

# Les séismes : Quel risque pour les Alpes ?

par Clotaire MICHEL

## Introduction

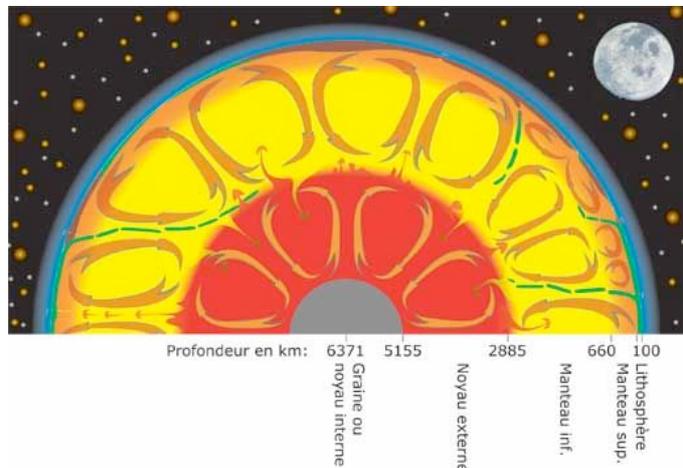
Ce document donne quelques clés pour comprendre les déplacements qui agitent la partie superficielle de la Terre. Les ordres de grandeurs des durées de ces déplacements sont très étendus : du million d'années pour les déplacements de plaques à la seconde pour la rupture sismique. Ces mécanismes existent depuis 2 milliards d'années et seront toujours présents avec la même intensité à l'échelle humaine. Les études sismologiques et tectoniques permettent de mieux connaître les limites de plaques tectoniques et les failles active et donc de déterminer où un tremblement de terre peu probablement arriver et à quelle échelle de temps. Cette échelle est malheureusement généralement supérieure à la durée de vie humaine ce qui rend finalement les séismes, au contraire des éruptions volcaniques, imprévisibles.

Une première partie explique les origines des séismes, la seconde la façon dont ils sont perçus à la surface et enfin une dernière partie explique quel danger ils font peser sur les hommes.

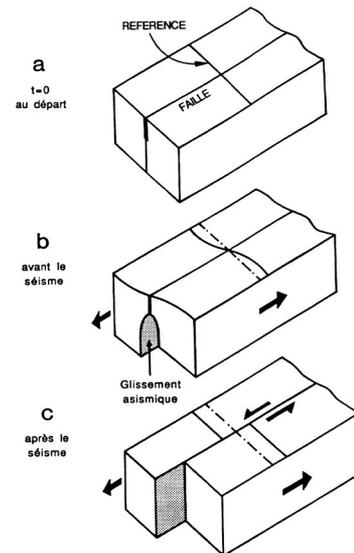
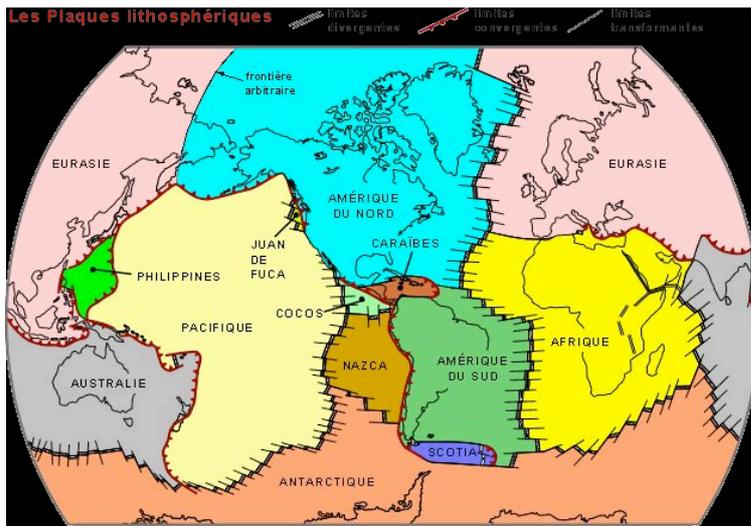
## I Un peu de tectonique

### 1. Séismes et tectonique des plaques

La tectonique est la science qui étudie les déformations. La Terre est composée d'enveloppes concentriques qui interagissent d'une manière complexe et mal connue. On sait que les mouvements de convection dans le manteau (à comportement visqueux) sont le moteur de mouvements de la lithosphère (considérée comme rigide). Celle-ci se découpe grossièrement en plaques qui se déplacent les unes par rapport aux autres. Pour accommoder ces



déformations, des ruptures brutales sont souvent nécessaires. On appellera séisme une rupture brutale d'une partie de la lithosphère terrestre. Ainsi la plupart des séismes ont lieu aux frontières des grandes plaques lithosphériques. Les plaques ne sont pas tout à fait rigides donc il existe également des déformations intraplaques également à l'origine de séismes. Ces séismes cassent le plus souvent des zones déjà affaiblies : des failles préexistantes. Il existe d'autres origines pour les séismes comme la remontée de matériau chaud (volcanisme) qui fracture la lithosphère froide ou encore des effondrements de cavité, des tirs de carrières...



## 2. Le fonctionnement d'une faille

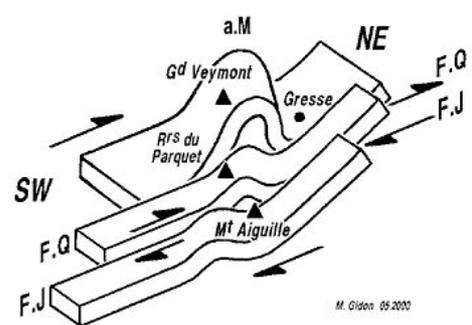
Lorsqu'on sert les patins d'un frein de vélo sur une roue mouillée, il y a deux possibilités : soit il glisse sur la roue en la freinant (cas favorable), soit il bloque la roue puis glisse d'un coup rendant le freinage un peu chaotique. Pour une faille, le premier cas est appelé glissement aismique, dans le deuxième, on a un comportement sismique (« stick-slip »). Dans un premier temps, la déformation est accommodée élastiquement puis quand la contrainte est trop forte, la faille casse brutalement. L'un et l'autre des comportements sera présent pour une faille réelle : vers la surface, les roches sont froides et cassantes alors qu'en profondeur, elle sont chaudes et facilite un glissement aismique.

Pendant un séisme, la rupture se propage sur la faille tant qu'elle trouve des conditions favorables, elle s'arrête sur un obstacle comme un changement de direction de la faille par exemple. Il n'atteint généralement la surface que pour des magnitudes élevées, supérieures à 6. Le glissement sur une faille n'est pas le même partout. On parlera d'« aspérité » là où il est maximal. Ainsi toute la faille n'est pas déchargée de sa contrainte après un séisme. Le nouvel état de contrainte n'est pas très stable et d'autres séismes plus petits (ou pas) se chargent de le stabiliser : les répliques.

La plupart du temps on ne voit pas la faille qui a créé le séisme et les seules informations dont on dispose sont les vibrations du sol qui sont créées lors de la rupture : les ondes sismiques.

## 3. Tectonique du Vercors et faille de la Queyrie (Cléry)

Le Vercors est un massif de l'arc alpin orienté NE-SW composé de roches sédimentaires essentiellement d'âge Crétacé (ère secondaire) en particulier c'est le massif le plus marqué par la présence des calcaires de l'Urgonien. D'un point de vue structural, c'est simplement le prolongement du Sud de la Chartreuse. La faille de la Queyrie, orientée N45, est le seul grand



décrochement dextre du Vercors (il y en a de nombreux en Chartreuse) réactivé pendant la formation des Alpes (-20 à -10 Ma) et en particulier pendant le plissement du Vercors car elle délimite des compartiments dont le plissement est différent.

Au Pas des Bachassons, on traverse une zone de cisaillement associée au fonctionnement de la faille. La fracturation, provoquée par la dissolution des roches, atteste d'un fonctionnement aismique à cet endroit. Le ravin a été creusé dans un compartiment allongé de roches plus tendres remonté lors du fonctionnement de la faille. Vers le SW, de grandes surfaces ont été polies par un fonctionnement sismique cette fois-ci. Le déplacement horizontal total est de l'ordre de 3 à 4 km alors que le déplacement vertical est négligeable. Ce déplacement a généré un filetage du plan de faille à la manière d'une vis. Au cœur de la faille on remarque également une zone broyée (gouge) de quelques dizaines de centimètres.

L'existence de structures à la fois sismique et aismique atteste du fonctionnement en cycles alternant les déformations rapides (séismes) et lentes.

Cette faille ne présente aucune sismicité sur les dernières dizaines d'années mais elle est considérée comme active.

## II Les séismes vus de la surface

### 1. Ondes sismiques

Le relâchement des contraintes lors d'un séisme libère de l'énergie en particulier sous forme d'ondes. Les plus rapides (compression/dilatation des roches) sont appelées ondes P (pour Premières arrivées). Les ondes de cisaillement (ondes S pour secondes) arrivent ensuite. Leur interaction avec la surface crée un type d'onde encore plus lente : les ondes de surface (ondes de Rayleigh et de Love). Elles sont très énergétiques et donc très nuisibles pour les constructions. L'amplitude des ondes diminue au fur et à mesure qu'elles se propagent mais elles peuvent localement être piégées ce qui augmente leur amplitude, c'est l'effet de site. Le piège peut être topographique (une colline par exemple) ou géologique (un bassin sédimentaire comme Grenoble).

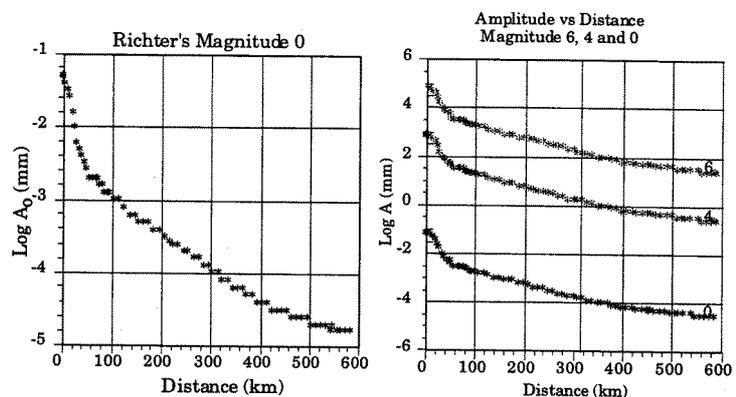


Figure 2-12. Amplitude versus distance for a  $M_L$  0 earthquake (left) and for  $M_L$  0, 4 and 6 earthquakes on the right. Note that magnitude is given on a logarithmic scale. A change in magnitude is simply a shift of the  $M_L$  0 curve.

Magnitude	Longueur de faille	Coulissage moyen	Durée de rupture
9	800 km	15 m	250 s
8	200 km	5 m	60 s
7	50 km	1 m	15 s
6	10 km	20 cm	3 s
5	3 km	5 cm	1 s
4	1 km	1 cm	0,3 s

Variabilité : 50 %

## 2. Taille d'un séisme

En 1935, M. Richter voulait ordonner la taille des séismes qu'il enregistrait en Californie. Pour un même séisme, il notait l'amplitude des ondes sur son sismomètre en fonction de la distance à l'épicentre du séisme. La courbe était toujours sensiblement la même donc il a décidé de la traduire : la courbe correspondant à la magnitude (ML, magnitude locale) 0 provoque arbitrairement un déplacement sur le sismomètre de 1  $\mu\text{m}$  à 100 km et ainsi de suite les autres magnitudes. Evidemment cela dépend de la région dans laquelle on se trouve et du sismomètre utilisé. Toutes les autres méthodes mises au point pour déterminer la taille d'un séisme ont été recalées pour garder toujours la même « échelle » (la fameuse « échelle de Richter ». En particulier la magnitude de moment  $M_w$  de Kanamori utilise pour la première fois (années 70) un paramètre physique lié à la source du séisme et à l'énergie libérée : le moment sismique. Mais aucune méthode de calcul de la magnitude n'est parfaite et chaque observatoire en utilise une différente, plus ou moins bien adaptée ce qui fait que pour un séisme plusieurs magnitudes souvent assez différentes sont données.

Pour mesurer la taille d'un séisme, on peut également chiffrer les dégâts en surface à l'aide d'une échelle d'intensité et les cartographier. L'intensité maximale observée est une indication de la taille du séisme. C'est la seule dont on dispose pour les séismes historiques.

## III Risque Sismique

### 1. Généralités

Le risque est la combinaison de trois facteurs :

- un aléa. Pour le risque sismique, il faut savoir quelle probabilité on a de subir des mouvements de telle amplitude. Cela comprend la magnitude du séisme attendu mais aussi les effets de propagation, les effets de sites ainsi que les effets induits (glissements de terrain, raz de marée, liquéfaction des sols...)
- des enjeux. Il s'agit de savoir quelle est la valeur économique et sociale de la zone étudiée. En effet, une zone désertique n'est pas sujette au risque sismique
- une vulnérabilité. Les constructions étudiées peuvent supporter des secousses plus ou moins importantes. En effet, les pertes en vies humaines (en dehors des effets induits) sont généralement dues à la chute des constructions sur les populations. Les codes parasismiques visent à réglementer la résistance des bâtiments aux séismes en privilégiant les déformations irréversibles (quitte à devoir détruire après) sur la limite d'effondrement. Il est ainsi conseillé, en cas de séisme, dans un premier temps de se protéger des chutes d'objets (sous une table solide par exemple) puis de s'éloigner des constructions fragilisées le cas échéant.

### 2. Le risque dans les Alpes

La sismicité du bassin Méditerranéen est importante du fait de la collision entre la plaque Afrique et la plaque Eurasienne. Elle est surtout concentrée en Turquie, Grèce et Italie. La France est un pays de sismicité modérée. Les séismes sont

restreints aux chaînes de montagne récentes (Alpes, Pyrénées) mais aussi anciennes (Vosges, Massif Armoricaire, Massif Central) et aux fossés d'effondrement, structures marquant l'ouverture avortée d'un océan (Bassin du Rhin et de la Limagne). Elle a néanmoins connu des séismes destructeurs comme Bâle en 1356 (Intensité X, Magnitude 7) ou Lambesc en 1909 (IX, 6.2). Les derniers séismes ayant fait des quelques dégâts en France ont été Annecy en 1996 (VII-VIII, 5.3), St Dié en 2003 (VI-VII, 5.4) ou Besançon en 2004 (V-VI, 5.1).

Le séisme d'Annecy (Epagny) a été particulièrement étudié car c'est le plus gros séisme situé dans la zone de couverture du réseau de surveillance des Alpes SISMALP mis en service en 1989 et basé à l'Observatoire de Grenoble. Ce séisme est le résultat du coulisage senestre de la faille de la Vuache (sur 5 km de long soit 10 km<sup>2</sup>) qui se déplace en moyenne de 0,5 à 1 mm par an (soit 100 fois moins que la faille de San Andreas en Californie). Cette faille est particulièrement surveillée car elle présente un trou de sismicité entre la montagne de Mandallaz et la montagne du Vuache. Une autre faille particulièrement surveillée est la faille de Belledonne orientée N35° sur laquelle a eu lieu le séisme de Laffrey (4.1, VI) en 1999. Un scénario probable sur lequel les estimations de risque sont calculées pour Grenoble serait un séisme de magnitude 5.5 sur la faille de Belledonne à 15 km de Grenoble (Lancey). L'objectif est de déterminer dans ce cas quels seraient les dommages dans la ville. Cela doit prendre en compte les effets de résonance du bassin de Grenoble constitué de 500 m de sédiments glaciaire quaternaires qui piègent les ondes et les amplifient, comme dans la plupart des vallées alpines.

Autour de Grenoble, on connaît 5 séismes qui ont fait des dégâts : le séisme de Bugey-Chautagne en 1822 (Bresse, VII-VIII), celui de Saint-Clément en 1935 (Embrunais : VII-VIII), celui de Saint Paul en 1959 (Haute-Ubaye : VII-VIII), celui de Corrençon en 1962 (VIII, 5.3) et celui d'Epagny-Annecy. Ces séismes sont trop peu nombreux pour faire une prévision statistique même grossière des séismes dans les Alpes c'est pourquoi on a recours à l'étude de scénarii. Depuis 1969 et surtout 1992, les règles parasismiques françaises obligent à construire selon des normes dans les zones sismiques. Dans le zonage actuel, Grenoble se trouve en zone Ib (sismicité faible) mais sur la futur carte, Grenoble et Chambéry deviendront les agglomérations les plus réglementées de France métropolitaine.

### 3. Le risque dans le monde

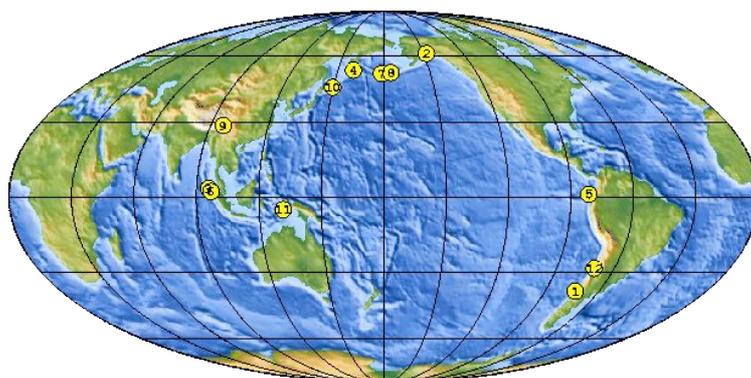
Les sismologues ont un recul d'une petite centaine d'années en ce qui concerne la récurrence des séismes, en particulier des gros. Comme pour les séismes destructeurs des Alpes ils sont trop peu nombreux pour pouvoir les prévenir. Le tableau suivant présente le nombre de séismes ayant lieu dans le monde chaque année depuis 1990 (Source : USGS – NEIC).

Mag.	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
8.0 à 9.9	0	0	0	0	2	2	1	0	1
7.0 à 7.9	18	16	13	12	11	18	14	16	11
6.0 à 6.9	109	96	166	137	146	183	149	120	117
5.0 à 5.9	1617	1457	1498	1426	1542	1318	1222	1113	979
Décès	52056	3210	3920	10096	1634	7980	589	3069	9430

Mag.	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005		Moy.
8.0 à 9.9	0	1	1	0	1	2	1		1
7.0 à 7.9	18	14	15	13	14	13	2		18
6.0 à 6.9	116	158	126	130	140	140	81		120
5.0 à 5.9	1104	1345	1243	1218	1203	1457	856		
Décès	22662	231	21357	1685	33819	284012	1950		

Voilà les plus gros séismes enregistrés dans le monde depuis 1900 :

N°	Localisation	Date	Magnitude
1.	Chili	22 05 1960	9.5
2.	Au large de la côte W du N de Sumatra	26 12 2004	9.3
3.	Alaska (Prince William Sound)	28 03 1964	9.2
4.	Kamchatka	04 11 1952	9.0
5.	Au large de l'Equateur	31 01 1906	8.8
6.	N de Sumatra, Indonesie	28 03 2005	8.7
7.	Alaska (Rat Islands)	04 02 1965	8.7
8.	Alaska (Andreanof Islands)	09 03 1957	8.6
9.	Tibet (Assam)	15 08 1950	8.6
10.	Iles Kouriles	13 10 1963	8.5
11.	Mer de Banda, Indonesie	01 02 1938	8.5
12.	Frontière Chili-Argentine	11 11 1922	8.5



USGS National Earthquake Information Center

La plupart sont situés en contexte de subduction (une plaque qui passe sous une autre). Autour de l'océan Pacifique. Grâce aux mesures de déformation par GPS, on peut maintenant savoir quelles sont les déplacements relatifs entre les plaques et surtout si des portions de failles sont bloquées et donc que les déformations s'accumulent. Au Népal par exemple le chevauchement principal de la plaque Eurasienne sur la plaque indienne ne coulisse actuellement pas et aucun gros séisme n'a eu lieu dans la période historique pour relâcher les contraintes accumulées. On peut craindre un tel séisme à l'échelle de plusieurs centaines d'années sans pouvoir donner plus de précisions.

## Conclusion

La région des Alpes est la zone qui a connu le plus de séismes en France métropolitaine. Certains de ces séismes ont été destructeurs et ils peuvent se reproduire sans que l'on puisse savoir à quel moment. Par ailleurs les vallées alpines sont la plupart remplies par des sédiments issus des glaciations quaternaires qui amplifient le mouvement sismique au sol. Le risque reste cependant modéré en comparaison des frontières de plaques subductantes, autour du Pacifique en particulier ou dans la zone de collision Inde/Asie. Des séismes faisant plusieurs centaines de milliers de victimes comme à Sumatra auront sans doute lieu dans les décennies à venir compte tenu de la concentration (en augmentation) des populations vulnérables dans ces zones.

## Bibliographie :

Musée cantonal de Géologie de Lausanne (Suisse) <http://www.unil.ch/mcg>  
Madariaga et Perrier, Les tremblements de terre, 1991  
Lambert et al., Les tremblements de terre en France, 1997  
Kramer, Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, 1997  
Archuleta et al., 1997  
USGS (US Geological Survey) <http://earthquake.usgs.gov> (en anglais)  
Sismalp <http://sismalp/>  
"GEOL-ALP" (<http://www.geol-alp.com>), par Maurice GIDON, 1998-2005