

Pascal Bernard

Qu'est-ce qui fait trembler la terre ?

À l'origine des
catastrophes
sismiques

Pascal Bernard

Qu'est-ce qui fait trembler la terre ?

À l'origine des catastrophes sismiques

Préface de Xavier Le Pichon
Illustrations de Pascal Bernard



17, avenue du Hoggar
Parc d'Activité de Courtaboeuf, BP 112
91944 Les Ulis Cedex A, France

« Bulles de sciences »
Collection dirigée par Bénédicte Leclercq

Ouvrages déjà parus :

La Terre chauffe-t-elle ? Gérard Lambert

Asymétrie, la beauté du diable, Frank Close

Que sait-on des maladies à prions ? Émile Desfeux

Des séquoias dans les étoiles, Philippe Chomaz

Les neutrinos vont-ils au paradis ? François Vannucci

Les requins sont-ils des fossiles vivants ? Gilles Cuny

Combien pèse un nuage ? Jean-Pierre Chalon

Pourquoi la Nature s'engourdit ? Jean Générmont et Catherine Perrin

Combien dure une seconde ? Tony Jones

À paraître :

À quoi ressemble Superman ? Roland Lehoucq

Un caillou peut-il menacer notre monde ? Christian Köberl

En couverture : Illustration originale de Thomas Haessig

ISBN : 2-86883-629-1

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences 2003

Préface

Je me souviens d'un congrès à Washington, dans lequel Tuzo Wilson, un des fondateurs de la Tectonique des Plaques, faisait une conférence plénière. Il obtint un gros succès en présentant le prophète Zacharie comme le premier promoteur de la Tectonique des Plaques. Je le vois encore arriver sur l'estrade avec sa grosse bible, l'ouvrir et commencer à nous lire le passage suivant :

« En ces jours-là, les pieds du Seigneur se poseront sur le mont des Oliviers qui fait face à Jérusalem vers l'Orient. Et le mont des Oliviers se fendra par le milieu, d'est en ouest, en une immense vallée, une moitié du mont reculera vers le Nord, et l'autre vers le Sud. »

Zacharie reprenait la description du tremblement de terre catastrophique qui avait, sous le règne du roi Ozias, rompu la faille du Levant. Cette grande faille, sur laquelle se sont formées les dépressions de la mer Morte et du lac de Galilée, est une frontière de plaque qui permet à l'Arabie de glisser vers le nord par rapport aux territoires situés à l'ouest. Elle est le lieu de grands séismes qui ont ponctué l'histoire d'Israël, faisant à chaque fois bondir de quelques mètres les deux lèvres de la faille, à l'ouest vers le nord et à l'est vers le sud.

Depuis que l'homme est homme, les grands séismes ont profondément marqué son imagination. Ils font partie de toutes les théophanies et sont interprétés comme une manifestation de la colère de Dieu. Il a fallu la Tectonique des Plaques pour que le rôle constructif des séismes dans la constitution des reliefs terrestres soit enfin pleinement reconnu. Sans eux, il n'y aurait pas de montagnes. Les continents seraient arasés et couverts par l'océan. La Terre serait une planète morte semblable à la Lune.

Il n'en reste pas moins que les séismes peuvent être à l'origine de désastres épouvantables lorsqu'ils frappent des régions habitées. La périodicité de ces très grands séismes est typiquement de quelques siècles et les très grandes métropoles modernes que nous avons installées dans des zones sismogéniques, comme Los Angeles ou Tokyo, sans se soucier du risque que nous prenons, n'ont pas encore subi ces cataclysmes. Tôt ou tard, un tel séisme les frappera. Les autorités et le public lui-même commencent à en prendre conscience, et cette menace reste une justification majeure pour l'effort de recherche considérable, mais encore probablement insuffisant, eu égard aux dégâts pharamineux prévisibles.

Pascal Bernard est l'un de ceux qui cherchent avec passion à faire dire aux séismes leurs secrets. Comme tout vrai chercheur, il en a fait une affaire personnelle et cette passion court tout au long des pages de ce petit livre, que j'ai lu avec un intérêt qui n'a fait que croître au cours de la lecture. Je croyais bien connaître Pascal Bernard. Mais, au fil des chapitres, j'ai pu découvrir son propre cheminement intellectuel. La recherche apparaît si souvent comme un monde mort, froid et abstrait. Cela vient de ce qu'on la traite comme un cadavre que l'on dissèque. En fait, la science est vivante, foisonnante, aussi complexe que les hommes qui la font. Il me semble que c'est là l'originalité majeure de ce livre. Le lecteur pénètre progressivement dans l'univers scientifique de Pascal Bernard et découvre cette confrontation toujours éminemment personnelle entre un chercheur et la nature qu'il s'efforce de comprendre, au milieu de l'effort collectif auquel sa recherche appartient. Espoirs et désillusions, disputes et confrontations accompagnent ce jaillissement incessant de nouvelles hypothèses suscitées par de nouvelles observations. La plupart de ces hypothèses aboutiront dans ces cimetières d'idées abandonnées qui jalonnent chaque étape du long cheminement de la recherche, mais celles qui survivent font progresser les connaissances par bonds successifs. Grâce à Pascal Bernard, le lecteur découvre avec fascination que le lent échafaudage

PRÉFACE

des connaissances scientifiques est en fait le produit des efforts incessants de tout un monde de chercheurs passionnés.

Au long de ce parcours initiatique, l'auteur explique de manière aussi simple que possible les processus physiques qui sous-tendent les phénomènes sans cacher le fait que la recherche est très loin de nous en fournir aujourd'hui une explication exhaustive. Comment s'étonner alors que la prédiction des séismes apparaisse plus éloignée aujourd'hui qu'elle ne semblait l'être il y a trente ans ? Faut-il pour cela être pessimiste et porter un regard négatif sur ces recherches ? Comment ignorer les progrès prodigieux accomplis dans l'identification des processus physiques et chimiques très complexes mis en jeu dans les tremblements de terre ? Mais en fin de compte, avec ce petit livre, c'est le lecteur lui-même qui pourra faire son propre bilan de ce que la recherche a pu découvrir à propos des séismes. Il pourra surtout prendre conscience de la nature de cet extraordinaire effort qu'est la recherche scientifique, effort qui change progressivement la nature même de nos relations avec notre planète.

XAVIER LE PICHON

Professeur au Collège de France,
membre de l'Académie des Sciences.

Prologue

Imaginez : vous êtes chez vous, paisible, vous bavardez en famille ou avec des amis, vous rêvassiez dans votre chambre ou devant la télévision, ou bien encore vous prenez une douche ; peut-être, par extraordinaire, êtes-vous en train de lire ces lignes...

... quand tout à coup, un grondement sourd envahit l'espace ; les objets, le sol, les murs se mettent à vibrer. Un bulldozer dans le couloir ! Non ! Un séisme ! En quelques secondes, livres et bibelots giclent des étagères, les lampes dégringolent, la télévision plonge, les armoires tanguent et basculent. Un vertige vous prend. Tout alentour secoue et geint comme un bateau dans une tempête, malmené par une force monstrueuse et invisible. Debout, vite, la porte. Le sol se dérobe. Chute. Fuite impossible. Encore une seconde et, dans un surcroît de violence aveugle, les murs craquent, s'ouvrent, s'effondrent dans un fracas de fin du monde, entraînant plancher, plafond, étages, toit, et vous-même dans leur chute.

Noir absolu, poussière âcre qui brûle les yeux et la gorge : tout se fige. Vous êtes blessé, hagard, perdu, coincé au creux d'une petite poche d'air entre gravats et meubles défoncés. Vous entendez des plaintes, des appels, des cris. Où sont-ils ? Bientôt plus rien qu'un silence de mort. Fumée d'incendie. Vous ne pouvez plus bouger. Commence une longue attente. En moins de dix secondes, votre vie aura basculé.

Au XX^e siècle, plus d'un million de personnes, hommes, femmes, enfants, ont ainsi péri sous les décombres, écrasées, étouffées, brûlées, parfois oubliées dans un creux inaccessible et mortes d'épuisement. Des dizaines de millions ont survécu, parfois mutilées, choquées à vie, ayant perdu leur famille, leurs amis, et porteront jusqu'à la fin de leurs jours une terreur indicible de cette terre immobile, si paisible, qui soudain se réveille et détruit.

QU'EST-CE QUI FAIT TREMBLER LA TERRE ?

Rares sont les années sans de telles catastrophes. Elles semblent frapper au hasard, aux quatre coins du Globe, rasant des villages, parfois des villes, renversant avec une égale indifférence les vieilles bâtisses décrépies et les immeubles modernes. Cela arrive même en France, mais on oublie...

Turquie, 17 août 1999, flash télévisé : la ville de Kocaeli est touchée par un violent séisme ; de nombreuses victimes ; Istanbul aussi a été frappée.

Dès l'annonce d'un séisme destructeur, les équipes de télévision se précipitent, parfois de l'autre bout du monde, pour offrir au téléspectateur horrifié ces images que vous connaissez bien, de ces sauveteurs improvisés qui déblaient à la pelle, à la main, des monceaux de gravats, pour sauver un de leur proches ; de ces hommes et femmes assis, silencieux, au regard embué et perdu, devant les ruines de leur demeure ; de ces chiens au flair extraordinaire, guidant des équipes de sauveteurs sur les montagnes de débris ; de ces pelleteuses rugissantes, inquiétantes, dont on ne sait si elles vont réussir à percer les murailles effondrées qui emprisonnent les occupants, ou bien achever le travail destructeur de la Nature par un coup de pelle maladroit ; de ces hommes courageux, spéléologues improvisés, qui se glissent dans les profondeurs des ruines instables pour aider une victime à se dégager de son trou à rat, au risque d'être surpris par une nouvelle secousse qui pourrait les enfermer pour toujours ; de ces bébés miraculés, sortis indemnes après des jours passés au tréfonds de ce chaos.

Turquie, Kocaeli, 20 août 1999, bilan provisoire, 5 000 morts.

Puis, sur le plateau de télévision, apparaît un scientifique, lui aussi troublé par les images choquantes. Il commente prudemment l'événement : oui, le séisme était prévisible ; mais non, il n'était pas vraiment prévu. Incrusté sur l'écran, un schéma montre l'incontournable tectonique des plaques, avec des flèches, des cartes, la terre qui bouge comme dans un dessin animé, et où il est trop souvent dit que les plaques flottent sur du magma et s'entrechoquent

PROLOGUE

parfois en donnant des séismes. Autant de bêtises dont les médias se satisfont, dans l'urgence des actualités. Personne ne prendra le temps d'expliquer ce qui se passe vraiment, personne n'aura vraiment compris pourquoi cela se produit, ni ce que l'on peut faire pour s'en protéger. On s'inquiète plutôt pour les disparus : le bilan des morts augmente chaque jour.

Turquie, Kocaeli, fin août 1999 : 20 000 morts, 20 000 disparus.

Toujours les mêmes images, cela accroche sans doute plus le public que les discours scientifiques bien ennuyeux. Le temps télévisé coûte cher, les morts se vendent mieux que la connaissance.

Pourtant, si l'on veut réduire l'impact de ces catastrophes, il ne suffit pas de frapper l'esprit du public avec des images douloureuses. Il faut surtout comprendre ce qui se passe : savoir, pour mieux agir. Si les journalistes n'ont pas les moyens de bien faire ce travail d'information, si l'école n'a pas le temps de s'y attarder, c'est peut-être aux scientifiques de s'y frotter, et de faire part de leurs découvertes et de leurs questions encore sans réponses, en s'adressant directement au public. C'est ainsi que je conçois cet ouvrage : révéler au lecteur curieux, aussi simplement que possible, ce que des siècles d'études nous ont appris sur l'origine des catastrophes sismiques, et comment les scientifiques d'aujourd'hui cherchent à résoudre les nombreuses énigmes qui demeurent ; mais aussi comment la société, bon an, mal an, tente d'y faire face.

partie I

Tempêtes souterraines

1

Pré-visions sismiques

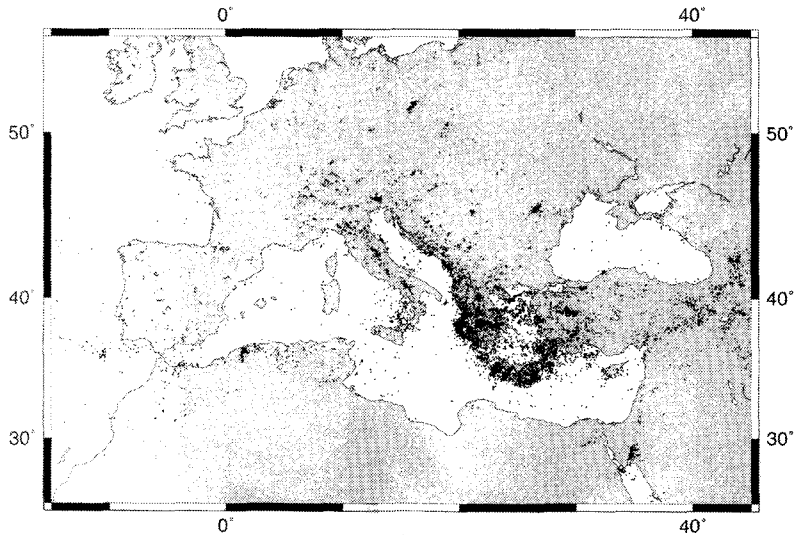
La sensation d'un tremblement de terre – même pour un séisme de rien du tout, faisant tout juste tinter les verres et balancer les lampes – est une expérience déroutante, presque métaphysique : quelle force mystérieuse est à l'œuvre dans ce phénomène extraordinaire ? Si l'on dispose de nos jours de nombreuses observations et de théories précises qui permettent d'en avoir une assez bonne idée, cela n'a évidemment pas toujours été le cas. Comment cette science des séismes s'est-elle constituée ? Comment l'homme a-t-il appris le fonctionnement d'un mécanisme aussi rare, aussi fugitif, si bien caché sous la terre ? Un saut dans le passé s'impose.

Voici une dizaine de milliers d'années, le développement de l'agriculture fixe les premières grandes sociétés humaines. Des villages, puis des cités sont bâties, sur tous les continents. Les séismes, qui n'avaient que peu d'effet sur les huttes en branches, les cabanes en bois, ou les habitats troglodytes, peuvent commencer leur œuvre destructrice sur les œuvres de pierre ou de terre crue. Recevant à leur occasion du torchis, du plâtre ou des tuiles sur la tête, voire des cheminées, *sapiens* encore peu *sapiens* finit par se poser des questions. Il fallut encore longtemps pour qu'il tentât d'y répondre.

Avançons dans le temps, et posons-nous en 500 avant notre ère, sur les rivages de la mer Égée. Nous sommes au cœur de la

QU'EST-CE QUI FAIT TREMBLER LA TERRE ?

Grèce Antique, îles blanches et sèches, mer chaude et ventée, montagnes boisées. Sur la côte ouest, Athènes était alors une petite ville où il faisait sans doute bon vivre – du moins pour les hommes libres. D'autres cités grecques prospéraient au levant, du côté de l'actuelle Turquie. Toutes ces villes avaient ceci de commun : des séismes parfois destructeurs y étaient fréquemment ressentis.



1. Sismicité méditerranéenne de magnitude supérieure à 4,5 entre 1965 et 2000. (Catalogue du *National Earthquake Information Center*)

Toutefois les gens faisaient avec, divinités à l'appui. Poséidon, dieu colérique des profondeurs marines, était un de ces « fauteur de séisme », frappant le sol de son trident lors de ses violentes querelles avec Athéna. Engelados, fils des Tartares et de la déesse Terre, chef des Géants, emprisonné sous terre par Athéna qui l'écrasa sous la Sicile, pouvait lui aussi « pêter les plombs » et secouer de rage le monde souterrain...

Les philosophes grecs de l'époque rejetaient ces visions populaires de divinités trop humaines. Ils aimaient débattre tout autrement des choses du monde, développant des théories fondées sur

quelque principe et sur ses transformations : l'Eau, le Souffle, le Feu, l'Éther, essences bien plus puissantes que les éléments matériels dont ils s'inspiraient. C'est ainsi que vers les années 600 avant notre ère, dans la prospère cité de Milet, Thalès ne s'intéressait pas qu'aux figures géométriques de ses anciens Maîtres égyptiens. Premier savant physiologue de la Grèce Antique, il posait l'Eau comme principe physique primordial de la vie et du monde : « à travers l'humidité élémentaire chemine une force divine qui la meut ».

Thalès élaborait, entre autres, la théorie la plus ancienne que nous connaissons sur les tremblements de terre. Elle s'est transmise jusqu'à nous, par un résumé qui ne s'embarrasse pas de détails : « La terre repose sur l'eau et y flotte comme un navire ; et lorsqu'on dit que la terre tremble, cela est dû à la mobilité de l'eau. » (Sénèque, *Questions Naturelles*).

Cette affirmation péremptoire lança une vive polémique, et d'autres écoles de pensée virent rapidement le jour. Pendant près de trois siècles, les savants philosophes s'affrontèrent sur le pourquoi et le comment des séismes. Ce ne fut cependant pas qu'un débat d'idées : ces joutes oratoires s'élevaient par l'expérience commune. Pour les tempêtes souterraines, Thalès avait des éléments de preuves : les nombreuses observations de sources qui jaillissaient ou se tarissaient après les séismes. Le premier à oser contredire Thalès fut un de ses élèves, Anaximandre, favorable au principe du Souffle : « Anaximandre affirme que la terre, asséchée par la trop grande sécheresse des chaleurs d'été, ou au contraire après les humidités des pluies, se crevasse en fort profondes fissures, dans lesquelles l'air venu d'en haut s'engouffre violemment et abondamment, et que, secoué par la violence du souffle qui y circule, elle remue sur ses assises. C'est de là que proviennent les tremblements de terre, aux époques où ces sortes d'évaporation se produisent, ou au contraire de trop abondantes chutes de pluie. » (Ammien Marcellin, *Histoire de Rome*).

Anaximène, disciple d'Anaximandre, et moins téméraire que lui, se contente de préciser les théories de son maître sur la question

des séismes. Voici ce que rapporte Aristote : « Anaximène dit que la terre se brise sous l'effet de l'humidification et de la dessiccation, et que les tremblements de terre sont dus à la chute de ces masses qui tombent après s'être brisées. C'est pourquoi les tremblements de terre se produisent pendant les sécheresses et de nouveau pendant les grandes pluies ; en effet la terre se brise, ainsi que nous l'avons dit, dans les périodes de sécheresse sous l'effet de la dissécatation et s'effondre lorsqu'elle est excessivement baignée par les eaux de pluie. » (Aristote, *Météorologiques*).

Pour Anaximène, les choses sont donc moins simples : les éléments en action n'engendrent pas directement les séismes, mais sapent les fondements de la terre, conduisant à son effondrement, et provoquant ainsi le tremblement de terre.

Quelque cinquante ans plus tard, Anaxagore met son grain de sel, et propose des représentations encore plus élaborées : l'éther, principe de toutes choses associé au feu, supportant la terre, et dont la tendance naturelle est à l'élévation, est bloqué dans les profondeurs par l'eau qui remplit les pores et fissures, résultant en une combustion interne, laquelle cause des effondrements souterrains, générant les séismes. Ouf...

D'autres savants s'y mettent, et le débat prend de l'ampleur, car les théories sismiques s'affinent et s'appuient non plus sur la fascination pour un principe mais sur la réalité d'observations spécifiques, judicieusement choisies. Ainsi, deux siècles après Thalès, dans son fameux ouvrage *Météorologiques*, le grand savant grec Aristote associe lui aussi les tremblements de terre au vent, par un principe commun, le *pneuma*, exhalaison sèche produite à la fois par le feu interne et par le Soleil. S'échappant du sol, ce *pneuma* engendre les vents ; pénétrant la terre, il s'y concentre et produit les séismes. Ces circulations sont régulées par les conditions climatiques externes.

Pour défendre cette idée, Aristote invoque une prépondérance des séismes au printemps ou en automne, périodes de sécheresse et

de pluie qui perturbent les circulations du *pneuma*, ainsi qu'à midi ou à minuit, périodes sans vent, signes de son enfouissement dans les sols. Nous savons aujourd'hui que ces coïncidences ne sont pas fondées statistiquement ; mais Aristote était suffisamment convaincu de la véracité de sa théorie pour s'autoriser à négliger quelque observation qui n'y obéirait pas, l'exception confirmant la règle... Nous pouvons sourire à cette petite tricherie du grand savant. Cependant, cette propension à ne sélectionner dans les observations que celles qui collent bien à une théorie, et à rejeter les autres, est un des traits les plus constants dans l'histoire de la science. De nos jours, elle reste le travers le plus commun des publications scientifiques. Nous en verrons plus tard quelques exemples.

Aristote a un autre argument pour convaincre de cette place centrale et active du *Pneuma*, et de la passivité de l'eau : c'est bien le vent qui meut les vagues, et non le contraire, dit-il en substance. L'analogie est puissante, et il ne devait pas faire bon s'opposer au professeur...

Ainsi, après trois siècles de débats, les dieux de l'Olympe sont mis à la porte. Toutefois, le principe des causes sismiques, qu'il soit l'Éther, le *Pneuma*, l'Eau ou le Feu, semble plutôt arbitraire, et les observations rapportées à l'appui de chaque thèse sont moins des démonstrations qu'un support à l'intuition. Contemporain de ces débats, le philosophe Épicure en a bien conscience. Il se dégage habilement d'une polémique qu'il juge vaine, en invitant à ne rejeter aucune des représentations proposées. Le phénomène qu'elles décrivent étant inaccessible à nos sens, nul ne peut savoir où gît la vérité. Seule l'acceptation de la pluralité des théories est le gage de la tranquillité d'esprit. Ne vous prenez donc pas la tête...

Peu à peu, la science quitta le monde égéen et fleurit plus à l'ouest, au cœur de l'Empire romain. Là-bas, et pour de nombreux siècles, les savants ne firent que reprendre et discuter les mêmes théories, sans ouvrir de nouvelles pistes : chaque Élément

correspondait à un phénomène, toutes les bonnes idées étaient formulées, et la Terre était toujours aussi opaque et impénétrable. De surcroît, ces savants n'avaient plus tant de grain à moudre, la campagne romaine et ses provinces étaient bien moins sismiques que l'archipel hellénique. Les séismes destructeurs y étant plus rares, les développements savants à leur propos ne motivaient personne. Lucrèce, contemporain de l'empereur Cicéron, prend comme seul exemple, dans son extraordinaire ouvrage *De rerum natura*, un séisme vieux de trois siècles qui fit disparaître la ville grecque d'Helike sous les eaux du golfe de Corinthe ; il n'en connaissait les effets que par les écrits de seconde main des Anciens et de géographes comme Strabon. Quand à Sénèque, dans ses *Questions Naturelles*, il ne cite que le séisme de Campanie, en l'an 62, qui ébranla Pompéi peu avant l'éruption catastrophique du Vésuve qui ensevelit la ville.

L'idée force de ces représentations de l'activité sismique, qui fleurirent dans le monde antique occidental, est donc celle d'une terre caverneuse et passive, parcourue par des fluides ou principes actifs causant ses ébranlements. Ces images ne purent résister au développement de la chrétienté, qui ne reconnaissait qu'un principe divin, et point de lois naturelles. Elles furent même déclarées hérétiques ! À la fin du IV^e siècle, Philastrius, évêque de Brescia, inscrivit comme hérésie numéro 102, dans son *Liber de Haeresibus*, la croyance en des causes naturelles à l'origine des séismes. Quelques voix s'élèvent pourtant parmi les érudits du Moyen Âge, redécouvrant la pensée antique dans les livres soigneusement préservés et recopiés. Ainsi, au VI^e siècle, l'encyclopédiste Isidore de Séville réconcilie les théories antiques en mettant tous les principes à l'œuvre, pêle-mêle : les vents d'Aristote causent non seulement les séismes, mais aussi, en même temps, les effondrements et les mouvements d'eau souterrains...

Cependant, la figure allégorique du souffle de Dieu finit par masquer la vision naturaliste des vents : pendant près d'un

millénaire, les séismes furent interprétés avant tout comme des messages divins, représentations de la fin du monde.

Fluide électrique ou machine à vapeur ?

Fin du XVI^e siècle. La science pointe son nez, mais les églises restent vigilantes. Le grand physicien Galilée, précurseur de la science expérimentale, restait perplexe sur la question des séismes, pour laquelle aucune expérience, aucune mesure ne semblait envisageable. À tel point qu'il nota, prudent : « doit-on penser que la cause des séismes doit être au-dessus, ou sous la terre ? » La question est à l'ordre du jour dans l'agenda scientifique de l'époque : en 1556, lors du grand séisme de Constantinople, les habitants de la ville n'avaient-ils pas observé une grande comète, ainsi qu'une constellation inhabituelle d'étoiles ?

Encore un siècle, et nous voici au début du XVIII^e. Les choses commencent à bouger sur la question des séismes, et tout d'abord par un texte visionnaire du géologue anglais Robert Hooke. En 1705, reprenant les écrits des Anciens et leurs observations des effets des séismes, Hooke associe la formation des montagnes à l'effet des tremblements de terre, qu'il déduit de l'observation de fossiles marins en altitude : « Ces phénomènes et plusieurs autres peuvent avoir été produits par des tremblements de terre, catastrophes qui ont converti les plaines en montagne, et les montagnes en plaine, les mers en continents et les continents en mers, qui ont fait couler des rivières là où il n'y en a jamais eu, en ont absorbé d'autres qui existaient depuis longtemps ; et qui, depuis la création du monde, ont opéré des changements nombreux sur la surface de la terre, et ont été les moyens à l'aide desquels les coquilles, les ossements, les poissons, et autres corps analogues se sont trouvés placés dans les lieux où, à notre grand étonnement, nous les trouvons aujourd'hui. »

Toutefois, c'est surtout l'expérience de deux catastrophes sismiques, à Lisbonne en 1755, et en Calabre en 1783, causant la mort de près de 100 000 personnes, qui incita quelques poignées de

QU'EST-CE QUI FAIT TREMBLER LA TERRE ?

Observatoire Midi-Pyrénées (OMP) – Laboratoire de sismologie
<http://www.obs-mip.fr/omp/umr5562/recherche/equipes/sismo.htm>
Association Française de Génie Parasismique
<http://membres.lycos.fr/afps/index.html>
Ministère de l'Écologie et du développement durable
<http://www.environnement.gouv.fr/dossiers/risques/risques-majeurs/p39.htm>

• *Instituts Étrangers*

Observatoire National d'Athènes (NOA) – Grèce
<http://www.gein.noa.gr/services/info-en.html>
Université Aristotélicienne de Thessalonique – Grèce
http://lemnos.geo.auth.gr/the_seisnet/en/index.htm
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) – Rome, Italie
<http://www.ingv.it/SITOINGLESE/indexinglese.html>
GeoForschungZentrum (GFZ) – Potsdam, Allemagne
http://www.gfz-potsdam.de/pb2/pb21/index_e.html
United States Geological Survey, États-Unis
<http://earthquake.usgs.gov>
Southern California Earthquake Center, États-Unis
<http://www.scec.org>
Earthquake Research Institute (ERI) – Tokyo, Japon
<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp>

• *Liens avec d'autres Instituts de Recherche*

<http://seismo.ethz.ch/seismosurf/seismobig.html>

• *Quelques liens pédagogiques*

http://beaufix.ipgp.jussieu.fr/rech/sismo/fr_site/Liens/index.html

• *Quelques projets*

Cartographie mondiale et régionale de l'aléa sismique (GSHAP)
<http://seismo.ethz.ch/GSHAP>
Projet du rift de Corinthe (CRL)
http://www.corinth-rift-lab.org/index_en.html
Mesure continue de la déformation du Japon par GPS (GEONET)
<http://mekira.gsi.go.jp/ENGLISH>
Surveillance sismique dans la région d'Istanbul
<http://www.koeri.boun.edu.tr/geomap/en/sevendays.html>
Projet « sismo des écoles »
<http://www.ac-nice.fr/svt/aster/menu.htm>

Table des matières

Préface	3
Prologue	7
Partie I : Tempêtes souterraines	11
1. Pré-vision sismiques	13
2. Une terre solide, élastique et cassante	33
3. Failles et dislocations	49
Partie II : Le cycle chaotique des séismes	79
1. La hiérarchie sismique	81
2. L'œuf et la poule	101
Partie III : Le décryptage d'une secousse	119
1. Voir le sol trembler	121
2. Le sol sous haute surveillance	133
3. Sauter, ou ne pas sauter ?	145
Partie IV : La chasse au précurseur	157
1. Coups de semonce	159
2. Jeux d'eau	177
3. Décharges électriques	191
4. Des instabilités menaçantes	213
Partie V : Pourquoi prédire ?	231
1. Alerte au séisme !	233
2. Bien construire	241
3. Enquête sur un passé sismique	251
4. La menace se précise	265
Épilogue	275
Glossaire	279
Bibliographie	285