Chablais suisse;
- (2) des zones à sismicité faible qui comprennent le Jura, le bassin molassique suisse, les massifs subalpins méridionaux, le Bas Dauphiné et l'Ouest du Massif Central;
- (3) des zones très peu sismiques avec la Bourgogne, la Bresse, le Diois, les massifs cristallins externes des Alpes et le Languedoc.

Historiquement, de fortes intensités ont été recensées aux limites de la région Rhône-Alpes. On peut citer le séisme du Bugey qui s'est produit à 70 km au nord de Grenoble le 19/02/1822 avec une intensité épacentrale de VII-VIII et le séisme de Laragne du 19/05/1866 d'intensité VII-VIII qui s'est produit dans les Alpes provençales à 90 km au Sud de Grenoble. Le séisme d'intensité VII dans le Piémont italien à 120 km à l'ESE du Grenoble (02/04/1808), de Chamonix du 29/04/1905 à 140 km de Grenoble et d'intensité épacentrale I_0 =VII-VIII, de Lambesc de 1909 d'intensité épacentrale I_0 =VIII-IX à 170 km de Grenoble et du Valais du 09/12/1755 (I_0 =VIII-IX) et du 25/07/1855 (I_0 =IX) figurent comme les séismes les plus forts de la zone des Alpes du Nord à laquelle Grenoble est rattachée.

La région de Grenoble se trouve à proximité d'un « alignement » sismique qui a été révélé par les localisations des séismes qui s'y produisent régulièrement (Thouvenot et al., 2003). Cet alignement porte le nom d'arc sismique subalpin ; sa partie sud, de

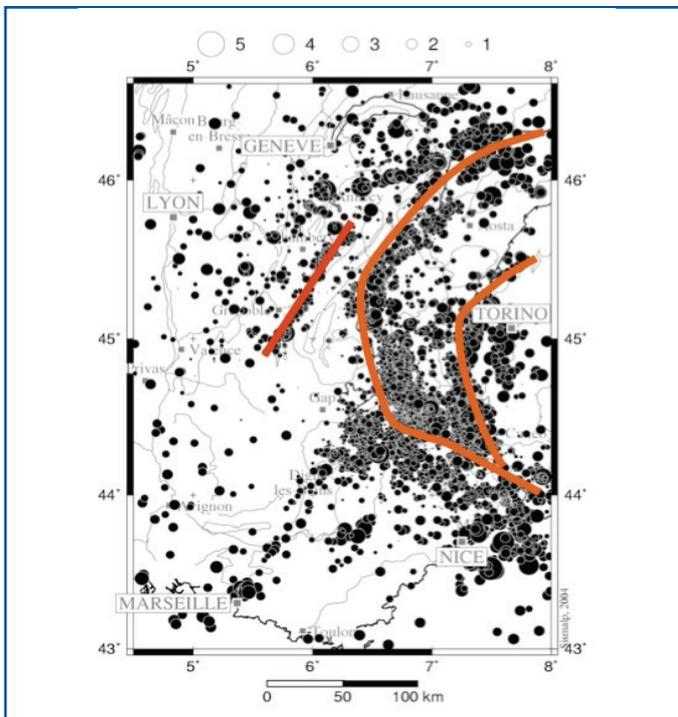


Séismes historiques dans les Alpes (Source : base Sisfrance) : La taille des cercles représente l'intensité des séismes. Les plus gros séismes sont ceux de Bâle (1356 - IX), d'Imperia (1887 - IX) et du Valais (1855 - IX). Le séisme de Lambesc (1909) est d'intensité VIII-IX.

Monestier-de-Clermont (Isère) à Albertville (Savoie), a été baptisée « Faille bordière de Belledonne ». Cette faille passe à proximité d'Uriage-les-Bains, à une douzaine de kilomètres seulement du centre ville de Grenoble. Elle n'est pas identifiable en surface car elle ne coulisse que très lentement, la plupart du temps à la faveur de petits séismes de magnitude comprise entre 0 et 3,5 (pour les vingt dernières années) ayant parfois été ressentis localement par la population (séisme de Laffrey en 1999); une autre raison est que la zone active se trouve à des profondeurs de l'ordre de 5 km. Cependant, c'est sur cet alignement que les séismes importants se sont produits, tels que les séismes du Grésivaudan du 07/01/1851 (V-VI à Grenoble) avec un épocentre localisé à environ cinq kilomètres au Nord-Ouest de Grenoble, ou le séisme de Faverges en 1980 (ML=4.7). La partie nord de cet « arc subalpin » s'incurve vers l'Est et rejoint l'arc Briançonnais à Chamonix; il a été le lieu du séisme du Grand Bornand de 1994 (ML=4.7).

Malheureusement, la Faille bordière de Belledonne, même si elle est maintenant bien connue, n'est pas la seule faille qui peut

engendrer des séismes potentiellement forts dans la région de Grenoble. L'activité de la « Faille de Voreppe » associée au séisme du 12/01/1754, reste très mal connue, comme d'ailleurs son extension, qui peut-être se prolonge sous l'agglomération même. Il en va de même des failles potentiellement dangereuses qui pourraient exister dans les massifs du Vercors et de Chartreuse. L'exemple de Corrençon-en-Vercors, village touché en 1962 par un séisme de magnitude 5,3 sans que l'on sache précisément quelle faille a alors joué, illustre notre méconnaissance sur l'activité des failles de ces massifs.



Sismicité dans les Alpes entre 1989 et 2002 :

Le réseau SISMALP a permis d'identifier finement les arcs alpins de sismicité ainsi que la présence de failles actives, comme celle à proximité de Grenoble dite de Belledonne. (source SISMALP: <http://sismalp.obs.ujf-grenoble.fr>)

D'autre part, la configuration très particulière des vallées rhônalpines remplies d'alluvions post-glaciaires très épaisses (plusieurs centaines de mètres), témoins des grands glaciers qui ont raboté les Alpes jusqu'à il y a 15000 ans, époque de la dernière déglaciation, provoque des phénomènes d'amplification locale de la vibration sismique communément nommés effets de site.

Effets de site Lors des grands séismes historiques, l'observation de la répartition spatiale des dommages a amené les scientifiques à attribuer une partie des dommages à la géologie locale de surface. En effet, la propagation des ondes est très fortement affectée par les hétérogénéités géologiques de surface (vallées, topographie) : c'est ce qu'on appelle communément les effets de site.

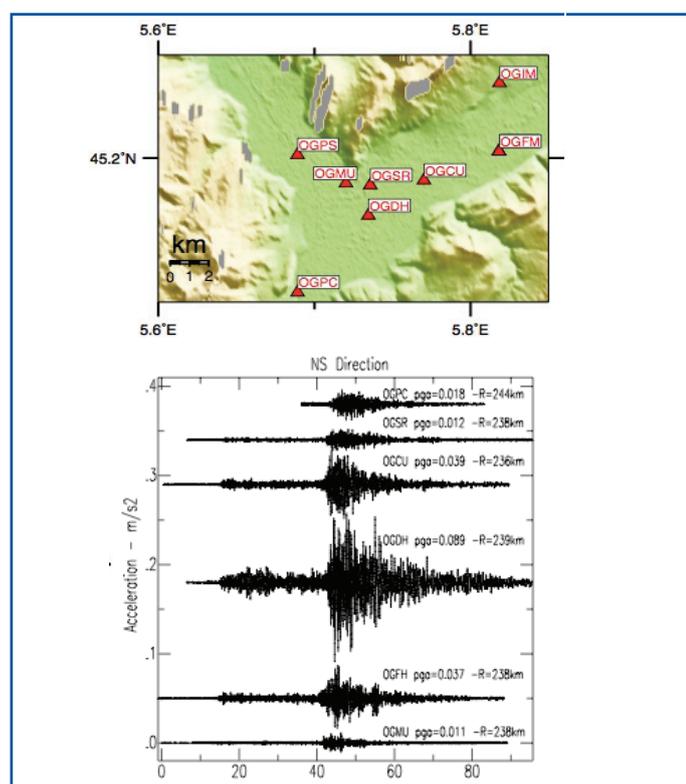
Une première catégorie d'effets de site est liée au simple relief topographique : on a ainsi pu constater, de manière systématique, une amplification des mouvements en sommet de crête, expliquée au moins partiellement par une focalisation des ondes liée à la convexité de la surface libre : on peut en voir des illustrations dans les ruines encore existantes des villages de Rognes (Bouches-du-Rhône), et de Castillon-le-Vieux (Alpes-Maritimes), dont les parties hautes ont été détruites par les séismes de Lambesc (1909), et d'Imperia (1887), respectivement. Il est clair que de tels effets sont donc à attendre sur une bonne partie du territoire Rhône-Alpin, très montagneux, mais fort heureusement, cela ne concerne qu'un nombre limité de villages ou d'installations spécifiques.

Une seconde catégorie, beaucoup plus fréquente, est liée aux remplissages sédimentaires récents (vallées alluviales notamment, zones péri-lacustres). Les ondes y subissent d'importantes réverbérations verticales entre la surface et le fond du remplissage, et les interférences qui en résultent produisent des phénomènes de résonance et d'amplification à certaines fréquences, correspondant malheureusement très souvent aux fréquences propres des bâtiments (soit de 0.5 Hz pour les grandes tours de 30 étages à 10 Hz pour les maisons individuelles). Cet effet est à l'origine de la catastrophe qui a frappé Mexico en 1985 : les argiles lacustres sur lesquelles est fondée la ville ont provoqué des amplifications dépassant un facteur 10, sur la plage de fréquences des bâtiments de 8 à 20 étages, dont plusieurs centaines se sont effondrés.

Coburn et Spence (2002) estiment que les effets de site sont responsables d'une augmentation d'un degré d'intensité macrosismique. Enfin, dans des alluvions (horizons sableux ou limoneux) gorgés d'eau, de fortes vibrations sismique peuvent provoquer un tassement rapide des alluvions, une expulsion de l'eau et une déconsolidation brutale du sol : c'est le phénomène de liquéfaction tristement illustré lors du séisme de Kobé en 1995.

Dans la vallée de Grenoble, même si les sols qui constituent ce remplissage (argiles lacustres entremêlées de dépôts sableux en profondeur, surmontés par des alluvions fluviales

plus grossières, notamment en provenance du Drac), sont loin d'être aussi "mous" que ceux de Mexico, la très forte rigidité du massif encaissant conduit à des effets similaires : les ondes sismiques y subissent de multiples réverbérations entre les bords et le fond de la cuvette, ainsi transformée en gigantesque "caisse de résonance". Il en résulte de fortes amplifications en surface, ainsi qu'une prolongation du mouvement sismique importante. Tous les enregistrements acquis depuis une quinzaine d'années ont ainsi révélé que les vibrations dans la cuvette sont systématiquement, quelle que soit l'origine du séisme, 10 à 20 fois plus intenses que sur les massifs avoisinants (Musée Dauphinois, Bastille), et ce sur une gamme de fréquences très large correspondant aux immeubles de plus de 4-5 étages (jusqu'à plus de 30 étages).



Exemple d'effet dû à la géologie :

Grenoble, construite sur un bassin sédimentaire important et constitué de formations molles, présente systématiquement des amplifications du mouvement du sol. Sur cet exemple, la station du réseau accélérométrique permanent RAP située sur le rocher OGMU a une amplitude et une durée beaucoup plus faibles comparé aux autres stations situées sur les sédiments.

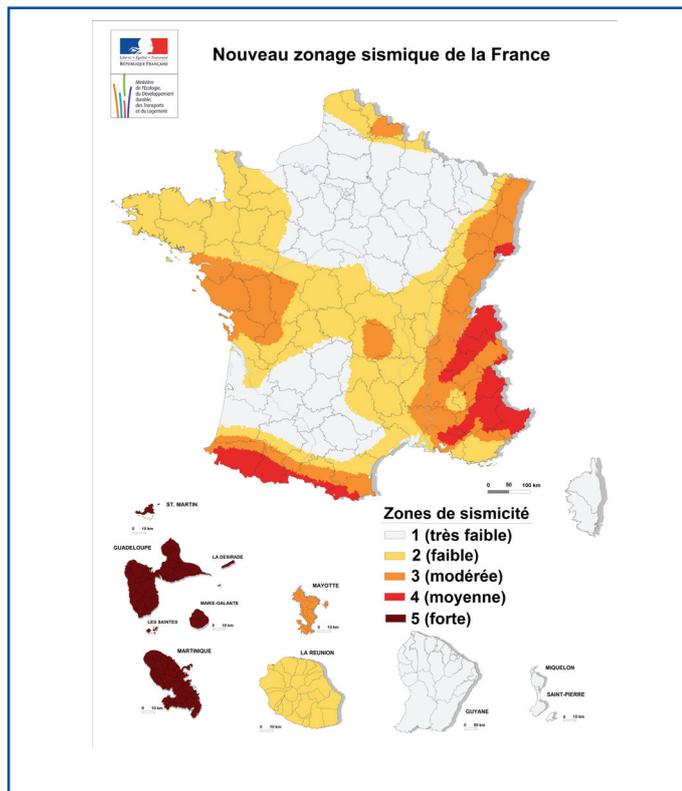
La réponse du bâti aux secousses

Eviter la fatalité Déjà en son temps, Rousseau, en réponse au "Poème sur le désastre de Lisbonne" de Voltaire qui expose la fatalité des phénomènes naturels, avait pointé du doigt les incohérences urbaines de Lisbonne qui avaient conduit à amplifier l'impact du séisme de 1755 : si l'on n'avait point rassemblé là vingt mille maisons de six à sept étages et que si les habitants de cette grande ville eussent été dispersés plus également, et plus légèrement logés, le dégât eût été beaucoup moindre, et peut-être nul".

L'augmentation des populations dans des noyaux urbains de plus en plus grands, exposés aux séismes et constitués d'un habitat hétérogène de qualité très variable sont les ingrédients qui positionnent le milieu urbain parmi les éléments les plus critiques de la chaîne du risque sismique. Pour contrer les effets des tremblements de terre, il convient alors de connaître et maîtriser la réponse du bâti, de savoir évaluer son intégrité post-sismique, et d'élargir la réflexion parasismique aux ensembles urbains et/ou industriels. Les relations dommages physiques/pertes en vies humaines le montrent, il y a une forte corrélation entre le nombre de constructions endommagées après un séisme et celui des victimes. L'objet premier de la réglementation parasismique est donc de limiter la vulnérabilité des constructions, en visant en priorité un objectif de non-effondrement pour sauvegarder les vies humaines.

La réglementation parasismique Les règles parasismiques apparaissent en premier dans les pays les plus sismiques tels que le Japon et les Etats-Unis. Les premières règles apparaissent en France, pays à sismicité modérée, sous forme de recommandations en 1960, suite au séisme de 1954 d'Orléansville en Algérie alors département français. Elles ne cessent d'évoluer (révisions) au fil des tremblements de terre, qui apportèrent de nombreux enseignements, Agadir 1960 et El Asnam 1980 en particulier, aboutissant à l'édition des premières règles modernes dites PS92, qui entrèrent en application à partir de 1994/1995 pour le bâti courant, tandis que d'autres textes étaient édités pour les maisons individuelles et les ouvrages à risque spécial. Les nouvelles règles parasismiques, dites des Eurocode 8 (EC8), harmonisées au niveau européen, et intégrant le retour d'expérience de nombreux autres séismes (Mexico 1985, Spitak 1988, Loma-Prieta 1989, Northridge 1994, Kobe 1995,...) entreront en vigueur le 1er mai 2011.

La réglementation parasismique repose sur trois grands piliers : le zonage sismique qui définit les territoires à l'intérieur desquels l'aléa sismique (niveau d'agression sismique susceptible d'être atteinte) peut être considéré comme homogène, les classes d'importance des ouvrages (par exemple habitation individuelle, bâtiment recevant du public, bâtiment abritant les moyens de secours ...), et un corpus de règles techniques pour le dimensionnement parasismique des ouvrages neufs.



Carte du zonage sismique EC8 en France métropolitaine et Outremer

(Source: www.planseisme.fr) :

Le mouvement sismique contre lequel se prémunir est donné sous forme d'accélération du sol au "rocher" (référence).

Ces dispositifs réglementaires peuvent être localement modulés par les Plans de Préventions des Risques Naturels sismiques (PPRNs). Ces PPRNs ont en effet pour objectif l'élaboration de règlements spécifiques « locaux » prenant en compte la modulation de l'aléa sismique liée aux conditions géologiques spécifiques de la zone considérée (effets de site, mouvements de terrain, liquéfaction), les enjeux (éléments exposés) et leur vulnérabilité. Ces plans, annexés au Plan Local d'Urbanisme (PLU), priment sur les règles nationales et offrent des possibilités d'action sur les ouvrages existants.

Aléa sismique :

Probabilité, pour un site, d'être exposé, sur une période donnée, à une secousse tellurique de caractéristiques données.

L'application : la conception parasismique

Une bonne conception parasismique ne se résume pas à la seule application de la réglementation. Elle en est certes un des éléments essentiels, mais il faut la compléter en amont par un soin particulier aux reconnaissances de sol et une bonne conception architecturale, et en aval par une exécution soignée. Les observations post-sismiques montrent systématiquement les mêmes dommages ou presque : des étages écrasés, des bâtiments basculés, des bâtiments accolés plus endommagés ou encore des remplissages détruits. La conception parasismique édicte quelques règles, pour tout type de matériau :

- (1) assurer la reprise des efforts horizontaux (contreventement latéral) en continuité sur toute la hauteur de la structure
- (2) respecter la régularité en élévation : la régularité des formes, la répartition homogène des masses et des rigidités sont des critères importants qui conditionnent la stabilité et la résistance des structures sous séisme.
- (3) respecter la régularité en plan : les bâtiments de forme en plan irrégulière sont exposés à de la torsion d'axe verticale qui est à l'origine, dans de nombreux cas, de dommages importants. Elles "vibrillent" autour des zones plus rigides.
- (4) intégrer l'environnement dans la conception : des dommages peuvent également être dus à l'environnement de la structure, environnement anthropique (bâtiments trop proches qui se cognent) comme naturel (basculement de structure par perte de portance suite à tassements de terrain...).
- (5) dimensionner en capacité et concevoir la structure afin qu'elle dissipe l'énergie de vibration : la structure porteuse doit être ductile, c'est à dire permettre une déformation importante dans ses éléments les plus sollicités par le séisme, sans augmenter les efforts dans ses éléments porteurs.
- (6) surveiller l'exécution, notamment le respect des dispositions constructives, l'utilisation de matériaux de qualité, et en soignant tout particulièrement les éléments de connexion.
- (7) s'assurer que les éléments secondaires (non porteurs : remplissages en maçonnerie, éléments de façade, balcons, cheminées...) résistent et sont bien accrochés à la structure porteuse.



1. Exemple d'une construction en béton armé endommagée lors du tremblement du Chili (2010)

Même en béton armé, un mauvais respect des règles de conception entraîne la destruction complète de la structure.

2. Exemple de dommage dû à des conditions "géologiques" défavorables : Tassement de la structure dû à la liquéfaction. Séisme de Niigata (1964), Japon.

La vulnérabilité sismique Le bâti existant, souvent construit avant la mise en place des règles de construction, est en général vulnérable. Des constructions monumentales ou bien réalisées peuvent cependant résister parfaitement aux séismes. On constate aussi que des structures à priori identiques s'endommagent différemment. Analyser la vulnérabilité physique d'ouvrages existants consiste ainsi à essayer de prédire leur comportement sous séisme, en intégrant toutes nos incertitudes.

Les analyses de vulnérabilité visent donc à :

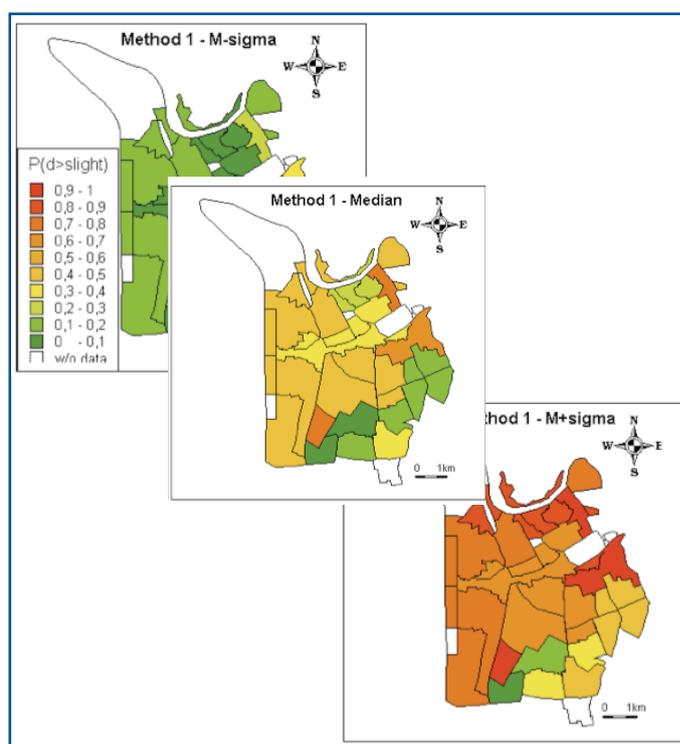
(1) estimer les dommages prévisibles aux personnes et aux biens juste après le séisme, pour mieux évaluer les dommages sismiques à l'échelle d'une ville ou pour décider des moyens de secours à mettre en oeuvre;

(2) identifier les bâtiments les plus vulnérables aux séismes de

façon à planifier et organiser une politique de renforcement du bâti existant;

(3) profiter de travaux de transformation générale d'un bâtiment pour intégrer le sismique dans le projet.

Déterminer les structures les plus vulnérables au niveau d'une région ou ville est une tâche particulièrement ambitieuse et difficile en regard du nombre de bâtiments, de la variété de types de structures (béton, maçonnerie...), des moyens financiers très limités eu égard à la rareté des événements destructeurs, de l'accessibilité aux informations requises pour ce type de diagnostic (plans de fondation, ferrailage...). Il est également beaucoup plus complexe d'appréhender le comportement sismique d'une structure existante que d'en concevoir une neuve et la dimensionner en conséquence. Mais ces travaux d'évaluation et de représentation statistiques (voire probabilistes) sont des étapes essentielles à l'analyse du risque sismique.



Exemple d'application d'une méthode empirique d'évaluation de la vulnérabilité à l'échelle d'une ville : Application à Grenoble.

On représente la probabilité d'atteindre un niveau de dommage (valeur médiane+/- incertitudes) pour une intensité macrosismique.

Caractérisation des séismes

Contrairement à la magnitude qui définit la taille du séisme, l'intensité mesure ses effets sur les personnes ou les biens en un lieu donné.

Intensité macrosismique Intégrer les séismes anciens dans la réglementation impose de remonter dans le temps et de classer les séismes en fonction de leur intensité macrosismique. Le ressenti par les personnes et la quantité et la nature des dommages observés permettent de classer l'intensité selon une échelle dite échelle macrosismique.

Macrosismique car elle est généralement utilisée afin de regrouper les effets du séisme en zones d'intensité homogène, englobant une région et définissant ainsi des contours d'égale intensité, ou isoséistes. En général, l'intensité diminue avec la distance mais des conditions particulières telles que des effets de site (amplifications du mouvement du sol à cause de conditions de site particulières) ou des effets de directivité liés à la position et l'orientation du séisme, peuvent dans certains cas créer des anomalies dans les cartes macro-sismiques. Pour un séisme donné, on donne souvent uniquement l'intensité à l'épicentre, la plus forte généralement : c'est l'intensité épiscopentrale.

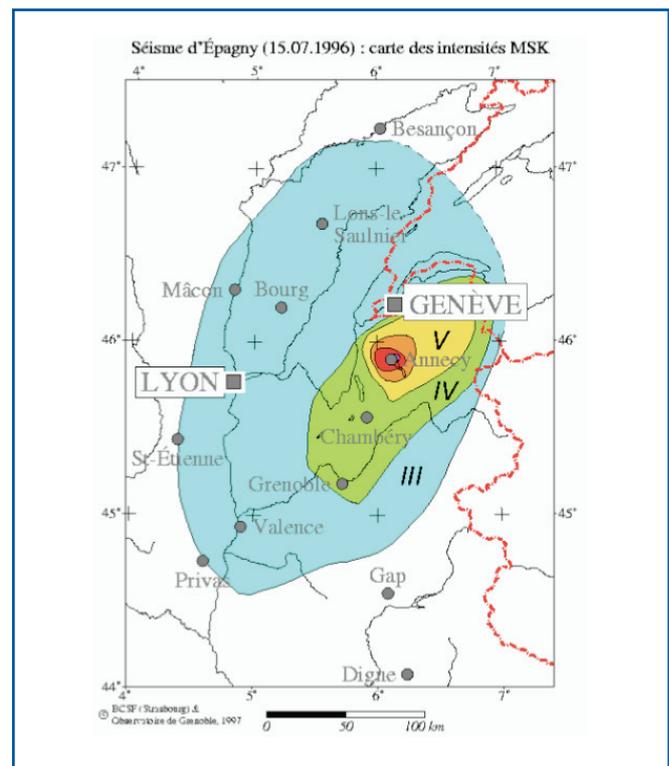
Puisque l'intensité se base sur l'observation des effets, il existe plusieurs façons de la mesurer. Les plus anciennes échelles, et donc les plus utilisées, sont celles dites de Mercalli qui date de 1902, modifiée en 1956, et celle de MSK créée en 1964, du nom des trois sismologues européens Medvedev, Sponheuer et Karnik. Les échelles d'intensité permettent ainsi de relier les séismes du passé à ceux du présent. En effet, pour les plus anciens, les écrits historiques qui peuvent exister suite à un tremblement de terre permettent de quantifier la sismicité passée et donc d'augmenter les époques couvertes par les catalogues de sismicité, indispensables à l'élaboration d'une étude de risque sismique.

La méthode utilisée pour estimer l'intensité varie d'un pays à l'autre; par exemple, pour la France, la valeur du degré d'intensité en chaque lieu est établie à partir de questionnaires distribués par le Bureau Central Sismologique Français (BCSF) aux habitants de la région touchée par le séisme.

En 1998, une nouvelle échelle d'intensité macrosismique a été

établie pour l'Europe: l'Echelle Européenne Macrosismique EMS98, définie selon 12 degrés (de I à XII), le degré VII étant la limite marquant le début de l'apparition des dommages, le degré IX correspondant à un séisme ayant des effets destructeurs, et le niveau XII à celui ayant des effets très dévastateurs.

Afin de définir l'intensité en fonction de l'effet sur les constructions, l'échelle EMS98 a puisé dans les observations de dommages collectées après des séismes européens majeurs. Dans un souci d'homogénéisation européenne, les effets du séisme ont été modérés en fonction de la qualité de la construction, afin de tenir compte du fait que pour le même séisme, une construction fragile et une construction résistante n'allaient pas présenter les mêmes désordres. Il est donc possible de relier directement l'intensité macrosismique EMS98 à une mesure du mouvement du sol, contrairement aux échelles précédentes.



Carte d'iso-intensité :

séisme d'Anancy du 16 juillet 1996.

(source : Bureau Central Sismologique Français)

Magnitudes Tandis que les premières échelles de magnitudes étaient calées sur des relations empiriques pour classer les séismes les uns par rapport aux autres, la magnitude de moment a été établie afin de quantifier physiquement la taille d'un séisme en fonction de son énergie libérée. A la différence des intensités macrosismiques qui sont établies en fonction des effets du séisme, la magnitude de moment est la seule mesure reliée à la taille de l'événement.

Puisque la magnitude représente l'énergie émise sous forme d'ondes à la source du séisme, l'échelle des magnitudes est une échelle ouverte ; On peut ainsi imaginer un séisme dépassant la magnitude 10, l'ultime étant un scénario (improbable) de séisme se produisant sur une faille qui ferait le tour de la terre ! La plus grosse magnitude jamais mesurée l'a été au Chili en 1960 atteignant 9.5. On peut à l'inverse avoir des magnitudes négatives pour de tous petits séismes qui permettent de suivre ce qui se passe dans l'écorce terrestre.

En 1931, un sismologue japonais du nom de Kiyoo Wadati construit un diagramme reproduisant le mouvement du sol généré par des séismes en fonction de la distance. Le fait que des séismes de tailles différentes produisent des droites parallèles suggère ainsi qu'il est possible de caractériser la taille d'un séisme par un nombre simple. En 1935, Charles Francis Richter reprend cette idée à son compte en classant la taille des séismes sur une échelle caractérisant l'importance du mouvement du sol produit.

Il propose alors la définition d'une échelle de magnitude, dite échelle de Richter. Il définit la magnitude 0 de référence comme celle produisant à 100 km un déplacement sur le sismomètre de l'ordre de $3 \cdot 10^{-3}$ mm. Cependant, pour établir cette relation, il ne se sert que d'un instrument de mesure (un sismomètre de type Wood-Anderson), il n'utilise que des séismes de type californien, c'est-à-dire essentiellement des séismes générés sur des failles en décrochement, enregistrés à courte distance de la zone épiscopentrale. Ainsi, la relation établie en 1935 par Richter ne peut être extrapolée stricto-sensu à d'autres régions du monde, à d'autres données, sans tenir compte des mécanismes

Typologie des Structures	Classe de Vulnérabilité					
	A	B	C	D	E	F
MAÇONNERIE	Moellon brut - pierre tout-venant	○				
	Brique crue (adobe)	○				
	Pierre brute	○				
	Pierre Massive		○			
	Maçonnerie non armée avec des éléments préfabriqués		○			
	Maçonnerie non armée avec des planchers en béton armé		○			
BÉTON ARMÉ	Maçonnerie renforcée ou chaînée		○			
	Ossature sans conception parasismique		○			
	Ossature avec un niveau moyen de conception parasismique		○			
	Ossature avec un bon niveau de conception parasismique		○			
	Murs en béton armé sans conception parasismique		○			
	Murs en béton armé avec un niveau moyen de conception parasismique		○			
BOIS-ACIER	Murs en béton armé avec un bon niveau de conception parasismique		○			
	Bâtiments en charpente métallique		○			
BOIS	Bâtiments en bois de charpente		○			

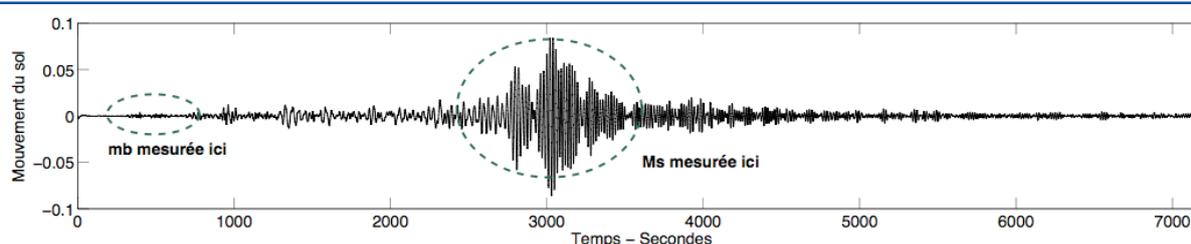
○ classe de Vulnérabilité — gamme la plus probable
--- gamme la moins probable, cas exceptionnel

L'échelle EMS98 propose une typologie des constructions européennes,

les distinguant en fonction des matériaux de constructions et de dispositions constructives améliorant leur résistance. (Source EMS98)

Chaque classe est qualifiée par un niveau de vulnérabilité, le A correspondant à une vulnérabilité forte (par exemple une construction en maçonnerie) tandis que le F correspond à une construction en béton armé respectant les dispositions constructives la rendant parasismique.

des séismes utilisés, des instruments qui enregistrent et de l'atténuation des ondes avec la distance dans la croûte terrestre. Elle n'est également valable que pour des données collectées à courte distance et, par conséquent, cette magnitude est depuis appelée magnitude locale ML.



Exemple de détermination des magnitudes Mb et Ms : séisme du Chili enregistré dans les Alpes.

Depuis Richter en 1935, d'autres façons de mesurer la taille d'un séisme ont été proposées, toujours avec le soucis de rendre globale l'estimation de la taille du séisme.

La magnitude M_s dite des ondes surface est proche de l'esprit de la magnitude locale, à l'exception près qu'elle n'utilise qu'un type d'ondes, les ondes de surface, contenues dans le sismogramme. Cette magnitude est encore très utilisée puisqu'elle permet de caractériser les séismes qui vont générer beaucoup d'ondes de surface (par exemple les séismes sur des failles en coulissage comme la faille de San Andreas en Californie ou la faille Nord-Anatolienne de Turquie). Au contraire, elle ne pourra pas être utilisée pour des séismes profonds qui ne génèrent que très peu d'ondes de surface, qui sont pourtant les plus gros séismes. Elle présente l'inconvénient de ne pouvoir être utilisée pour l'alerte rapide puisque les ondes de surface, moins rapides que les ondes de volume, apparaissent tardivement sur les sismogrammes.

La magnitude M_b , dite des ondes de volume, utilise les premières ondes rapides qui arrivent sur le sismogramme, essentiellement composées d'ondes de volume. Elle permet à grande distance d'évaluer la taille du séisme, et elle est par conséquent bien adaptée aux séismes situés à grande profondeur, comme cela est le cas dans les zones de subduction. Elle présente cependant l'inconvénient de ne plus caractériser correctement la taille du séisme dès que la surface de rupture devient importante. C'est le problème de la saturation des magnitudes, traduisant finalement l'empirisme de ces grandeurs car elles caractérisent des observations plutôt que la taille réelle des tremblements de terre.

C'est pour cela qu'en 1977, Hiroo Kanamori introduit la magnitude M_w , dite magnitude de moment. Son estimation repose sur la physique de la rupture et elle est directement proportionnelle à l'énergie émise lors de la rupture sismique, et donc à sa taille. Une partie de l'énergie libérée sert à étendre la rupture d'une part ou est absorbée sous forme de chaleur des roches en frottement sous pression. Moins immédiate et évidente à calculer que les magnitudes précédentes, elle utilise des processus de traitement élaborés des sismogrammes. C'est de cette magnitude dont on parle, lorsque les médias rapportent des informations sur les séismes produisant des catastrophes. Le séisme le plus gros jamais enregistré s'est produit en 1960 au Sud du Chili. De magnitude $M_w=9.5$, il a provoqué des destructions importantes et des changements dans le paysage. En comparaison, le séisme de Sumatra de 2004 avait une magnitude M_w de 9.3.

Magnitude	Longueur caractéristique de la rupture	Coulissage	Durée de la rupture	Energie 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

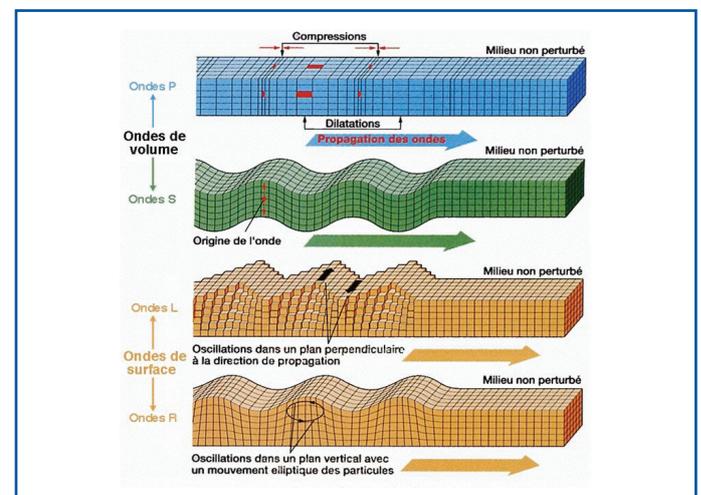
Ordre de grandeur des paramètres physiques

(la longueur de la rupture le long de la faille, le glissement ou coulissage entre les deux lèvres de la faille et la durée de la rupture) **et des magnitudes de moment des séismes en fonction de l'énergie libérée.**

Entre une magnitude 4 et 5, 30 fois plus d'énergie est libérée (d'après Perrier et Madariaga, 1991).

L'observation sismologique

La sismologie a toujours été une science qui s'est appuyée sur l'analyse et la compréhension d'observations faites sur le terrain. Parmi la multitude d'ondes qu'ils génèrent, l'onde P sonore peut être entendue par l'Homme. Les instruments, plus sensibles que l'Homme, permettent d'enregistrer la totalité des ondes et remonter ainsi à la structure de la terre et à la mécanique de la rupture sismique. Certains permettent également de mesurer le mouvement du sol contre lesquels les ingénieurs devront construire des habitations résistantes. Observer les séismes est la base de la progression de notre connaissance sur les tremblements de terre et la structure de la terre profonde et superficielle.

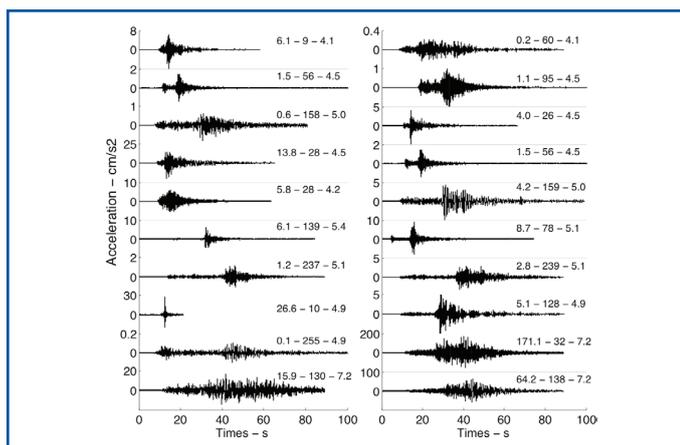


Exemples de propagation des ondes sismiques :

On distingue les ondes de volume (P et S) des ondes de surface (Love L et Rayleigh R).

Les ondes sismiques Lors de petits séismes (sans dégât de structures), les témoignages rapportent un bruit (détonation, grondement, roulement, bruit sourd...) qui précède ou accompagne la secousse voire est la plus forte perception du tremblement de terre. Ce son vient de la nature des ondes qui sont générées par la source sismique au moment de la rupture. En réalité, une rupture sismique va libérer de l'énergie sous forme d'une multitude de vibrations dites sismiques qui, se propageant dans la terre sous la forme d'ondes sismiques, vont nous informer sur les propriétés des matériaux traversés et sur la physique de la rupture sismique. Pour cette raison, enregistrer les tremblements de terre est vite devenu le fondement de la sismologie.

Un séisme génère des ondes se propageant dans toutes les directions : ces dernières traversent la terre avec des vitesses et des modes de déplacement différents. On distingue en général les ondes de volume des ondes de surface.



Les enregistrements des tremblements de terre n'ont pas tous la même allure (Source: RAP) :

- * Tous les tremblements de terre ne génèrent pas autant d'ondes de surface que d'ondes de volume.
- * Puisqu'elles ne voyagent pas à la même vitesse, toutes ces ondes vont se superposer sur les enregistrements des sismomètres.

LES ONDES DE VOLUME - Elles se propagent à l'intérieur de la terre à grande vitesse, celle-ci dépendant des propriétés des matériaux. Les ondes de volume vont :

* soit se propager en déplaçant le sol par dilatation et compression selon la direction de propagation de l'onde : on parle d'ondes de compression ou ondes primaires P. Ce sont les plus rapides (6 km.s⁻¹ près de la surface) et sont enregistrées en premier sur un sismogramme. Ce sont ces ondes qui sont responsables du grondement sourd qui accompagne un tremblement de terre puisqu'elles sont comparables aux ondes

émises par nos cordes vocales pour communiquer.

* soit se propager en déplaçant le sol perpendiculairement à la direction de propagation de l'onde. Elles sont plus lentes que les P et on les appelle ainsi les ondes secondaires S ou ondes de cisaillement. En mesurant la différence des temps d'arrivée des ondes P et S sur un sismogramme, il est possible de connaître la distance séparant l'hypocentre de la station de mesure.

LES ONDES DE SURFACE - Ce sont des ondes guidées par la surface de la terre, comme les vagues formées à la surface d'un lac. Moins rapides que les ondes de volumes, elles présentent néanmoins des amplitudes importantes. Deux types d'ondes de surface existent :

* les ondes de Love qui se déplacent comme des ondes S mais sans mouvement vertical : elles peuvent être à l'origine de nombreux dégâts aux constructions.

* les ondes de Rayleigh qui présentent un mouvement particulier décrivant une ellipse dans le plan de propagation de l'onde.

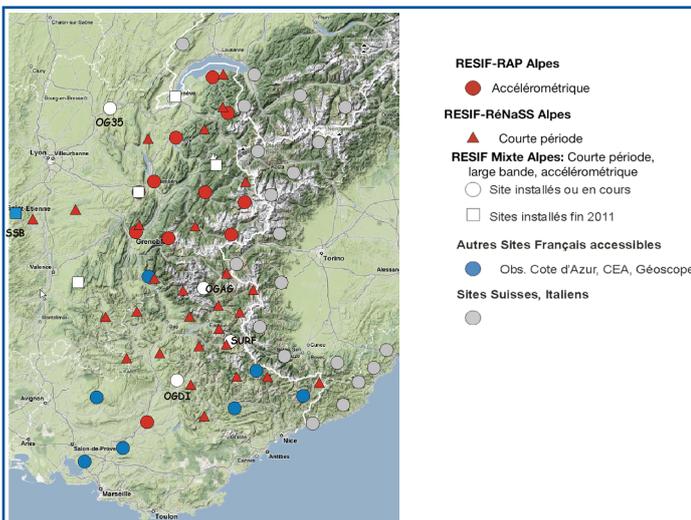
Les réseaux d'observation Il n'existe pas de capteur sismologique universel capable d'enregistrer les mouvements du sol avec suffisamment de sensibilité et de dynamique dans toute la gamme des périodes de vibration. Les réseaux sismologiques diffèrent donc en terme de type d'instruments et de géométrie (nombre et positions des stations), suivant les objectifs scientifiques ou opérationnels poursuivis.

LES RESEAUX VELOCIMETRIQUES COURTE-PERIODE.

Les sismomètres courte-période équipant ces réseaux servent à enregistrer la vitesse de déplacement du sol. On les appelle courte-période car ils sont conçus pour enregistrer les ondes de volume au-delà de 1Hz. Ils sont principalement utilisés pour étudier la sismicité proche et régionale. Ces stations sont généralement densément distribuées dans les zones sismiques et installées au rocher à l'écart des vibrations générées par l'activité humaine. Le réseau sismologique des Alpes (Sismalp) comporte ainsi une quarantaine de stations sismologiques sur l'ensemble du Sud-Est de la France, du Lac Léman aux Alpes-Maritimes. C'est une oreille très sensible visant à détecter, localiser et qualifier l'ampleur du séisme qui vient d'arriver. Le temps réel est un critère fondamental de ces réseaux.

LES RESEAUX VELOCIMETRIQUES LARGE-BANDE.

Ces réseaux sont équipés de capteurs large-bande extrêmement sensibles qui permettent d'enregistrer d'infimes mouvements du sol, de période allant de une seconde à plusieurs centaines de secondes. Ces réseaux sont utilisés pour étudier les ondes sismiques générées par des séismes lointains, les périodes propres de vibration de la terre ou encore la marée terrestre. On installe en général les capteurs tout autour du globe, dans des endroits calmes afin d'avoir des niveaux de détection très bas. Ces réseaux ont pour mission une collecte la plus complète de la donnée sismologique au détriment des aspects temps réel : le choix du site est fonction du calme sismique.



Stations des réseaux alpins d'observation sismologique

LES RESEAUX ACCELEROMETRIQUES.

Ces réseaux sont équipés de capteurs mesurant les mouvements du sol sans saturer dans la gamme de fréquences où les bâtiments et les ouvrages sont les plus vulnérables. Ils servent principalement aux ingénieurs afin de connaître le mouvement contre lequel se protéger et aux sismologues qui s'intéressent aux mouvements sismiques à proximité immédiate de la faille. Dans les Alpes, le Réseau Accélérométrique Permanent (RAP) opère ainsi une trentaine de stations à proximité des zones sismiques actives et en milieu urbain, sur les sols sédimentaires et dans les bâtiments. La disposition des capteurs sera donc différente de celles des réseaux précédents avec de fortes concentrations dans les zones urbaines.

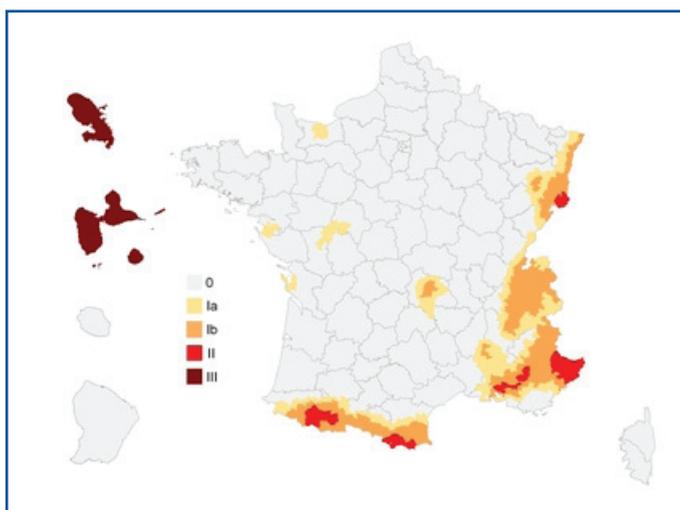
Prévention sismique

L'aléa sismique De la même façon que l'on parle de crue décennale ou centennale pour exprimer le risque hydraulique, le risque sismique s'appuie sur une estimation de l'aléa sismique en fonction d'une période de retour. On parle d'une période de retour de 475 ans, un chiffre mathématique qu'il est erroné d'interpréter sous le précepte : un séisme destructeur survient tous les 475 ans ! En effet, afin de mieux tenir compte du caractère aléatoire des tremblements de terre, cette période de retour de 475 ans correspond à une probabilité de 10% de subir un mouvement supérieur au niveau réglementaire sur 50 ans, durée considérée comme la durée de vie standard d'une construction courante. Les séismes sont indépendants les uns des autres et la durée entre deux événements peut être plus longue... ou plus courte.

Le zonage sismique Le zonage sismique de la France s'appuie sur le principe de l'approche probabiliste : cette dernière consiste à évaluer la possibilité (ou probabilité) d'observer un mouvement sismique de référence sur une période donnée et contre lequel se protéger. Cette approche, largement utilisée dans le monde, suit trois étapes : (1) la reconnaissance et la caractérisation des zones sismogènes capables de générer des séismes, puis (2) la sélection d'un modèle de prédiction du mouvement du sol permettant d'estimer la probabilité qu'en un site donné, le mouvement produit par ces séismes dépasse un niveau donné, et enfin (3) la combinaison de ces taux d'activité sismique par zone, et les mouvements du sol associés, pour obtenir, en chaque point du territoire, la probabilité annuelle de dépassement en fonction du niveau de mouvement considéré.

(1) Identifier les zones potentiellement capables de générer un séisme. Selon la connaissance de la tectonique active de la région concernée, les zones où peuvent se produire des séismes sont identifiées le long des failles reconnues comme étant actives. Dans le cas de la France où la sismicité est diffuse et les failles mal connues, il convient de considérer des zones couvrant des régions vastes mais homogènes d'un point de vue tectonique. En fonction de la sismicité observée sur chaque zone, constituée des séismes passés (catalogue historique, période pré-instrumentale) et de la sismicité récente (catalogue instrumental fourni par les réseaux de surveillance), il est possible d'établir un modèle de sismicité qui décrit les taux annuels des magnitudes pouvant se produire dans une zone source.

(2) Estimation du mouvement du sol. Des modèles de prédiction du mouvement du sol permettent d'estimer les mouvements vibratoires du sol que peuvent produire les séismes futurs dans



Zonage PS92 (source: site du plan séisme) :

L'ancien zonage de la France, dit des PS92, définit les zones les plus sismiques (en rouge, orange et jaune). Il est principalement basé sur la sismicité historique, notamment les séismes de Bâle (1356) à l'Est, de Provence (1909) et Alpes-Maritimes (1564, 1644, 1887) dans le Sud-Est, de Catalogne (1428) et de Bigorre (1660) dans les Pyrénées, et utilise une approche à base statistique.

ces zones de sismicité diffuse. Ces modèles sont établis en fonction de modèles physiques simples décrivant l'amplitude des vibrations en fonction de la magnitude du séisme, de la distance et du type de sol. Ces modèles sont calibrés sur les données collectées par les réseaux d'observations sismologiques.

(3) En associant le modèle de sismicité et les modèles de prédiction du mouvement du sol on peut calculer le taux d'occurrence annuel de l'amplitude des mouvements sismiques.

--> Modèle d'occurrence des séismes dans le temps. Les séismes, ainsi que les mouvements vibratoires qu'ils provoquent, sont supposés se produire de façon indépendante dans le temps: la possibilité qu'un séisme survienne ne dépend donc pas du temps écoulé depuis le dernier séisme s'étant produit. Traduit mathématiquement, la sismicité (ainsi que l'accélération engendrée) suit une loi de Poisson, qui permet d'estimer la probabilité P qu'un phénomène se produise au moins une fois pendant une période t selon la relation: $P=1-e^{-t/T}$.

Puisque la durée de vie moyenne d'un ouvrage est de 50 ans, l'Autorité Nationale, considérant l'impact économique qu'elle engendre, impose que l'agression sismique de référence corresponde à une probabilité de dépassement sur 50 ans (t) de 10% (P), ce qui conduit à considérer une période de retour T de 475 ans.

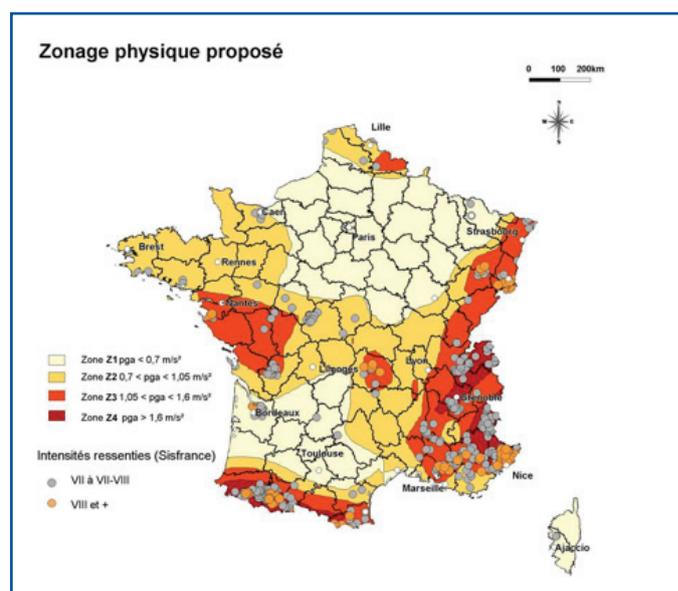
Avec un découpage en différentes zones de sismicité, une association avec différents niveaux de sollicitation, et une

adaptation au découpage administratif français (contours communaux), on obtient le zonage réglementaire de la France auquel se référer pour toute construction neuve.

Pour une construction donnée, outre la prise en compte de la zone de sismicité dans laquelle elle se situe, le niveau de sollicitation pour le dimensionnement devra aussi être modulé en fonction de deux autres types de caractéristiques : la classe d'importance et les conditions de site.

Pour certains types de construction ayant une importance pour la sécurité civile et pour lesquels une continuité de service est nécessaire, on augmente l'accélération du sol contre laquelle se protéger. Ceci revient à augmenter la période de retour (ou diminuer la probabilité de dépassement sur une période donnée). Les constructions sont ainsi classées en « classes d'importance » et une valeur est affectée à chaque classe.

Par ailleurs, les effets de site sont pris en considération de manière forfaitaire au travers d'une classification des sols en un petit nombre de catégories, et d'une modulation de l'action sismique en fonction de la catégorie de sol et de la période propre de l'immeuble. D'une façon générale, les sols de qualité médiocre donnent lieu à une augmentation de niveaux réglementaires, surtout pour des immeubles de grande hauteur et autres constructions à longue période propre.



Ebauche du nouveau zonage EC8 de la France :

cette carte établie à partir d'une approche probabiliste vise à intégrer l'ensemble des connaissances des géologues, géophysiciens et sismologues, en replaçant les événements historiques dans leur contexte tectonique.

Eclairages des sciences sociales sur la vulnérabilité sismique en France

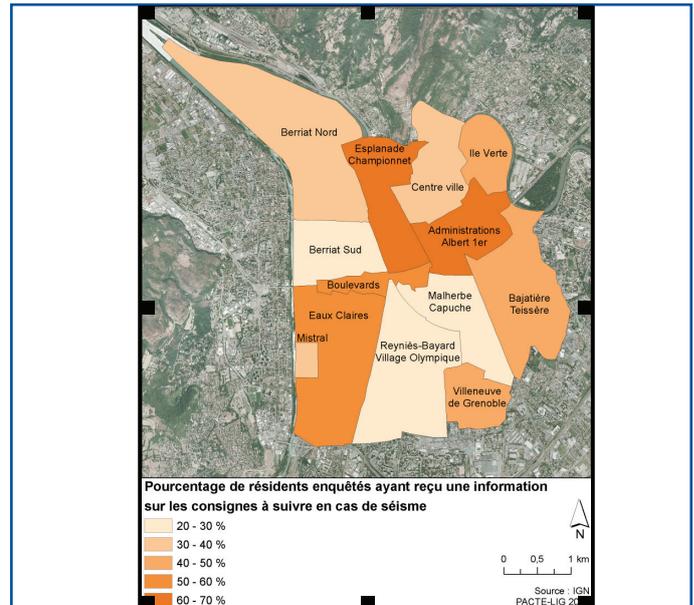
< Equipe GRCC-PACTE >

Observation des réactions post-sismiques

Les fortes mortalités constatées sont accentuées par la vétusté des bâtiments, des transformations périlleuses, des architectures dangereuses, des usages inadaptés, des effets secondaires amplificateurs et, surtout, une densification démographique mal adaptée aux sites géologiques. Les missions post-sismiques caractérisent les comportements des survivants : incompréhension, individus tétanisés, comportements réflexes de fuite, protection d'autrui, entre aide, déstabilisation liée à l'effondrement de la maison, difficulté à recréer du lien social, transformation des conditions de vie pour les sinistrés, problèmes de secours de masse. Les ruptures de mobilité et de flux entravent une résilience territoriale rapide. Dans certaines situations de croissance urbaine, la secousse, instabilité tellurique dans une crise politique durable, sanctionne une fragilité globale du développement économique, des compétences professionnelles et de la gouvernance institutionnelle. Toutefois, les progrès parasismiques offrent des solutions efficaces démontrées aux Etats-Unis, au Chili ou encore au Japon lors de séismes de magnitude importante. Les catastrophes et les succès techniques tendent à démontrer le lien entre compétences techniques, maîtrise professionnelle de la construction et organisation des règles d'urbanisme et de contrôle technique.

Enquêtes de perception Les enquêtes de perception permettent de saisir la compréhension du danger, d'établir les contraintes et opportunités de sécurité, d'affiner l'analyse des liens entre : vulnérabilité sociale, perception individuelle ou collective du danger, localisation des individus dans l'espace urbain, accès aux ressources de sécurité, mobilités en temps de crise. Outils d'information préventive, les cartes aident les autorités à décider. Les recherches actuelles perfectionnent les méthodologies d'enquête pour spécifier la vulnérabilité sociale, par exemple selon les déplacements quotidiens des populations.

Vulnérabilité "sociale" selon la fonction des bâtiments : Outre sa solidité, la fonction d'un bâtiment (résidence, commerce, école ...) détermine sa vulnérabilité sociale. La cartographie des enjeux signale la densité de population, la sensibilité des équipements (école, hôpital), le rôle de secours (préfecture, pompiers), les effets secondaires (fluides, barrage, usines



Cartographie des résultats d'une enquête de perception du risque sismique à Grenoble (2009)

chimiques). Ces informations accélèrent l'estimation des dégâts et les éventuels risques de dégradation supplémentaire. Cet affichage permet de fixer les priorités de prévention selon les densités, expositions et contraintes techniques.

Décisions parasismiques Problème aléatoire en France métropolitaine, la secousse sismique suscite une amnésie intergénérationnelle accrue par les migrations. En général, les solutions sont déléguées à des spécialistes.

Entre catastrophisme dissuasif et manque de vigilance sur conséquences des secousses modérées, il s'agit d'apprendre à stabiliser le mobilier, surveiller les techniques de construction, préparer son entourage. L'implication parasismique varie entre sécurité pour soi, ses proches, autrui ou les investissements.

Fugace, le danger sismique suscite une méconnaissance des responsabilités. La sécurité parasismique est contrainte par d'autres nécessités : difficultés techniques, propriété immobilière, coûts supposés. Les innovations professionnelles sont éparpillées. L'Etat encadre la réglementation et les professionnels négocient les solutions acceptables par le secteur de la construction. La décentralisation administrative multiplie les tutelles légitimes comme propriétaires d'ouvrages, comme régulateurs de sécurité ou comme financeurs. L'intervention des pouvoirs publics synthétise les injonctions de sécurité en composant avec les délégations professionnelles et, parfois, les attentes des usagers. Les problèmes de coordination professionnelle nécessitent des réinterprétations successives et laissent des marges d'interprétation des incertitudes et méconnaissances.

L'analyse des responsabilités de sécurité parasismique dans les écoles fait ressortir les difficultés de cohérence entre intervenants scolaires : Education Nationale, collectivités locales, spécialistes des secours, parents, enfants. La formation scientifique, les compétences professionnelles, la mobilisation d'équipe, l'arbitrage entre les coûts et responsabilités orientent la cohésion autour de projets de sécurité.

Enrichie d'une implication studieuse (« sismo-des-écoles »), la pédagogie tellurique est très satisfaisante. L'introduction des techniques parasismiques dans les référentiels pédagogiques de l'enseignement professionnel est progressive. Par contre, l'éducation physique et sportive reste à mobiliser pour la préparation à la protection des élèves : gestes réflexes, discipline pendant les mouvements de groupe, gestes de survie et premiers secours.

Discontinuité entre expertise, règles et actions Fruits d'une spécialisation extrême, les connaissances sismiques sont segmentées. Les progrès scientifiques sont diffusés parmi les professionnels du bâtiment, l'administration d'Etat et certains maîtres d'ouvrages.

L'expérience acquise aux Antilles en matière d'implication populaire, professionnelle et institutionnelle montre que la coordination des programmes permet d'homogénéiser les consignes de sécurité et favorise une compétence collective dans le bâtiment. Généralement, un décalage persiste cependant entre connaissances, compétences et responsabilités juridiques. Le défi collectif est de passer d'une réglementation réactive à une anticipation rationnelle des probabilités de risques. A ce titre le Plan Séisme national synthétise les informations liées aux observations post-sismiques, à l'édiction des Eurocodes 8 pour la construction, à la révision du zonage sismique national, à l'intégration des effets de site dans les Plans de Prévention du Risque Sismique municipaux. La multiplication des référentiels locaux pose cependant des interrogations sur les interdépendances techniques et la cohérence entre prescriptions.

Urbanisme Produire une cohérence normative conditionne la capacité à concilier durabilité parasismique et renouvellement urbain. La spécificité de la vétusté du vieux bâti, éventuel patrimoine historique, accentue les dilemmes entre ignorance de la menace, entretien en l'état, modification d'usage, renforcement parasismique, reconstruction. L'existence d'îlots de vulnérabilité conduit à penser la sécurité à l'échelle du système urbain en prévoyant des refuges et en informant les populations les plus exposées.

Pour en savoir plus :

Les séismes

Bernard P., Qu'est-ce qui fait trembler la terre ? Collection Bulles de Science, EDP Science, 2003.

Madariaga R., Perrier G. Les tremblements de terre. Presses CNRS, 1991
Documents pédagogiques d'EOST, Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre : <http://eost.u-strasbg.fr/pedago/Accueil.html>

Sismicités historique et instrumentale

Base de données SisFrance: <http://www-sisfrance.fr>

Levret A.M., Cushing M., Peyridieu G. (1996). Recherche des caractéristiques des séismes en France. Atlas de 140 cartes macro-sismiques, edited by IPSN, Fontenay-aux-Roses, France, 2 vols.

Thouvenot F. et al., 2003. The Belledonne Border Fault : identification of an active seismic strike-slip fault in the western Alps, Geophys. J. Int. 155.

La vulnérabilité sismique

Guéguen, 2009, Habilitation à Diriger les Recherche, Université J. Fourier. Combescure et al., Cahier technique AFPS n°25.

Coburn and Spence, Prentice Hall Eds, 2002.

La conception parasismique

Les grands ateliers : www.lesgrandsateliers.fr

Site de l'Office Fédérale Suisse de l'Environnement (OFEV) : <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00799/index.html?lang=fr>
Conception parasismique - Cahier technique de l'AFPS :

<http://www.afps-seisme.org/>

La réglementation, le zonage sismique

Association Française de ParaSismique : www.afps-seisme.org/

Site du Plan séisme du Ministère de l'Ecologie : <http://www.planseisme.fr/>
Règlementation EC8 : <http://www.eurocode1.com/fr/eurocode8.html>

Les réseaux d'observation

Missions d'ISTerre : <http://isterre.obs.ujf-grenoble.fr/rubrique40.html>

Sismalp : <http://isterre.fr/rubrique274.html>

Rap : <http://isterre.fr/rubrique285.html>

Omiv : <http://isterre.fr/rubrique286.html>

GPS : <http://isterre.fr/rubrique284.html>

Resif : <http://www.resif.fr/>

CEA : <http://www-dase.cea.fr/>

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

Bureau central sismologique français : <http://www.franceseisme.fr/>

Les effets de site

Bard, 2002, Risque Info n°13, IRMA, Grenoble.

L'éducation au risque sismique

Institut des Risques Majeurs de Grenoble (IRMa) :

<http://www.irma-grenoble.com/>

Pôle Alpin d'études et de recherche pour la prévention des Risques

Naturels (PARN) : <http://www.risknat.org/>

Plateforme pour le Prévention des Risques Majeurs (PRIM) : www.prim.net
Prévention2000, portail éducatif sur les risques naturels :

http://www.prevention2000.org/cat_nat/index.htm

OSUG



Observatoire des
Sciences de l'Univers
de Grenoble



TERREUNIVERSEENVIRONNEMENT

