UNIVERSITÉ DE GENÈVE

Archive ouverte UNIGE
https://archive-ouverte.unige.ch

Article professionnel | Article | 1987

Published version | Open Access

This is the published version of the publication, made available in accordance with the publisher's policy.

Évaluation de la situation sismique du canton de Genève

Amato, Edgardo; Amberger, Gad; Blondel, Thierry Jacques Alain; Charollais, Jean-Jacques

How to cite

AMATO, Edgardo et al. Évaluation de la situation sismique du canton de Genève. In: Cahiers de la Faculté des sciences / Université de Genève, 1987, n° 15, p. 95–108.

This publication URL: https://archive-ouverte.unige.ch/unige:182406

© This document is protected by copyright. Please refer to copyright holder(s) for terms of use.

EVALUATION DE LA SITUATION SISMIQUE DU CANTON DE GENÈVE

THEORIE DES PLAQUES* OU TECTONIQUE* GLOBALE

Les synthèses ayant pour objet le globe terrestre dans son ensemble datent du début du siècle ; le géophysicien allemand WEGENER a le premier supposé que la position des continents a pu varier au cours de l'histoire de la Terre. Si sa théorie sur la constitution interne du Globe a été en partie infirmée depuis, il a toutefois été récemment démontré par des mesures faites à partir de satellites que les continents se déplacent.

Les développements récents importants, dans la compréhension de la mécanique du Globe, ne proviennent pas de la géologie des continents, mais de l'étude des fonds océaniques. Ceux-ci ont été prospectés, non seulement par quelques forages, mais surtout par des campagnes de mesures géophysiques, en particulier par les méthodes magnétométriques, afin de repérer les traces que laissent, dans certaines roches volcaniques, les anciennes variations du champ magnétique terrestre.

Le modèle explicatif, actuellement proposé pour la compréhension des phénomènes affectant la croûte terrestre, présume d'une constante expansion du fond des océans, à partir de « rides centrales » (appelées aussi « rifts », « dorsales », ou « crêtes médio-océaniques »), caractérisées par un important volcanisme sous-marin et de fréquents tremblements de terre. Il se forme ainsi de vastes « plaques » en mouvement lent (20 à 150 cm par siècle) (fig. 1). Il existe deux grands types de plaques* : les « plaques océaniques », constituées en majeure partie de roches volcaniques, ou profondes car provenant du manteau, denses (basaltes et serpentines), et les « plaques continentales », composées d'un mélange hétérogène plus léger de roches granitiques, métamorphiques, volcaniques et sédimentaires. Ces différentes plaques, constituant l'ensemble de la croûte terrestre, peuvent entrer en collision les unes avec les autres. Dans ce cas, la plaque la plus dense (plaque océanique) plonge en profondeur sous la plaque la plus légère (plaque continentale) ; il s'agit là d'un phénomène que les géologues appellent la « subduction ». Il se forme à leur contact de grandes fosses océaniques bordées de zones volcaniques et sujettes à de fréquents et violents tremblements de terre (fig. 2). L'exemple le plus démonstratif en est donné à la périphérie de l'Océan Pacifique ; cette frange bordière très active à l'échelle géologique est d'ailleurs qualifiée de « ceinture de feu ».

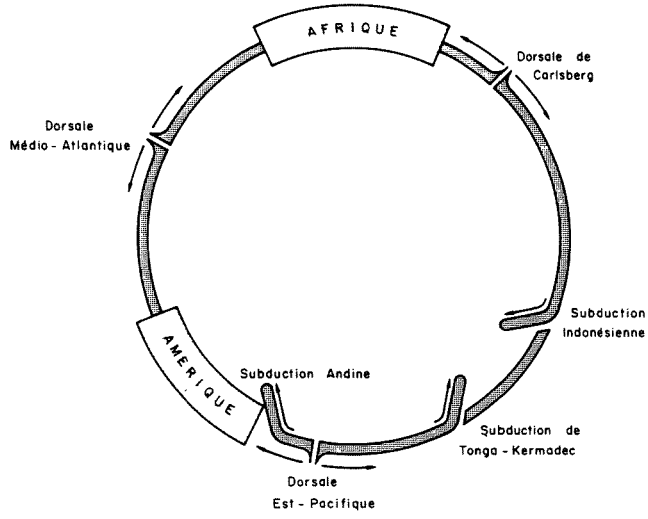

Fig. 1

COUPE GENERALE DU GLOBE TERRESTRE (d'après C. ALLEGRE, 1979).
Cette coupe illustre les principaux mouvements de la croûte terrestre au niveau des dorsales (crêtes médio-océaniques) et des zones de subduction, admis dans la théorie de la tectonique des plaques.

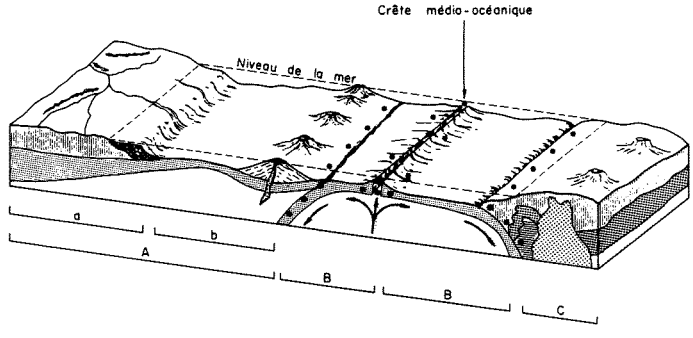

Fig. 2

RELATIONS ENTRE LES MOUVEMENTS DES PLAQUES ET LES ZONES DE FORTE SISMICITE (d'après B.A. BOLT, 1978).
A : plaque (a : partie continentale ; b : partie océanique)
B : plaque à croûte océanique (plaque océanique)
C : plaque à croûte continentale (plaque continentale)
* : zones à forte sismicité.

Pour la zone alpine du Plateau suisse, dont le Canton de Genève fait partie intégrante, les interprétations sur la nature géologique en profondeur de cette région sont plus délicates, car les structures actuelles résultent de la superposition d'au moins deux édifices montagneux. Les traces d'une première chaîne de montagnes, datant de la fin de l'ère Primaire*, subsistent au sein des roches granitiques et métamorphiques anciennes, reprises parfois, mais en général recouvertes, par les roches plus récentes constituant la chaîne alpine actuelle. Cette dernière, les géologues l'ont démontré depuis longtemps, résulte de la collision, à la fin de l'ère Tertiaire*, de deux grandes plaques continentales : la Plaque européenne et la Plaque africaine dont fait partie la péninsule italienne.

Cette « couverture alpine », formée en grande partie de roches sédimentaires est qualifiée de « plastique » de par sa facilité à subir des déformations, sous forme de plissements par exemple, occasionnées lors des mouvements très lents de la croûte terrestre. Par opposition, le « socle granitique » profond et ancien est considéré comme « rigide » car il réagit brusquemment aux contraintes en se fracturant. De par les différences de compétence qui existent entre le socle profond rigide et la couverture alpine plastique, les mouvements engendrés en profondeur le long des fractures majeures peuvent se répercuter et s'orienter de manière différente dans cette dernière. Le repérage et l'analyse de ces activités sismiques en devient alors d'autant plus complexe et difficile à décrypter.

TREMBLEMENTS DE TERRE

Par l'observation des plissements des roches sédimentaires et des nombreuses cassures ou failles visibles en surface, on est donc en droit d'affirmer que la croûte terrestre, dans nos régions, a été le théâtre de violentes poussées. Dans le cas de plissements, l'énergie de ces poussées est libérée lentement et de façon continue dans la déformation des massifs rocheux. Dans le cas de cassures, l'énergie s'accumule par élasticité jusqu'à un « point limite » où, lorsque ce dernier est atteint, se produit une brusque rupture. Ce phénomène brutal développe une onde de choc, à l'origine des tremblements de terre, pouvant être mesurée grâce à des appareils sensibles disposés à la surface terrestre ; la violence de cette onde de choc s'amortit rapidement, mais il peut subsister ce que les sismologues appellent des « répliques » survenant à intervalles réguliers sur une période plus ou moins longue et proportionnelle à l'intensité initiale du séisme.

Dans le cas de tremblements de terre de forte intensité (échelle MSK numérotée de I à XII ; fig. 3), et/ou de forte magnitude (échelle de RICHTER

numérotée de −2 à 9), les dégâts ne sont catastrophiques qu'à la verticale du point de rupture, appelée « épicentre » ; le point de rupture lui-même, situé en profondeur, est appelé « foyer » ou « hypocentre » (fig. 4).

METHODES D'ETUDE DES ZONES SUJETTES AUX TREMBLEMENTS DE TERRE

Le rêve de l'homme est de pouvoir prévoir les grandes catastrophes naturelles ; ceci afin de pouvoir prendre les mesures nécessaires, et si possible à temps, pour sauver les vies si ce ne sont les biens.

ECHELLE MACROSISMIQUE D'INTENSITÉ (MSK 1964)

Degré I - Secousse non perceptible

Degré II - Secousse à peine perceptible

Degré III - Secousse faible ressentie seulement de façon partielle

Degré IV - Secousse largement ressentie

Degré V - Réveil des dormeurs

Degré VI - Frayeur

Degré VII - Dommages aux constructions

Degré VIII - Destruction des bâtiments

Degré IX - Dommages généralisés aux constructions

Degré X - Destruction générale des bâtiments

Degré XI - Catastrophes

Degré XII - Changement de paysage

Fig. 3

ECHELLE MSK (échelle macrosismique d'intensité), 1964.
Cette échelle compte 12 degrés marqués en chiffres rommains ; ce ne sont pas des valeurs instrumentales, au contraire de l'échelle de Richter, car elles sont déduites sur la base d'observations durant et après le séisme. Le degré I correspond à une secousse seulement détectée par les instruments ; les dégâts matériels ne sont importants qu'à partir du degré VIII, et les degrés XI et XII caractérisent une catastrophe.

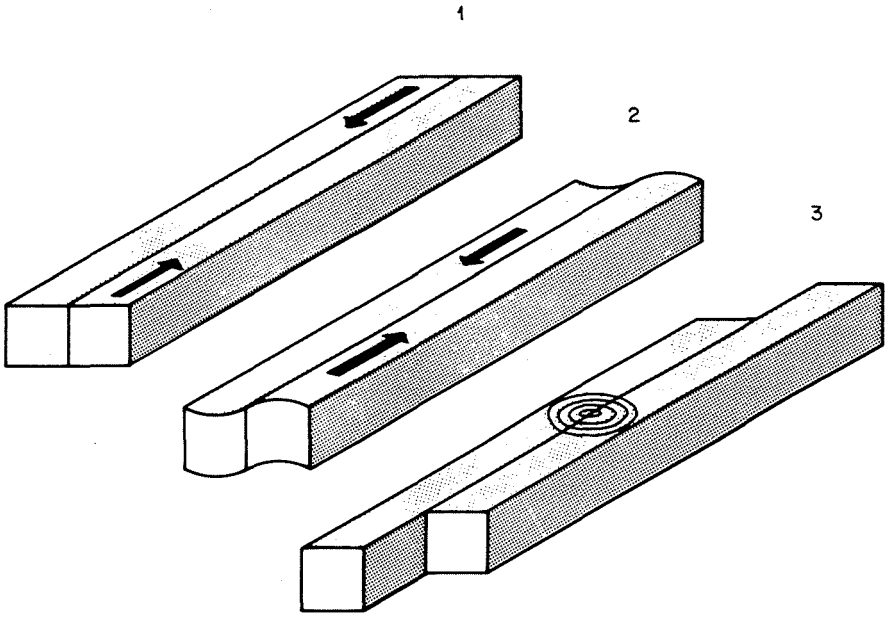

Fig. 4

GENESE D'UN SEISME (d'après « Histoire de la Terre, notre planète », Soc. Geol. France, 1984).

1. Les terrains situés de part et d'autre d'une faille active sont soumis à des contraintes de sens opposé.
2. Ils se trouvent ainsi progressivement déformés.
3. Lorsque l'énergie lentement accumulée atteint le seuil de rupture (point limite d'élasticité), les deux blocs glissent l'un par rapport à l'autre le long du plan de faille provoquant un séisme ; ce jeu s'appelle « mécanisme au foyer ».

Nul ne peut prévoir de façon systématique le jour ou l'heure exacte d'une tornade ou d'un tremblement de terre. Par contre, on peut rechercher les zones où ces phénomènes sont les plus fréquents pour éviter d'y établir de grandes concentrations d'habitations, ou pour adapter la construction des ouvrages de génie civil.

Pour les tremblements de terre anciens, deux groupes de méthodes sont utilisées. Les premières, dites historiques ou d'observation, consistent à rechercher toutes les descriptions écrites de phénomènes, de les localiser aussi bien que possible. Les secondes sont basées sur des analyses plus rigoureuses tel le relevé de l'ensemble des cassures, failles ou décrochements, observables sur le terrain et à l'aide de photos aériennes ou d'images produites à partir des satellites. On essaye alors d'observer sur le terrain si les cassures se prolongent dans des dépôts alluviaux, éluviaux ou glaciaires de formation récente (ère Quaternaire*). Si tel est le cas, on peut présumer

qu'une activité sismique est encore en cours. De plus, grâce aux enregistrements des phénomènes sismiques il est actuellement possible de déterminer la position exacte des épicentres. D'autres techniques sont encore employées ; nous ne pouvons toutes les citer.

ETUDES RECENTES DE LA REGION GENEVOISE

1. Méthode historique

Dans le cadre d'un travail de diplôme, l'un d'entre nous (E. AMATO), s'est livré à une étude bibliographique de la sismicité* du bassin genevois et annecien, en relation avec les fractures de cette région et plus particulièrement avec la faille du Vuache.

La période couverte par les données historiques s'étend de 1322 à 1984. 95 séismes ont pu être répertoriés avec des épicentres supposés ou mesurés, situés dans le périmètre Lac d'Annecy – Lac du Bourget – Fort de l'Ecluse – Salève. Les derniers datent des 16 novembre 1983 et 2 février 1984 (fig. 5). La moyenne (une secousse tous les six ans) paraît modeste surtout si on la compare aux données japonaises qui font état d'une secousse enregistrée toutes les dix secondes. Toutefois, la fréquence des séismes dans les environs de Genève est certainement plus élevée car il ne faut pas oublier qu'une grande partie de l'information a certainement été perdue au cours des six derniers siècles.

Une partie des secousses répertoriées a été ressentie à Genève même, en particulier le matin du 16 septembre 1600 (fig. 6) et à la Pentecôte 1621 où les anciennes chroniques précisent : « Pendant le sermon du soir, les ministres qui préchoient se prirent fortement à la chaire, de crainte de tomber en bas. »

Des dégâts importants aux constructions ne sont par contre relatés qu'à Annecy, Aix-les-Bains, Chambéry, Belley, Rumilly, Seyssel, Frangy et Chaumont où la pointe du clocher s'est effondrée lors du tremblement de terre du 17 avril 1936 (fig. 7).

La zone active paraît être liée à une importante cassure, longeant le flanc occidental de la montagne du Vuache pour se diriger vers la Balme de Sillingy et le Lac d'Annecy (fig. 8). Cet accident avait été particulièrement bien décrit en 1891 par H. SCHARDT. Les relevés ultérieurs par photographies aériennes ou « scanning » à partir des satellites ont confirmé sa présence. Les géologues sont d'avis assez partagés sur les mécanismes de formation de cette

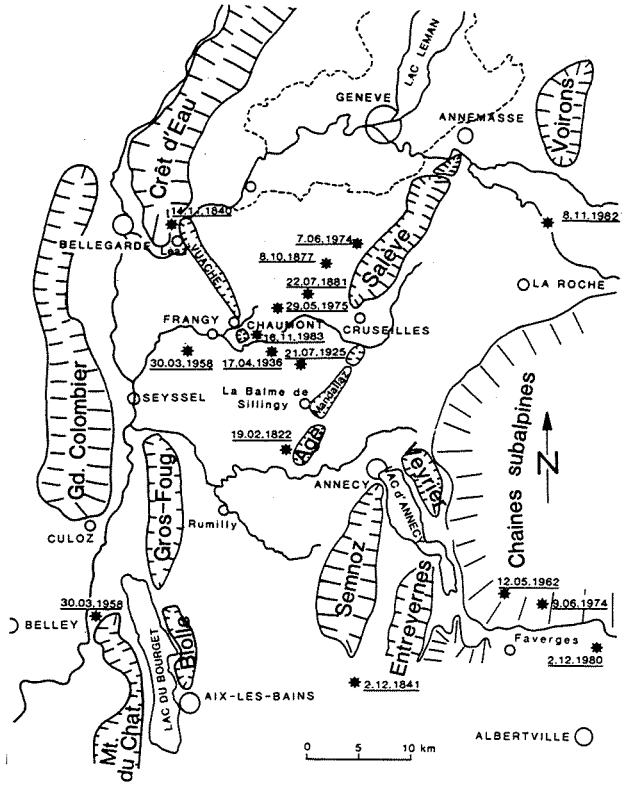

Fig. 5

REPARTITION DES PRINCIPAUX TREMBLEMENTS DE TERRE AU XIX^{e} ET XX^{e} SIECLE (E. AMATO, 1983).

fracture. S'agit-il d'une fracture profonde se prolongeant directement du socle à la couverture, ou de reflet d'un accident plus profond encore, de direction différente, mais se traduisant par un autre tracé dans la couverture ?

2. Méthode stratigraphique

Depuis une dizaine d'années un vaste programme de recherches soutenu par le Fond National Suisse de la Recherche Scientifique1), a été lancé pour établir l'histoire des roches sédimentaires (stratigraphie) du bassin genevois et plus particulièrement aux alentours de la faille du Vuache. L'étude détaillée des roches dans la région du Mont de Musièges et dans le tunnel de l'autoroute traversant la montagne du Vuache suggère que la faille bordière était active depuis des temps très éloignés ; ceci porte à penser qu'il s'agit bien d'un accident profond de socle.

Il arriva trois mois auparavant une choſe très-remarquable; depuis le matin juſqu'à 11. heures avant midi, après pluſieurs grands Tonnerres, le Rhône fit en 3. ou 4. repriſes une eſpece de flux & reflux, c'eſt-à-dire, qu'il s'arrêta autant de fois ſans couler, ſes eaux remontant dans le Lac & laiſſant ſon lit à ſec, en des lieux où auparavant il y avoit plus de 5. pieds d'eau; les Batteaux qui étoient au Port du Lac demeurant auſſi à ſec: juſques-là même que les enfans y prirent de petits poiſſons, & de même les Couteliers qui demeuroient ſur le Pont, allérent deſſous ramaſſer de la ferraille; mais l'eau amoncelée revenant en même tems, ils n'avoient plus belle hâte que de ſe ſauver. Si l'un de ces reflux eut duré ſeulement un quart d'heure, les maiſons du Pont du Rhône, & une partie de S. Gervais euſſent été en danger d'être abîmez, par le grand amas d'eau qui revenoit à couler tout d'un coup. Il y a grande apparence que cette merveille de nature, arriva par une eſpece de tremblement ou ſoulevement de Terre, par lequel le terrein, ſous l'endroit d'où le Rhône ſort du Lac, étant élevé trois ou quatre fois, par les vapeurs ſouterraines agitées, empêcha le Rhône de couler, & que le même terrain ſe rabbaiſſant par ſa propre peſanteur, il reprenoit ſa courſe ordinaire. Ce qui arriva l'an 1584. dans ce grand tremblement, qui ſoûleva cette ravine de terre, dont nous avons parlé, & fit avancer le Lac d'une vingtaine de pas, en eſt une aſſez forte confirmation: & la difference qu'il y avoit, c'eſt que ces exhalaiſons n'eurent pas aſſez de force pour s'ouvrir paſſage, & pour faire ſentir ce mouvement aux environs; ce qui eſt encore plus preſſant, c'eſt qu'un an après au même mois, une heure après minuit, la Terre trembla depuis Geneve juſqu'en Suiſſe, d'une ſi rude ſecouſſe, que Monſieur Jacques Godefroy remarque dans ſes Memoires manuſcrits, que ſon lit en fut balancé, comme un berceau à droit & à gauche.

Fig. 6

RECIT DU SEISME DU 16 SEPTEMBRE 1600 PAR Mr. SPON (1730); in « Histoire de la Ville et de l'Etat de Genève », Fabri et Barillot, Genève.

3. Méthode structurale

L'analyse de structures dites « micro-tectoniques », car observables seulement à l'échelle centimétrique ou métrique de l'affleurement sur le terrain (diaclases ou micro-fractures, stries, fentes de tension, etc.), a permis à l'un d'entre nous (T. BLONDEL) d'élucider en partie la genèse et la structuration de la montagne du Vuache. En effet, au cours de leur histoire post-sédimentaire, les roches enregistrent les compressions et les déplacements successifs qu'elles subissent ; ceux-ci se marquent par des traces caractéristiques et indélébiles qui peuvent se superposer au cours du temps, à l'intérieur de la roche. Ces micro-structures, observées au Vuache, ont ainsi permis de démontrer que les mouvements de la faille bordière de cette montagne ont été complexes.

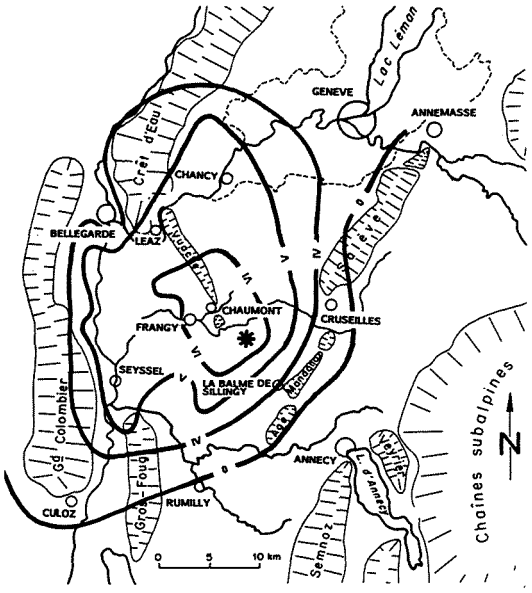

Fig. 7

CARTE D'INTENSITE DU SEISME DU 17 MARS 1936 (d'après E. AMATO, 1983).
Les courbes isoséistes limitent les zones ayant subi la même intensité sismique.

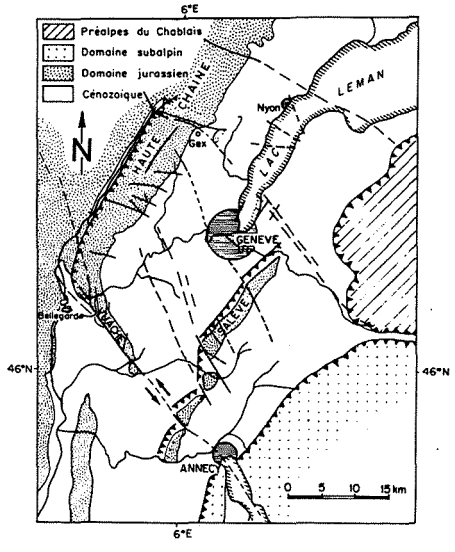

Fig. 8

ESQUISSE TECTONIQUE DU BASSIN GENEVOIS (en partie d'après G. AMBERGER, 1977 ; modifié, T. BLONDEL & al., 1987).
Le mouvement latéral sénestre de la faille du Vuache est indiqué par les flèches.

Ces recherches, complétées par l'analyse des photographies aériennes de la région, ont permis d'élaborer, pour la période allant de l'Eocène (début de l'ère Tertiaire) à la fin du Miocène (fin de l'ère Tertiaire), un modèle schématique sur la mise en place de la montagne du Vuache à partir d'une cassure profonde de socle (fig. 9).

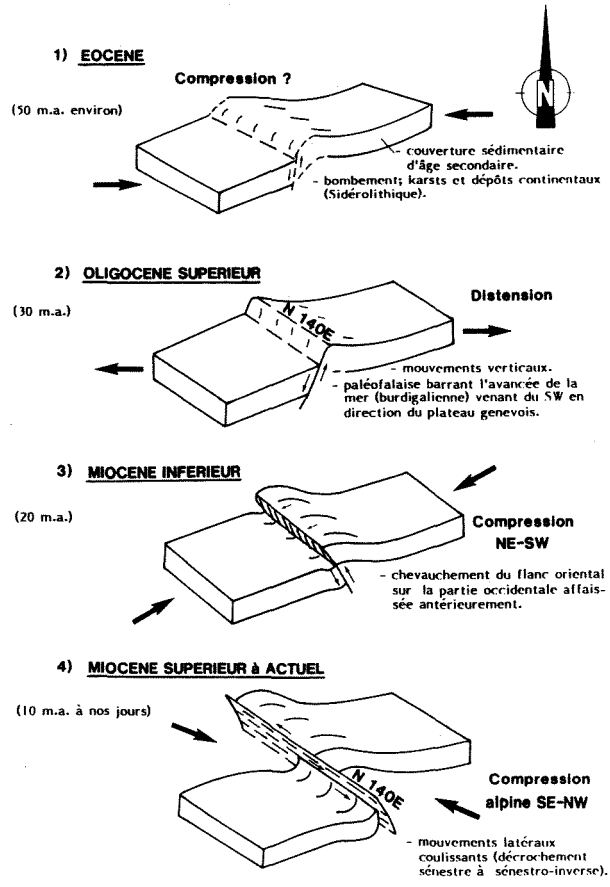

Fig. 9

MOUVEMENTS SUCCESSIFS DE LA FAILLE DU VUACHE DEPUIS LE DEBUT DE L'ERE TERTIAIRE (d'après T. BLONDEL & al., 1987).

- De 1 à 3 : rejeux verticaux (bombement (1), mouvements normaux (2) ou chevauchants (3)) sur une période allant de l'Eocène (-50 millions d'années environ) au Miocène inférieur (-20 m.a.). La résultante de ces divers rejeux est la montée du compartiment oriental de la faille du Vuache par rapport au compartiment occidental affaissé ; ceci explique l'origine et la situation de la montagne du Vuache en bordure de cette faille.
- 4 : rejeu latéral (décrochement sénestre) au Miocène supérieur (-10 à −5 m.a.), lors de l'orogenèse alpine sensu stricto, ou « paroxysme alpin ». Le compartiment oriental a « glissé » vers le Nord par rapport au compartiment occidental. La Haute Chaîne du Jura, en voie de formation, a alors servi de butoir (Massif du Crédo). Le mouvement se poursuit encore actuellement de façon imperceptible à l'échelle humaine, sauf lors des tremblements de terre !

La faille du Vuache semble avoir été sujette à diverses poussées, de direction et de sens différents, qui l'ont fait fonctionner soit verticalement, soit horizontalement ; ces déplacements latéraux sont les plus récents.

4. Méthode sismique

Récemment, un jeune chercheur de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zürich, U. SAMBETH, a entrepris de mesurer la sismicité actuelle aux alentours de la faille du Vuache sous la direction des Professeurs S. MULLER et N. PAVONI, et en collaboration avec le Département de Géologie et Paléontologie de l'Université de Genève. Des sismographes ont été installés durant 11 mois (d'avril 1983 à mars 1984) dans quatre stations définissant un quadrilatère englobant la ville de Genève et la faille du Vuache ; ils ont ainsi été répartis entre le Château d'Arcine près du Vuache, à Moiry sur la Montagne d'Age près d'Annecy, au Château de Monnetier sur le Petit-Salève, et enfin au Mont de Mourex au N de Sauverny. De très nombreux micro-séismes ont été enregistrés, et les plus importants comparés avec des mesures faites dans onze stations du Service suisse des tremblements de terre, trois stations italiennes, vingt-cinq stations françaises et cinq stations allemandes. Certaines de ces stations sont situées jusqu'à 600 kilomètres de Genève.

La station d'Arcine a montré une activité particulièrement élevée au niveau des micro-séismes. Ceci confirme bien que l'accident du Vuache reste actif. Cette multitude de mini-secousses est toutefois « rassurante » ; en effet, les tensions induites par les mouvements de l'écorce terrestre, le long de la cassure, se relaxent par une quantité de petits déplacements, bien moins dangereux que des mouvements plus espacés, où des quantités d'énergie plus grandes sont dissipées.

La direction des contraintes qui sont à l'origine des séismes récents analysés par U. SAMBETH, le long de la faille du Vuache, va du SE vers le NW. Celle-ci se rapproche de la direction principale de poussée, provoquée par la Plaque africaine, qui a engendré la chaîne alpine dans la région genevoise et savoyarde. L'orogenèse alpine n'est donc pas complètement terminée !

5. Méthode photogéologique

Cette méthode, appliquée par le Service cantonal de la géologie dès 1976, ne permet de détecter que les fractures superficielles et non celles du socle. Un relevé détaillé de l'ensemble des affleurements de Molasse du canton a été exécuté tant sur le terrain que par photographies aériennes, et la direction mesurée de toutes les cassures visibles reportée sur carte. Statistiquement, une grande partie de ces cassures présente une direction proche de celle du Vuache. Cependant, aucune prolongation des cassures dans les

dépôts récents, qui aurait pu déceler une sismicité récente, n'a été mise en évidence. Ce type de relevés se poursuit encore, à une échelle encore plus détaillée, dans les grands travaux de tunnels et galeries en cours dans le canton.

6. Méthodes indirectes

Il est intéressant de noter que nos nappes d'eau souterraines réagissent aux tremblements de terre par de brusques remontées de niveau. Mais seuls de très violents séismes ont cet effet. Les données sont les suivantes :

Date :	*Lieu du séisme :*	*Mouvement brusque de la nappe de l'Arve :*
06.05.1976	Frioul, Italie	10 cm
10.10.1980	El Asnam, Algérie	24 cm
23.11.1980	Naples, Italie	7 cm

Ces séismes éloignés peuvent aussi être perçus dans les constructions hautes de la ville de Genève, telles les tours du Lignon. Par contre, les tremblements de terre en relation avec l'accident du Vuache ne provoquent aucun mouvement mesurable de nos nappes d'eau. Cette observation confirme la faible intensité de ces séismes proches.

MESURES DE SECURITE PRISES A GENEVE

Il est démontré que les anciennes constructions faites de mœllons mal écaris ou de boulets liés par des mortiers de faible résistance et dénués de chaînages d'angle et d'étage, sont les plus dangereuses en cas de séisme car elles s'effondrent rapidement sur leurs habitants. Il n'existe que de très rares constructions de ce type à Genève. Une grande partie du parc immobilier est récent, avec des structures en béton de forte résistance, et les constructions anciennes ont, pour la plupart, été transformées ; travaux au cours desquels les chaînages nécessaires ont été mis en place.

Les observations faites dans les zones de catastrophes sismiques montrent que le danger n'est souvent pas dû à la nature des constructions elles-mêmes, mais à une forte urbanisation sur des sols instables ; ces zones sont la plupart du temps détruites par des glissements de terrain induits par les secousses sismiques. Dans cette optique, les immeubles situés près des zones à forte pente sont munis de fondations spéciales, constituées de plusieurs étages en sous-sols, ou de pieux et parois moulées pénétrant dans le terrain jusqu'à l'horizon stable. Tel est le cas pour les tours du Lignon, celles de l'Avenue des Grandes-Communes à Onex, et pour les immeubles dominant l'Arve à Champel et Miremont-Florissant. On rejoint ainsi les techniques préconisées au Japon, pays de haute sismicité.

CONCLUSION

Le Canton de Genève est situé à faible distance d'un accident géologique important, la faille du Vuache, qui engendre assez fréquemment des tremblements de terre d'intensité faible voire modeste.

Sur une période d'observation de 662 ans, les secousses les plus importantes répertoriées n'ont produit que des dégâts matériels sur des constructions anciennes ; elles ont été généralement plus violemment ressenties au SW du Vuache, dans la région d'Annecy, que dans le bassin genevois. Il n'y a heureusement jamais eu perte de vies humaines.

Au vu de l'état actuel de nos connaissances, le Canton de Genève ne peut donc être considéré comme une zone présentant un risque sismique beaucoup plus important que le reste du Plateau suisse.

Edgardo AMATO, Gad AMBERGER,
Thierry BLONDEL et Jean CHAROLLAIS

[1] Requête 2.315-0.84, grâce à laquelle ces recherches ont pu être entreprises.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

AMATO E. (1983).- Etude de la sismicité historique de la faille du Vuache (Haute-Savoie, France) ; diplôme Univ. Genève (inédit).

BLONDEL T. (1984).- Etude tectonique de la partie septentrionale de la montagne du Vuache (Haute-Savoie, France) ; diplôme (2ème partie) Univ. Genève (inédit).

BLONDEL T., CHAROLLAIS J., SAMBETH U. et PAVONI N. (à paraître).- La faille du Vuache : un exemple de faille à caractère polyphasé dans le Jura méridional.

CHAROLLAIS J., CLAVEL B., AMATO E., ESCHER A., BUSNARDO R., STEINHAUSER N., MACSOTAY O. et DONZE P. (1983).- Etude préliminaire de la faille du Vuache (Jura méridional) ; Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat., 76, 3, 217-256.

SAMBETH U. (1984).- Seismotektonische Untersuchungen im Gebiet des Genfer Beckens ; Diplomarbeit, I.G.A.N.- E.T.H.Zürich, 116p. (inédit).