

Effets indirects des séismes

Avertissement

En raison de changements de programme connus à la dernière minute, ce texte présente en partie un caractère improvisé et hybride. D'une part, il m'a été demandé de tenir compte de l'absence de D. Postpischl qui devait traiter de la complémentarité des données macrosismiques et des informations instrumentales. D'autre part, il avait été convenu que je traiterais des problèmes d'interdisciplinarité au sens le plus large du terme. En fait, ce thème l'a été par ailleurs, dans une perspective archéologique. Néanmoins cette préoccupation ne sera pas perdue de vue par la présentation des effets indirects des séismes. Il reste que le résumé distribué aux participants est sans objet. Par ailleurs, la discussion des effets indirects aurait pu être étoffée et mieux argumentée si une initiative présumée locale et subalterne ne m'avait privé de l'accès aux riches matériaux stockés au B.R.G.M.-Alsace, matériaux qui sont à des degrés divers une copropriété du C.E.A., d'E.D.F., du B.R.G.M. et, dans une large mesure, de ma personne. Selon le cas, le présent texte résume ou développe, pour l'un ou l'autre exemple, l'exposé de Ravello.

D'emblée, il convient de souligner trois points, de caractère éthique ou épistémologique :

1. La discussion de catastrophes n'implique en aucune manière le *catastrophisme à la mode*, avec ses psychoses, ses vedettes, ses aspects publicitaires et même électoraux, ses spéculations sur les catastrophes à venir avec, parfois, un état d'esprit de « fin du monde ». En pareil contexte, il convient de prévenir le renouvellement, vers l'An 2000, de la « Peur de l'An 1000 »¹ !
2. De plus en plus, se manifeste le besoin d'une solide information en matière de *sismicité historique*, qu'il s'agisse des effets directs ou des effets indirects. Sous l'impulsion du Professeur Ambraseys, ce domaine,

1. Le mot d'ordre devrait être : « Ni catastrophisme ni dérobade » ! L'auteur s'en est expliqué à plusieurs reprises (en dernier lieu, J. VOGT, *À propos de « psychose sismique » : considérations bicentennaires*, dans *Géologues* (Union Française des Géologues), 1985. Il reviendra sur ce thème lors du Premier Colloque National de Génie Parasismique, Saint-Rémy-lès-Chevreuse, janvier 1986, par une contribution, à paraître, intitulée *Tradition et méthodes de prévention au cours des siècles ...*

longtemps éclipsé par la sismologie instrumentale, a connu depuis une quinzaine d'années une véritable renaissance à laquelle les problèmes pratiques posés par les grands travaux, programmes nucléaires en tête, ont contribué dans une large mesure². En particulier, la maîtrise de la sismicité historique est indispensable pour l'appréciation du risque sismique au sens probabiliste du terme et pour la discussion du contexte sismo-tectonique. Dans ce domaine, la vedette est actuellement tenue par l'équipe de Bologne (Société de Géophysique Appliquée)³.

3. Se posent d'innombrables *problèmes d'interdisciplinarité* qui alimenteraient un organigramme complexe. Dans une large mesure, ils font cependant figure de faux problèmes dès lors qu'ils résultent de cloisonnements artificiels et de spécialisations outrancières. Tel est précisément le cas du regrettable divorce parfois apparu entre la sismologie instrumentale, dite scientifique, utilisant des techniques d'avant-garde (électronique, informatique) et la sismologie historique, dite littéraire, érudite, alors que leur complémentarité est une condition *sine qua non* d'une connaissance approfondie de la sismicité et de son cadre, avec un indispensable recul. Par ailleurs, la sismologie dans son ensemble s'ouvre, pour la discussion des effets indirects, sur la géotechnique, l'océanographie ...⁴.

Sous la rubrique « effets indirects » seront présentés en termes simples, à l'aide d'exemples, les processus de liquéfaction, essentiels, les mouvements de terrain, éboulements en particulier, et les tsunamis. Ils présentent tout ou partie des caractéristiques suivantes :

1. Souvent les effets indirects sont supérieurs aux effets directs ;
2. Souvent ils présentent un effet de surprise ;
3. Souvent ils se prêtent mal aux mesures de prévention ;
4. Souvent ils font partie d'un ensemble plus large de risques, ensemble exigeant une vision globale.

La présentation des *processus de liquéfaction* appelle une remarque de caractère général. Pour les sismologues et les spécialistes de génie sismique, les conditions de site sont essentielles pour l'interprétation des effets des

2. Pour sa part, l'auteur s'en est expliqué à plusieurs reprises (par exemple J. VOGT, *Problèmes de méthode de sismicité historique*, dans *Géologues*, 1981, et J. VOGT, *Exposé introductif à « Tremblements de terre »*, dans *Histoire et Archéologie. Actes des IV^e Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes*, 1983, Antibes, 1984. Il reprendra cette discussion lors du Symposium de Brigue (avril 1986) par une contribution intitulée, *Problèmes de méthode de la sismicité historique, base des discussions de risque sismique*, à paraître.
3. De l'ampleur et de la qualité du travail de cette équipe témoignent en particulier ses contributions au Colloque d'Antibes (cf. note 2) et le récent numéro spécial *Terremoti e storia* des *Quaderni Storici*, LX, 1985, que suivront d'autres publications de grande portée.
4. Au sujet de ces problèmes de méthode, voir par exemple, d'une manière large, J. VOGT, *Quelques coupures entre démarches et entre spécialités des Sciences de la Terre*, dans *Géologues*, 1983, et J. VOGT, *Riesame di Sismi : Ricerche in Francia*, dans *Quaderni Storici*, N° cité (cf. note 3).

séismes, pour le microzonage, pour la conception des grands ouvrages. Parmi ces conditions du site, la nature et l'état des *formations superficielles* jouent un rôle primordial pour l'accélération et déterminent les spectres de réponse utilisés par les ingénieurs. À titre d'exemple, les spectres de réponse de Mexico, parmi les plus pénalisants, sont parfois mis en œuvre ailleurs, en des sites plus ou moins comparables par leurs formations superficielles. D'une manière empirique, le rôle des formations superficielles est connu de longue date. Lors du séisme sicilien de 1693 est ainsi relevé le contraste des effets, faibles sur roche, forts sur formations meubles⁵.

Précisément, ces dernières, alluvions en tête, peuvent être le siège de processus de liquéfaction, selon leurs caractères sédimentologiques, leur teneur en eau ... Le processus lui-même alimente une abondante bibliographie, riche en modèles abstraits, non sans querelles d'école, selon qu'il est examiné *in situ* ou en laboratoire⁶. Si la discussion a été clarifiée par quelques événements récents (Alaska, Japon ...)⁷, elle manque en général de recul dès lors que les spécialistes perdent de vue les nombreux cas de liquéfaction survenus au cours des siècles et souvent décrits avec une précision qui les surprendrait. Une fois de plus, la sismicité historique serait susceptible de jouer un rôle essentiel ... (cf. *supra*)⁸. Par ailleurs, l'appréciation du risque de liquéfaction est souvent rendue malaisée par les insuffisances des cartes géologiques régulières et de leurs notices. En effet, nombreux sont les géologues portés à cartographier et à présenter sommairement, voire à escamoter les formations superficielles dont ils ne saisissent pas toujours l'intérêt pratique⁹.

Quoiqu'il en soit, le « sol » (au sens géotechnique du terme) perd sa cohésion, se liquéfie à proprement parler, à tel point que des constructions, privées de leurs assises, peuvent s'enfoncer dans le sol, basculer. Soulignons en particulier les effets différentiels, à la mesure des rapides variations de la nature de nombreuses formations superficielles.

5. « It has been observed that in less solid ground, such as chalk, sand or loose earth, the mischief was without comparison greater than in rocky places. And in Syracuse the difference was visible in three places ... » (d'après une lettre de V. Bonajutus, traduite et éditée par M. Malpighius, présentée par R. HUGHES, *Historic Disasters*, 7-3-1983).

6. À titre d'exemple, notons au hasard : R.O. DAVIS, J.R. BERRILL, *Energy Dissipation and Seismic Liquefaction in Sands*, dans *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, X, 1982 ; A. HALDAR, F.J. MILLER, *Probabilistic Evaluation of Liquefaction in 3-D Soil Deposit, Soil Dynamics and Earthquake Engineering Conference*, Southampton, 1982 ; L.R. ANDERSON, J.R. KEATON, *Development of a Liquefaction Potential Map*, même référence.

7. Une discussion critique mettant l'accent sur l'observation et l'interprétation des faits est due à WANG ZHONG-QI *et al.*, *Macroscopic Features of Earthquake Induced Soil Liquefaction and Its Influence on Ground Damage*, in *Canadian Geotechnical Journal*, XX, 1983.

8. À notre étonnement, tel enseignement géotechnique italien nierait ce problème en Italie.

9. Les aspects épistémologiques et éthiques de ces problèmes sont esquissés par J. VOGT, *Problèmes majeurs de la cartographie des formations superficielles*, dans *Bull. Assoc. Fr. Étude Quatenaire*, XVIII, 1981.

Sur le terrain, la liquéfaction s'exprime de diverses manières. Lui sont dues des crevasses, encore qu'il ne soit pas toujours facile de les distinguer de manifestations d'une tectonique active dont les spécialistes recherchent parfois les indices avec l'énergie du désespoir, non sans risques de confusions. À titre d'hypothèse peuvent ainsi être attribuées au processus de liquéfaction les crevasses formées lors des séismes majeurs survenus en 1590 dans la région de Vienne et en 1842 dans celle du Cap Haïtien. Lors du séisme du 15-9-1590, caractérisé par une succession de secousses, susceptibles d'accroître le processus, de larges et profondes crevasses s'ouvrent dans la plaine du Tullnerfeld. Citons un écho contemporain, parmi d'autres : « Die Erde weytter als wagen läst auff gethan und eröffnet, daraus unleydlicher grosser Gestanck gangen und die klufften noch offen sol sein deren man keinen grundt weiss ... »¹⁰. Pour le séisme du 7-5-1842, reprenons ce passage de la monographie qui lui a été consacré : « Sans doute de nombreuses crevasses sont-elles dues à des phénomènes de liquéfaction ». À propos du Cap, Delorme évoque les chemins de la fuite « fendus en maints endroits de longues crevasses profondes d'où avait jailli au moment du tremblement de terre une eau bouillante » laissant « sur les deux bords de ces gouffres un sable gris noir ... ». Ces gouffres, précise-t-il, sont restés béants plusieurs mois dans un rayon de plus de 30 km autour de la ville. Partout, ajoute-t-il, on redoute « l'ouverture soudaine des entrailles de la terre »¹¹. Deux remarques s'imposent. Dans ces deux cas, ces crevasses se produisent certes dans les aires d'intensité élevée où des manifestations néotectoniques sont susceptibles de se produire, mais — nous y reviendrons — elles ne sont pas toujours limitées à ces aires. D'autre part, soulignons l'impact psychologique de ces crevasses, impact susceptible d'être supérieur à celui des secousses elles-mêmes.

À la différence des crevasses, la formation de *dépressions* est en général sans ambiguïté. Tel serait le cas de la dépression apparue près de Besalu, où sont aussi décrites des crevasses, lors du séisme catalan de la Chandeleur 1428 : « ... Extra istam villam fuit magnus campus tritico seminatus penitus submissus et factus est stagnum aquarum et in quadam parte stagni per rotundam circumferenciam sunt ibi aque ferventes ac si essent in magno tatulo igne supposito. In qua circumferencia homines dicte ville submittentes abolidem, id est cordam magnam, fundum minime repererunt »¹². De même, lors du séisme sicilien de 1693, le sol s'enfonce près de Sornini pour

10. M. ENZINGER, *Historica Novem Mensium Relatio ...*, Cologne, 1591.

11. J. VOGT, *Un séisme majeur des Caraïbes : le tremblement de terre du 7 mai 1842 (Hispaniola)*, comm. au Symposium Néotectonique/Sismicité : Risques géologiques dans les Caraïbes et au Vénézuéla, ASOVAC, Caracas, 1983.

12. J.R. BALAGUER, *Documents sobre els terratremols de 1427-1428*, d'après E. FONTSERE *et al.*, *Recopilacio de dades sísmiques de les terres catalanes entre 1100 i 1906*, Fundacio Salvador Vives Casajuana, Barcelone, 1971.

former une profonde dépression circulaire. Lors du séisme du 26-10-1802, un tel phénomène est décrit dans la vallée du Danube : « ... entre Silistria et Rostock (= Ruse) un endroit considérable a été entièrement englouti et transformé en un lac ... »¹³. À titre de curiosité, ajoutons que la centrale nucléaire bulgare de Ruse a connu, lors du séisme majeur de 1977, loin de l'épicentre, un léger processus de liquéfaction, sans conséquences pratiques. Sans doute des précautions avaient-elles été prises à la lumière de précédents, tel celui de 1802.

Particulièrement spectaculaires sont les éjections de sables, liées en particulier à la présence, au sein des formations superficielles, de matériaux différents inégalement sensibles à la liquéfaction. En termes simples, la pression provoquée par cette dernière dans une couche ou une lentille sensible dans les matériaux insensibles conduit à des phénomènes de rupture grâce auxquels les sables parviennent à la surface. Volontiers ils forment des accumulations ressemblant à des « cratères » en miniature, terme utilisé, mal à propos, par une foule de descriptions, anciennes et récentes. Qu'il suffise de quelques exemples, proches ou lointains, en général empruntés à des publications de seconde main¹⁴, sans préjuger d'une discussion détaillée à l'aide des matériaux d'origine. Les descriptions du séisme survenu en 1570 dans la basse plaine du Pô font grand cas d'une éjection de sables. L'une d'elle évoque à Ferrare « ... une caverne ... auprès de la place, de laquelle est sortie une merveilleuse quantité de sable s'étendant bien loin, de manière qu'avec deux piques assemblées on n'a su trouver le fond ... »¹⁵. Lors du séisme grec du 26-12-1861, de tels processus sont décrits en grand détail à différentes échelles. Ainsi de modestes « cratères » se forment-ils dans l'isthme de Corinthe : « ... aus den schmälere Spalten floß bald in einzelnen isolierten Flecken, bald auf längere Erstreckung ein feinkörniger weisser Sand hervor und zugleich stiegen Gasblasen ... an die Oberfläche empor. Überall ... wo solche Gasblasen aufstiegen bildeten sich kleine *flach geformte Sandkegel* mit kaum 20° geneigten Seitenflächen. Auf ihren Gipfeln platzten die Gasblasen und es entstanden dadurch *zierliche flache Krater* ... »¹⁶. Nous y reviendrons ... À une autre échelle, éjection de sables et formation de « cratères » se produisent lors des séismes majeurs de Calabre en 1783, du moyen bassin du Mississipi en 1811-12 (New Madrid), des Indes en 1869 et 1897, d'Islande en 1896¹⁷. Retenons le cas du séisme du 5-5-1930 en basse

13. D'après le *Moniteur Universel*.

14. Pour la raison donnée par l'avertissement.

15. *Horrible et Épouvantable Tremblement de Terre advenu en la ville de Ferrare*, Copie d'une lettre du 24^e jour novembre 1570, Rouen.

16. *Sandkratere* (d'après SCHMIDT), dans *Gaea*, 1881.

17. W.H. HOBBS, *Some Topographic Features Formed at the Time of Earthquakes and the Origin of Mounds in the Gulf Plain*, dans *The American Journal of Science*, 4^e s, XXIII, 1907, qui rappelle, fort à propos, que plusieurs de ces exemples sont présentés par Lyell (cf. R. HUGHES, 1983, art. cité par notre note 5).

Birmanie, domaine d'alluvions hypersensibles : « ... sand vents, craters and sloughs were produced over wide expanses of country as a result ... »¹⁸.

Les témoins sont particulièrement impressionnés par les jets d'eau qui accompagnent fréquemment ces processus. Ainsi sont-ils évoqués par une relation du séisme de 1607 en Assam : « ... The earth is ... said to have opened in several places in the plains *throwing up water and mud ...* »¹⁹. Reprenons l'exemple du séisme de 1802 : à Bucarest, « la terre se fendit à plusieurs reprises et *des ouvertures jaillissait une eau verdâtre ...* »²⁰. En Algérie, nous lisons, lors du séisme de 1856 (Djidjelli) : « Dans toute la plaine au-dessous du Djebel-Halia, il s'est formé dans le sol de larges fissures, d'où *s'est élancée une quantité d'eau considérable et s'élevant à plusieurs mètres*, entraînant avec elle, dans certains endroits, de grandes masses de sables ... et dans d'autres une vase infectée par des émanations sulfureuses. Ces projections n'ont duré que quelques minutes et aujourd'hui on reconnaît les emplacements où elles ont eu lieu par l'herbe verte qui les entoure et qui contraste avec la sécheresse des parties environnantes »²¹. Passons à la Sibérie avec les effets du séisme du 10-1-1862 sur les alluvions de la Selenga, au sud du Baïkal : « ... erhob sich ... der Boden in kleinen Hügeln und aus diesen ergoß sich aus weiten Spalten Sand und Grundwasser, das letztere *in wahren Springquellen von mehr als sechs Metern Höhe ...* »²². Terminons par le séisme du 5-8-1940 en Mandchourie méridionale : « No remarkable topographical change took place except in the low damp ground near the coast of Hsiang-lan-chi village where *fissures from which water spouted* were formed ... »²³.

Il est évident que le sérieux de tout travail de génie sismique, de tout programme de prévention, de tout microzonage se mesure à la manière dont sont recherchés, interprétés et mis en œuvre, à l'échelle régionale et locale, les témoignages relatifs à la liquéfaction.

Si les échelles d'intensité n'utilisent pas directement, parmi leurs critères, les processus de liquéfaction, elles peuvent les admettre indirectement, à propos de crevasses en particulier, comme critères d'intensités élevées. En pareil cas, les appréciations d'intensité doivent être mises en œuvre avec circonspection pour l'interprétation macrosismique d'ensemble d'un séisme.

18. J. COGGIN BROWN, *Small Sand Craters of Seismic Origin*, dans *Nature*, 24-2-1934.

19. W. ROBINSON, *A Descriptive Account of Assam*, Londres, 1841.

20. D'après le *Moniteur Universel*.

21. GAULTIER DE CLAUBRY, *Sur les effets du tremblement de terre des 21 et 22 août dans certaines parties de l'Algérie*, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, XLIII, 1856.

22. Ainsi cet exemple est mis en valeur par C. DIENER, *Die Katastrophe von Sodom und Gomorrha im Lichte geologischer Forschung*, dans *Mitteilungen der geographischen Gesellschaft in Wien*, 1897.

23. WIN INOUE, *Earthquakes in Manchuria*, dans *Tsuomu Ogura, Geology and Mineral Resources of the Far East*, Tokyo, 1971.

En effet, le rôle des conditions de site — formations superficielles, hydrogéologie — est tel que des processus de liquéfaction peuvent se produire à une certaine distance de l'épicentre, dans un contexte d'intensité relativement modeste. Le séisme survenu dans l'île de Vancouver le 23-6-1946 en est un bon exemple, avec des manifestations remarquables dans l'aire des intensités de l'ordre de VI²⁴.

Ajoutons le cas particulier des digues de « stériles » miniers, particulièrement sensibles aux processus de liquéfaction induits par les séismes. Il en résulte des catastrophes, en 1971 au Chili, avec 200 victimes (El Cobre), en 1978 au Japon, dès lors que la rupture des digues provoque sur de grandes distances de redoutables coulées boueuses, effets indirects au second degré.

Les mouvements de terrain, glissements, éboulements, associés aux séismes sont essentiels dès lors que leurs effets sont souvent supérieurs aux effets directs, qu'il s'agisse de victimes, de dégâts aux constructions, aux voies de communication, aux canalisations, etc ..., avec des conséquences souvent désastreuses pour l'acheminement des secours, par exemple vers les régions particulièrement touchées par les effets directs. C'est à juste titre que la discussion des risques met volontiers l'accent sur les mouvements de terrain dans les régions montagneuses riches en sites fragiles, même si elles ne sont affectées que par des séismes espacés et relativement modérés. Une fois de plus, l'effet de surprise est fréquent en pareil contexte. C'est d'ailleurs à dessein que nous parlons de mouvements *associés* aux séismes, plutôt que d'évoquer d'une manière entière des mouvements qu'ils provoquent. En effet, nombreux sont les glissements et les éboulements qui se seraient produits à plus ou moins longue échéance sans l'intervention d'un tremblement de terre, en d'autres circonstances. Ainsi un séisme n'assure-t-il souvent qu'un « dé clic » dans une région sensible, riche en mouvements de terrain qui appellent une discussion globale.

À propos des *glissements*, nous retrouvons d'ailleurs fréquemment la liquéfaction, encore qu'il soit souvent malaisé de faire la part de ce facteur. Qu'il suffise de deux exemples à première vue significatifs. Revenons au tremblement de terre du 26-10-1802 dans la basse vallée du Danube. Outre les cas de liquéfaction en plaine, relevons le sort d'une « montagne » : « ... avant de s'affaisser, il en a jailli pendant cinq heures une eau semblable à du lait ... »²⁵. Ce processus gagnerait à être approfondi. Revenons au séisme grec du 26-12-1861 pour évoquer un cas complexe, à savoir le décollement et la mise en mouvement, la liquéfaction aidant, de matériaux détritiques de la

24. G.R. ROGERS, *A Documentation on Soil Failure During the British Columbia Earthquake of 23 June 1946*, dans *Canadian Geotechnical Journal*, XVII, 1980.

25. D'après le *Moniteur Universel*.

région littorale du Péloponnèse : « ... vollzog sich eine Lostrennung der Alluvialanlagerung von dem den Untergrund bildenden Gebirgsabhänge, die ganze Schwemmlandmasse gerieth in eine ... gleitende Bewegung ... [wo-durch] leichter bewegliche Masse, wie Wasser, Schlamm und Sand ... genöthigt waren ... durch schon vorhandene oder momentan sich bildende Spalten allein durch Druck ... an die Oberfläche zu gelangten. War dieser Druck schnell und stark, so konnte sich Schlamm und Sand zu Kegeln auftürmen und traten noch mächtige Wasserstrahlen ... hinzu ... kam es zur Bildung von Kratern auf diesen Kegeln, and deren Gipfeln die flüssige Materien ausgeworfen wurden ... »²⁶.

Quoiqu'il en soit, certaines régions de montagnes jeunes, intertropicales surtout, connaissent lors de séismes des glissements généralisés affectant des sédiments peu consolidés ou des roches altérées. De telles crises peuvent bouleverser des paysages. Citons les séismes d'Assam en 1897, des pays Shan en 1952, sans parler de nombreux séismes du Yunnan ou d'Amérique centrale. En Nouvelle-Guinée, 8 à 15 % des paysages seraient en moyenne détruits de la sorte en un siècle²⁷. Bien entendu, répétons-le, glissements, coulées de boue, etc ..., se produisent fréquemment sans l'intervention de séismes qui ne font qu'accentuer la fragilité de l'épiderme.

Les *éboulements* appellent les mêmes remarques. Qu'il suffise d'esquisser deux extrêmes. Dans les milieux fragiles, qu'il s'agisse d'une consolidation faible ou inégale, de la densité et de la direction des diaclases, du pendage, d'une karstification, d'une altération préférentielle, se produisent de véritables « purges » de caractère parfois régional. Une fois de plus, des matériaux susceptibles de « partir » en d'autres circonstances au cours d'un certain laps de temps, sans exclure une échelle séculaire, se détachent d'un coup d'une foule de falaises. Autrement dit, le séisme est la « chiquenaude » qui met brutalement en valeur un « potentiel ». Dans les Alpes — rappelons le Frioul — et les Pyrénées²⁸ la plupart des éboulements associés aux séismes relèvent de ce processus de « purge » qui appelle lui aussi une discussion d'ensemble des sites sensibles, quels que soient les facteurs. Si le génie sismique est à l'ordre du jour, il ne saurait éclipser les spécialistes des mouvements de terrain, surtout si la connaissance d'événements anciens, à l'échelle de plusieurs siècles, leur permet de disposer d'un large recul²⁹. Autre extrême, certains éboulements majeurs, à une échelle quasi géologique, sont étroite-

26. Cf. note 16.

27. N.C. GARWOOD, *Earthquake-Caused Landslides : a Major Disturbance to Tropical Forests*, dans *Science*, CCV, 1979.

28. J. VOGT, *Mouvements de terrain associés aux séismes dans les Pyrénées*, dans *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, LV, 1984.

29. D.K. KEEFER, *Rock Avalanches Caused by Earthquakes : Source Characteristics*, dans *Science*, CCXXIII, 1984.

ment associés à des séismes notables, sans exclure, dans certains cas, une intervention directe de la néotectonique. Bien entendu, nombreux sont les cas intermédiaires, parfois complexes, de sorte que le diagnostic est souvent malaisé, en imposant une fois de plus un large recul. À cet égard, fait par exemple défaut une analyse détaillée des éboulements associés au séisme valaisan de 1755.

À leur tour, glissements et éboulements, quelle que soit la part des séismes dans leur déclenchement, induisent des effets en aval, au sens propre et figuré du terme. En particulier, ils barrent des vallées étroites, avec des ruptures de barrages qui peuvent être catastrophiques. Les exemples de tels processus sont nombreux dans les domaines de sismicité forte et fréquente, Chine, Andes, etc ... À titre d'exemple, citons cet effet du séisme colombien de 1827 sur le Rio Maddalena : « ... die Berge stürzten ein und hemmten den Lauf des ... Flusses ... »³⁰. Rappelons la convergence, certes exceptionnelle, qui caractérise la catastrophe de Huascaran, au Pérou, en 1970 : lors d'un séisme, effondrement d'une falaise dont les éléments, roche et glace, recouvrent un glacier, se chargent d'eau, traversent des moraines, pour former une avalanche de débris s'écoulant à un rythme rapide, en provoquant une catastrophe, avec de l'ordre de 18 000 victimes.

En raison de leur ambiguïté et d'une fréquente complexité, les mouvements de terrain associés aux séismes ont souvent été utilisés d'une manière discutable pour l'appréciation des intensités. C'est sans doute faute d'une expérience suffisante de la géologie de terrain que les auteurs de plusieurs échelles les ont mis en œuvre, comme critères d'intensité globalement élevées. Si ces effets sont présentés d'une manière étonnamment différenciée, l'essentiel est cependant perdu de vue, à savoir la définition de mouvements relevant d'une simple « purge » et compatibles avec des degrés moindres. Sans aucun doute cette carence s'est-elle traduite par des surestimations, de sorte que la mise en œuvre de ces critères discutables, appelle elle aussi, un effort de révision. À cet égard, une prise de conscience s'est produite en particulier lors d'une réunion de la Commission Européenne de Sismologie, en 1979³¹. Par la suite, une discussion a conduit d'une manière indépendante à une nouvelle mise en garde³². Une fois de plus, cette prise de conscience souligne l'intérêt d'une étroite collaboration des géologues et surtout de spécialistes des mouvements de terrain et des sismologues.

30. *Augsburger Ordinari Postzeitung* du 20-3-1828.

31. B. CADIOT, J. DELAUNAY, J. VOGT, *La prise en considération des mouvements de terrain pour l'appréciation des intensités, note présentée à la C.E.S.*, Strasbourg 1979. Cf. aussi J. VOGT, *Mouvements de terrain associés aux séismes ...*, dans *Éboulis et environnement géographique passé et actuel. Colloque A.G.F. Actes offerts au Professeur René RAYNAL*, 1983.

32. D.K. KEEFER, 1984, *Landslides Caused by Earthquakes*, dans *Geol. Soc. America Bull.*, XCV, 1984.

Parmi les effets indirects des séismes, les *tsunamis* sont sans doute les plus redoutables. En particulier, ils peuvent survenir à de grandes distances, par exemple aux Antilles lors du séisme de Lisbonne ou sur les côtes du Pacifique occidental lors de séismes majeurs d'Amérique du Sud. Ainsi, à des milliers de km, ils surviennent sans que le séisme lui-même soit ressenti, avec un prodigieux effet de surprise. Surprise aussi par l'amplitude du mouvement avec, souvent, une alternance de retraits et de déferlements.

Telles sont les raisons pour lesquelles les tsunamis s'inscrivent dans les mythologies, bien plus, semble-t-il, que les tremblements de terre eux-mêmes. C'est le cas chez les Indiens du Nord-Ouest des États-Unis, avec une interrogation au sujet de la sismicité ancienne de cette région, et, surtout, des Araucariens du Sud du Chili où « on garde le souvenir d'un grand déluge auquel n'échappa que peu de monde, qui se rassembla sur une montagne ... en trois pointes ... ». Il en résulte une « fixation » : « toutes les fois qu'il arrive un tremblement de terre les habitants se retirent sur des montagnes qui ont la même figure et ... la même propriété de surnager ... »³³.

De longue date, les tsunamis ont fait l'objet de discussions serrées et de catalogues par les océanographes et les sismologues. Rappelons la publication, il y a un demi siècle, d'un catalogue dans les *Annales de la Commission pour l'Étude des Raz-de-Marée*. Un effort particulier a été consacré à la Méditerranée, avec les travaux d'Ambraseys, Galanopoulos et Antonopoulos. Encore des réserves sont-elles formulées à l'occasion pour des événements anciens, en raison de problèmes d'exégèse. Ainsi lisons-nous dans l'introduction d'un catalogue : « ... scholarly investigation into so many of the manuscripts and texts which we were unqualified to render and which we left out, could easily double the entries and clarify many points »³⁴. Ce « cri du cœur » montre que les tsunamis historiques ont longtemps été logés à la même enseigne que les séismes historiques, en partageant les mêmes problèmes de cloisonnement. Une fois de plus, la prise de conscience des problèmes d'exégèse et le concours des historiens se traduisent depuis quelque temps par des progrès notables, en particulier pour l'Antiquité. Dans un contexte d'historiographie sismique peu clair, vient ainsi d'être examiné d'une manière critique, avec l'établissement de la filiation des sources, le tsunami majeur de 365 qui affecte, à partir d'un séisme des parages de Crète, un domaine s'étendant de l'Égypte à la Sicile³⁵.

33. *Tableau civil et moral des Araucans*, dans *Annales des Voyages*, XVI, 1811.

34. J. ANTONOPOULOS, *Catalogue of Tsunamis in the Eastern Mediterranean from Antiquity to Present Time*, dans *Annali di Geofisica*, XXXII, 1979.

35. F. JACQUES, B. BOUSQUET, *Le cataclysme du 21 juillet 365 : phénomène régional ou catastrophe cosmique ?*, dans *Tremblements de Terre, Histoire et Archéologie*, publ. citée (cf. note 2).

N'insistons pas sur l'origine des tsunamis, si ce n'est pour rappeler qu'à énergie égale ce ne sont pas les séismes, fréquents, survenant dans des fosses qui sont le plus redoutables, mais bien les événements, plus rares, des plateaux sous-marins. Il en résulte un problème d'annonce, dès lors qu'il est indispensable de disposer rapidement, pour l'appréciation graduée d'un risque de tsunami, d'une connaissance précise des caractéristiques d'un événement majeur souvent éloigné et de le situer dans son contexte sismotectonique³⁶. De même, la bathymétrie détermine le mode de propagation³⁷ et les caractéristiques d'un tsunami, particulièrement redoutable sur plateau continental, sans parler des différenciations introduites par la configuration du littoral.

Sans préjuger des conférences spécialisées, les problèmes épistémologiques et méthodologiques évoqués par ces rubriques débouchent inévitablement sur quelques propos généraux de *sismicité historique*. Sont esquissés son historique et surtout sa renaissance récente, avec la prise de conscience de sa complémentarité avec la sismologie instrumentale, sous la pression conjuguée de problèmes pratiques, de la discussion du « risque sismique » au sens probabiliste du terme et des progrès de la sismotectonique. Sont présentés les problèmes de sources et d'exégèse (vocabulaire, toponymie, chronologie, psycho-sociologie, fixation urbaine) et de présentation des résultats (expression de la relativité, des degrés de fiabilité), dans un contexte de « science affirmative », avec une soif insatiable de données d'apparence définitive assurant l'illusion du confort intellectuel.

Jean VOGT

S.G.A.L.

Rt. de Schirmeck, 204 - rue Daniel Hirtz, 10

F - 67200 STRASBOURG

36. Au cours de la discussion, des précisions sont données par J. Bonnin.

37. Ne sont pas reprises ici les considérations sur les vitesses de propagation et les amplitudes dès lors qu'elles appelleraient, cas par cas, un important travail de contrôle.