

L'activité de la planète engendre des risques pour les humains

La Terre est une planète géologiquement active, et cette activité, créant séismes et éruptions volcaniques, peut se révéler destructrice, que ce soit pour les paysages naturels ou pour les constructions humaines.

Quels sont les risques créés par cette activité interne ? L'humanité peut-elle y faire face ?

SOMMAIRE

Introduction

- 1 - Un tremblement de terre historique
- 2 - Prévenir les risques sismiques
- 3 - Un habitat qui résiste aux séismes
- 4 - Un cas de risque volcanique discuté : l'éruption de la Soufrière en 1976
- 5 - Peut-on se prémunir des éruptions volcaniques ?

Exercices

Glossaire

Coulée de lave destructrice à Hawaii en 1990 - Photo USGS.



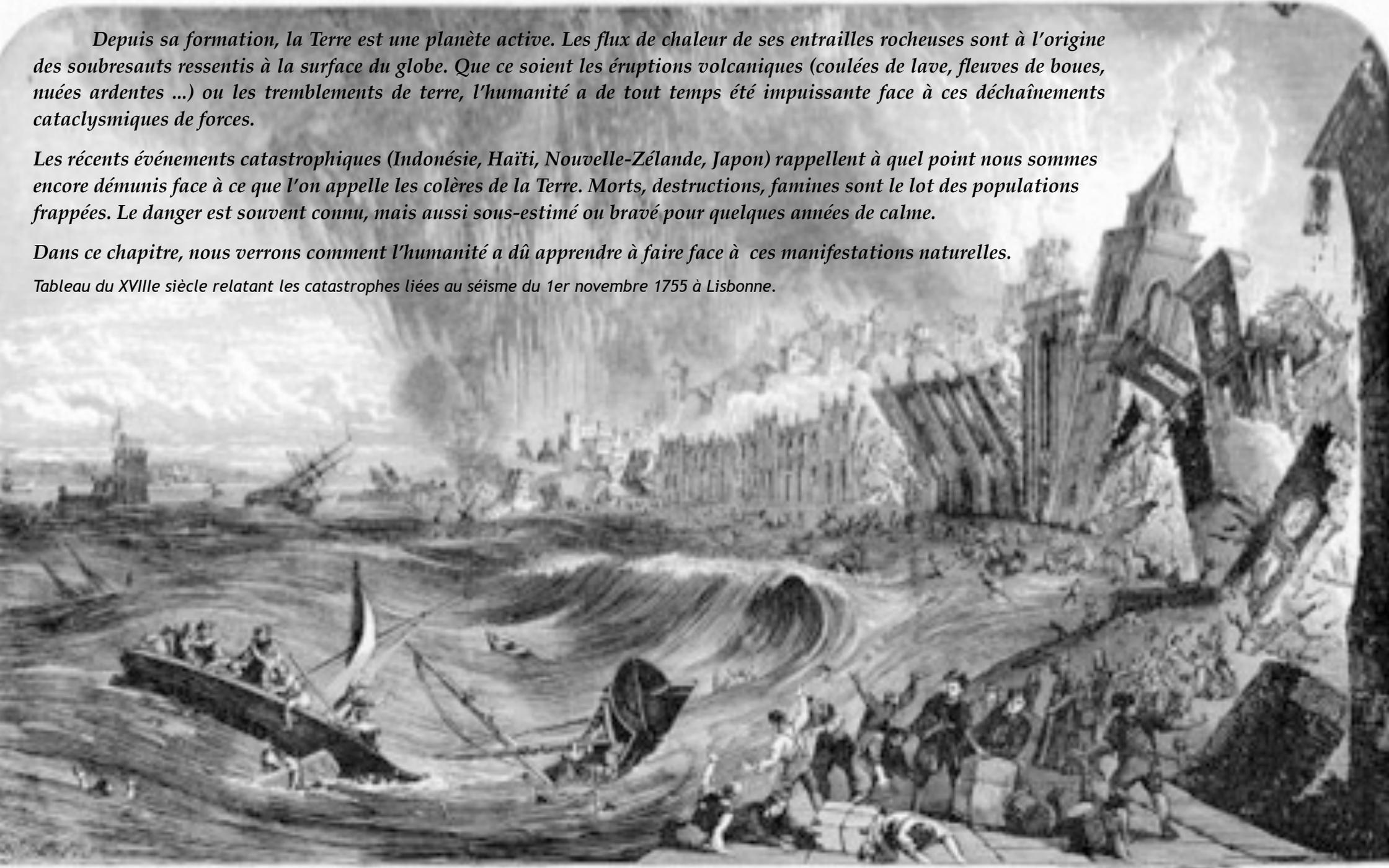
L'humanité face aux colères de la Terre

Depuis sa formation, la Terre est une planète active. Les flux de chaleur de ses entrailles rocheuses sont à l'origine des soubresauts ressentis à la surface du globe. Que ce soient les éruptions volcaniques (coulées de lave, fleuves de boues, nuées ardentes ...) ou les tremblements de terre, l'humanité a de tout temps été impuissante face à ces déchaînements cataclysmiques de forces.

Les récents événements catastrophiques (Indonésie, Haïti, Nouvelle-Zélande, Japon) rappellent à quel point nous sommes encore démunis face à ce que l'on appelle les colères de la Terre. Morts, destructions, famines sont le lot des populations frappées. Le danger est souvent connu, mais aussi sous-estimé ou bravé pour quelques années de calme.

Dans ce chapitre, nous verrons comment l'humanité a dû apprendre à faire face à ces manifestations naturelles.

Tableau du XVIIIe siècle relatant les catastrophes liées au séisme du 1er novembre 1755 à Lisbonne.



Un séisme meurtrier: le tremblement de Terre de la Toussaint 1755 à Lisbonne, capitale du Portugal

Le 1er novembre 1755, vers 9h30, Lisbonne a subi un séisme de très forte intensité, suivi par l'incendie de la ville et un raz-de-marée. Cela provoqua la destruction d'une grande partie de la ville et la mort de près de 30 000 personnes. Cette catastrophe va tellement marquer les esprits que des centaines d'écrits vont contribuer à faire connaître le déroulement des événements. La description des séismes ne sera plus jamais la même après ce 1er novembre 1755.

En ce jour de Toussaint, la plupart des 250 000 habitants de Lisbonne étaient dans les églises. Dès les premières secousses, les clochers et les flèches des édifices commencent à osciller, «*comme des blés sous le vent*» diront les témoins. Tout le monde sort donc dans la rue. Églises et maisons se vident. C'est à ce moment qu'une deuxième secousse survient. Les bâtiments, déjà très fragilisés par les premières secousses, s'écroulent. Un gigantesque nuage de poussière recouvre les gravats. Les habitants sont piégés sous les décombres de leur ville. Le nombre de morts est considérable. Les secousses, extrêmement fortes, sont ressenties partout en Europe. Au Luxembourg, distant de 2500 km, une caserne s'effondre et tue 500 soldats. Des maisons s'écroulent aussi au Maghreb.

Les survivants cherchent alors à se réfugier loin des bâtiments encore debout. Ils se croient sains et saufs sur les quais. Pour eux, les bords du Tage, peu construits, ne sont pas dangereux. Les témoins survivants ont décrit plus tard le retrait des eaux du Tage et de l'océan, qui semblent disparaître à l'horizon. Les fonds marins sont nus, totalement à sec. Ce n'est que quelques minutes plus tard que la mer revient. Sa vitesse est affolante, et c'est une vague de plus de quinze mètres de haut qui va déferler sur les survivants du séisme et sur les décombres de la ville basse. Des bateaux sont emportés à l'autre bout de la ville. Lorsque les éléments déchainés se retirent, ils emportent leur lot de cadavres et de débris vers le large. Cette vague énorme a balayé l'Atlantique et la Méditerranée. Des villes côtières d'Afrique sont rayées de la carte, et plusieurs ports français, anglais ou hollandais ont été très perturbés.

Peu après, les incendies se déclenchent. Un peu partout, Lisbonne, déjà écroulée et noyée, prend feu, les bois et charpentes écroulées s'enflamment. Un immense brasier détruit les restes de la cité portuaire. Il ne s'éteindra qu'au bout de trois jours, lorsqu'il n'y aura plus rien à brûler. Lisbonne, capitale richissime du Portugal, fierté du pays dans ses parures d'or et de soie, recelant des trésors et d'innombrables oeuvres d'art en provenance du monde entier, Lisbonne n'est plus qu'un tas de ruines et de cendres fumantes.

Cette catastrophe va entraîner des débats violents sur son origine et ses conséquences. Les partisans de la colère divine vont s'opposer aux philosophes qui chercheront les causes naturelles, sans réellement pouvoir expliquer le déchainement de violences subies par la ville. Voltaire y placera un chapitre de son *Candide*, tandis que Rousseau raille l'imprévoyance de l'Homme. Pour lui, si les Portugais avaient construit leur ville plus loin, rien n'aurait pu arriver. Il écrira même, dans une logique discutable, que si les malheureux Portugais avaient habité dans les bois, comme leurs ancêtres, les maisons n'auraient pu s'écrouler sur eux !



Destruction. Gravure d'époque représentant la destruction de Lisbonne par un tremblement de terre suivi d'un raz de marée et d'un incendie géant le 1/11/1755.



Une trace actuelle. Fissure et éboulement sur l'île de Lundy, à l'ouest du Pays de Galles. Ces reliefs se sont formés le 1er novembre 1755 à cause du séisme qui détruisit Lisbonne, à 1500 Km de là. Photo G Sherman/geograph.org.uk/ Wikimedia.

PRÉVENIR LES RISQUES SISMIQUES

Les séismes font partie des risques naturels majeurs, comme les avalanches, les inondations, les cyclones, les tempêtes, les éruptions volcaniques et les glissements de terrain.

Le volcanologue Haroun Tazieff définissait ainsi un risque majeur : « *c'est une menace sur l'homme et son environnement direct, sur ses installations, une menace dont la gravité est telle que la société se trouve absolument dépassée par l'immensité du désastre* ».

Les connaissances sur l'origine et le déroulement des tremblements de terre ont abouti à des recherches sur la prévision des séismes, cherchant à développer la prévention, c'est-à-dire la réduction des risques liés aux séismes.

La probabilité pour une région de subir une secousse sismique d'une intensité donnée a été appelée **aléa sismique**. Pour le déterminer, il faut pouvoir évaluer la magnitude, l'intensité et la profondeur du foyer. Cela doit être fait non seulement pour les séismes récents, mais aussi pour les séismes anciens. Si on peut obtenir la date et l'intensité d'un ensemble de séismes, et donc reconstituer l'histoire sismique d'une région, on peut calculer la fréquence des séismes à un endroit donné.

En mille ans, 5000 séismes ont été répertoriés en France. Si la France métropolitaine se trouve dans une zone de sismicité modérée, des départements d'outre-mer se situent, eux, dans une zone de forte sismicité. En métropole, le plus fort séisme enregistré depuis 1900 a été celui de Rognes, en Provence, le 11 juin 1902, qui a atteint une magnitude de 6,2 (estimation sur l'échelle de Richter). En 1843, le plus grand séisme en France depuis trois siècles a ravagé les îles de Guadeloupe et Antigua; sa magnitude était comprise entre 7,5 et 8. Ces îles ont été déplacées de près de cinq mètres.

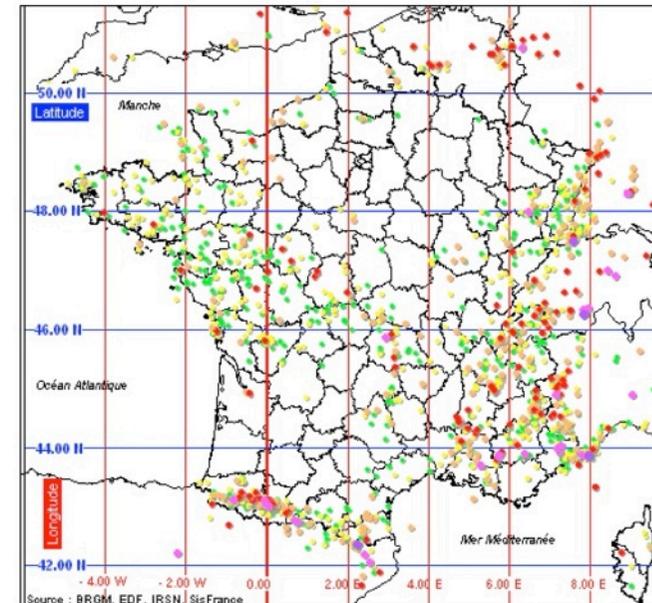
Pour définir le risque sismique, on doit aussi tenir compte des caractéristiques des constructions humaines: leur résistance aux vibrations du sol et leur emplacement. Ce dernier est important: les spécialistes parlent «d'effet de site», car selon sa composition le sous-sol réagit différemment aux ondes sismiques, et peut en accentuer les effets destructeurs. Ainsi, les roches du sous-sol peuvent amplifier les ondes sismiques, comme à Mexico en 1969; ou bien un sous sol sableux, agité en tous sens par les ondes sismiques, peut se comporter alors comme un liquide et «engloutir» les bâtiments qu'il supporte, comme cela a été le cas à Kobe (Japon, 1995), où de nombreux bâtiments se sont écroulés dans certaines parties de la ville construites sur des îles artificielles, dans le port.

Il ne suffit donc pas de connaître l'emplacement des failles et l'histoire des séismes de la région: il faut aussi savoir quelle va être l'influence du sous-sol sur les ondes sismiques et comment l'occupation humaine a évolué depuis les derniers séismes destructeurs dans une région.



Liquéfaction du sol lors du séisme de Niigata au Japon en 1967

Certains sols de plaine gorgés d'eau peuvent se comporter quasiment comme un liquide pendant le séisme : on parle de « liquéfaction » du sol. Les habitations ou les ouvrages mal conçus et installés sur ces sols peuvent donc être déséquilibrés et se disloquer. Doc [site Replik](#).



Carte de la sismicité en France métropolitaine au XX^e siècle.

Quels sont les enjeux d'une prévision du risque sismique ?

Pour réellement prévenir les risques, il faut tenir compte de l'ensemble des habitants, de leurs habitations et de leurs biens. Il est également nécessaire de tenir compte des activités humaines qui doivent continuer. Enfin, le patrimoine (naturel ou artistique) pouvant être endommagé ou détruit lors d'un séisme doit être répertorié.

À partir de ces données, les experts établissent une carte des enjeux, qui détermine par exemple les points sensibles comme les écoles. En comparant cette carte avec celle des risques sismiques, on connaît la vulnérabilité de chaque zone vis-à-vis des séismes. Par exemple, dans un désert, l'aléa sismique peut-être fort (séismes fréquents), mais s'il n'y a ni pétrole ni habitation, les enjeux sont faibles, et la vulnérabilité vis-à-vis du risque sismique sera donc faible. À l'inverse, pour un aléa sismique modéré (peu de séismes) dans une zone très peuplée où les habitations sont précaires, le risque sismique sera fort, car les enjeux humains (risques de morts ou de blessure, de destruction des maisons, des routes et des ponts...) sont importants.

Les recherches actuelles sur la prévision des séismes

Pour éviter les morts et les catastrophes liées aux séismes les plus puissants, différentes techniques ont été utilisées pour prévoir les séismes. Malheureusement, si elles ont pu obtenir quelques succès, aucune n'est encore actuellement suffisamment fiable. Citons:

- Des techniques basées sur la façon dont un courant électrique circule dans le sol. Cette circulation est modifiée avant un séisme, mais il a été impossible pour le moment de prévoir un séisme avec ces techniques encore à l'étude.
- Les systèmes d'**alerte imminente** qui utilisent un réseau de sismographes, dans une région à risque, détectent les premières ondes sismiques, peu destructrices, et préviennent donc de l'arrivée imminente des secousses les plus fortes. Plus on s'éloigne de l'épicentre, plus le délai augmente. Des systèmes de ce genre ont été installés au Japon après le séisme de Kobe en 1995, et à Mexico. Un autre est à l'étude en Californie. Ils donnent l'alerte quelques dizaines de secondes avant les secousses les plus fortes. Même si ce délai est très court, il permet de stopper les ascenseurs, les métros et les trains, de stopper les usines, de se mettre à l'abri dans les écoles... Ainsi, le 9 octobre 1995, une alerte a été donnée à Mexico 50 s avant l'arrivée de la secousse, ce qui a permis de stopper le métro et de protéger les élèves des écoles.
- L'utilisation de satellites qui détectent des modifications dans l'atmosphère terrestre qui se produisent, pour des raisons inconnues encore, quelques jours avant les séismes majeurs. Le satellite français Demeter, entre 2004 et 2010, a étudié ces modifications qui restent encore très mal comprises et donc ne peuvent être utilisées pour prédire les séismes, mais donnent l'espoir qu'une prévision possible dans le futur avec quelques jours d'avance.

Pour le moment, la protection contre les séismes la plus efficace consiste à éduquer les populations et à adapter les constructions.



La tour Taipei 101, de 509 m de haut, construite à Taïwan, est située dans une zone où les séismes sont fréquents. Elle utilise de nombreuses techniques parasismiques, comme par exemple une sphère stabilisatrice de 660 tonnes suspendue au 92^{ème} étage, et qui contrebalance les vibrations causées par les séismes ou les typhons. La tour a déjà résisté à un séisme survenu pendant sa construction, en 2002.

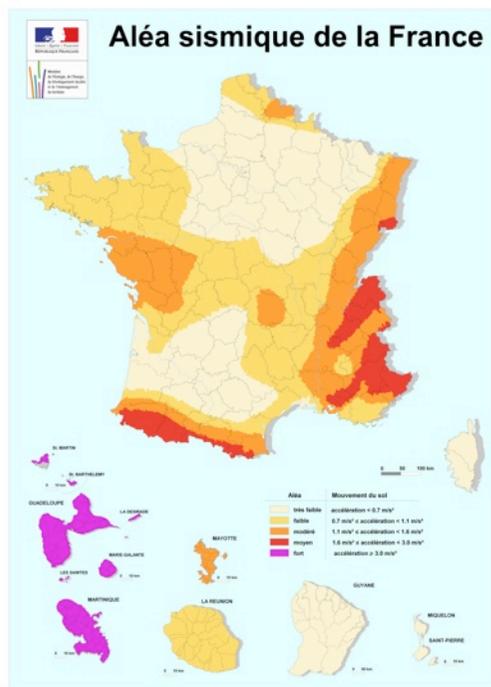
Photo GREG/Wikimedia, schéma d'après Someformofhuman/Wikimedia.

À RETENIR: L'aléa sismique est défini comme la probabilité pour une région de subir une secousse sismique d'une intensité donnée. Pour définir le risque sismique, on doit tenir compte des caractéristiques géologiques de l'emplacement où sont construites les constructions humaines ainsi que de la résistance de ces constructions.

Aller plus loin

Découvrez de [l'intérieur de l'obélisque de Washington les secousses et dégâts associés à un séisme](#) sur la côte est des USA.

UN HABITAT QUI DOIT RÉSISTER AUX TREMBLEMENTS DE TERRE



La sismicité en France est relativement modérée, même si elle peut être plus importante dans les DOM-TOM. La carte ci-contre (provenant du Plan Séisme de novembre 2005), a été établie à partir de plus de 7500 enregistrements de séismes.

Cette carte décrit cinq zones, pour lesquelles les contraintes en termes de construction doivent être adaptées :

- zone 0 : sismicité négligeable, mais non nulle; pas de prescription parasismique particulière ;
- zone Ia : sismicité très faible, aucune secousse d'intensité supérieure à VIII n'a été observée historiquement, les déformations tectoniques récentes sont de faible ampleur ;
- zone Ib : sismicité faible, la période de retour d'une secousse d'une intensité VIII est supérieure à 250 ans et/ou bien la période de retour d'un séisme d'intensité VII dépasse 75 ans ;
- zone II : sismicité moyenne, soit une secousse supérieure à VIII a été observée historiquement, soit les périodes de retour d'une secousse d'intensité supérieure ou égale à VIII et d'une secousse d'intensité supérieure ou égale à VII sont respectivement inférieures à 250 ans et 75 ans ;
- zone III : sismicité forte, Guadeloupe et Martinique.

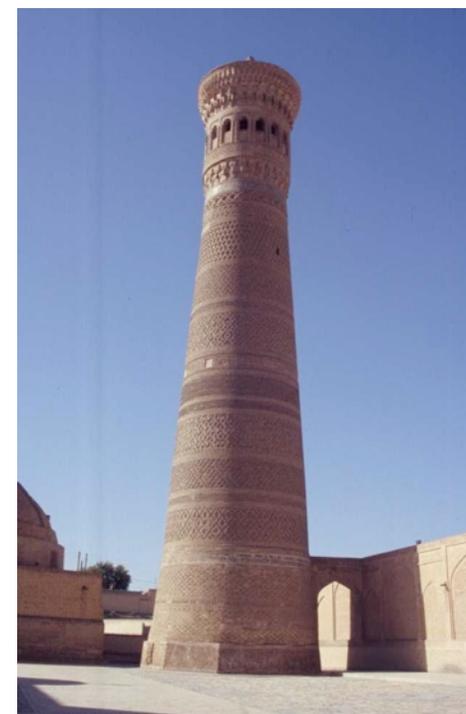
En métropole, trente-sept départements sont classés, en tout ou partie, en zones Ia, Ib ou II. Huit d'entre eux sont concernés dans leur intégralité: Alpes-de-Haute-Provence, Alpes-Maritimes, Pyrénées-Orientales, Haut-Rhin, Savoie, Haute-Savoie, Vaucluse et Territoire de Belfort.

Depuis le 1^{er} août 1993, des règles strictes sont applicables, et concernent aussi les maisons individuelles depuis le 1^{er} août 1994: la forme des bâtiments doit être aussi simple, symétrique et aussi régulière que possible pour éviter les contraintes dues à la torsion; les bâtiments de forme complexe étant séparés en plusieurs éléments par des joints parasismiques (plus de 4 cm) évitant des collisions entre éléments voisins.

Le bâtiment ne doit pas pouvoir vibrer comme le sol, donc on construira une structure souple sur un sol dur et une structure rigide sur un sol mou. Le système porteur du bâtiment peut être une structure métallique, une ossature en bois ou en béton armé. Les bâtiments détruits qui ont fait le plus de victimes possédaient une ossature de poteaux et de poutres en béton armé avec un remplissage en maçonnerie de briques ou de parpaings.



Ce temple de Petra (Jordanie), le Qasr el-Bint, date de la fin du 1^{er} siècle et a longtemps résisté, malgré sa taille imposante, aux séismes de la région. Sa construction en briques de terre incluait des lamines de bois, dont le rôle était d'absorber une partie des vibrations sismiques. Il n'a cependant pas résisté au grand séisme de l'an 363. Photo © Angus McIntyre



Le Minaret Kalian à Boukhara (Ouzbékistan) a été construit en 1127. D'une hauteur de 47 m sur 10 m de fondations, le minaret repose sur des roseaux qui agissent comme des coussins antisismiques. En 850 ans, il n'a eu besoin que d'infimes réparations. Gengis Khan, désireux d'utiliser comme tour de guet, donna l'ordre de l'épargner lors de la prise de la ville de Boukhara, qu'il fit entièrement raser.

Doc: avec l'aimable autorisation d'Olivier Morice.

Le marquis de Pombal et la naissance de la science sismique



Après le séisme de 1755, la ville de Lisbonne doit être reconstruite. Le roi du Portugal Joseph 1er et son premier ministre Sebastião José de Carvalho e Melo (connu plus tard sous son titre de Marquis de Pombal - portrait ci-contre) firent appel à des architectes et des ingénieurs dans le but de réhabiliter au plus vite la capitale. Moins d'une année plus tard, la ville était libérée des ruines. La reconstruction pouvait réellement débuter. Elle a permis de construire une ville nouvelle, parfaitement ordonnée : les grandes places et les avenues larges devaient caractériser la nouvelle Lisbonne. Le Marquis de Pombal dirigeait une grande partie des travaux. Les bâtiments construits sous son contrôle sont peut-être les premiers exemples de constructions antisismiques en Europe.

Pombal employa une démarche scientifique nouvelle. Il fit construire des modèles réduits des constructions (généralement en bois), puis simula des tremblements de Terre pour vérifier leur degré de résistance (l'histoire dit même qu'il fit pour cela défiler les troupes au pas cadencé pour faire vibrer le sol).

Le nouveau centre-ville de Lisbonne, connu désormais sous le nom de « centre pombalin » (Baixa Pombalina), est aujourd'hui l'une des attractions touristiques les plus prisées de la ville. Des quartiers d'autres villes portugaises furent aussi reconstruits selon les principes de Pombal, comme la Vila Real de Santo António dans l'Algarve.



La cage de Pombal, exemple de maquette en bois des constructions antisismiques testées puis utilisées par Pombal et ses architectes. Photo Galinhola/Wikimedia

Le Marquis de Pombal ne se limita pas à la reconstruction de Lisbonne et de ses environs. Il envoya également un questionnaire dans toutes les paroisses du pays, portant sur le séisme et ses effets. Voici quelques-unes des questions auxquelles les prêtres portugais durent répondre :

- Combien de temps a duré le tremblement de terre ?
- Combien de répliques ont été ressenties ?
- Quel type de dommage a été causé ?
- Les animaux ont-ils eu un comportement

étrange ?

- Qu'est-il arrivé aux puits et aux points d'eau ?

Ce questionnaire et l'étude des réponses collectées marquent le début de la sismologie moderne. Pombal a ainsi été un véritable artisan de l'avancée d'une science en plein siècle des Lumières.

Pendant le cours... Questions d'élève:

Si un tremblement de terre vient d'avoir lieu quelque part, on peut aller y habiter, car on serait à l'abri des séismes ?

Les séismes ne sont pas des phénomènes isolés. D'une part, des répliques (secousses secondaires) sont très fréquentes après un premier séisme, et d'autre part, des tremblements espacés de plusieurs années ou dizaines d'années se produisent souvent dans les mêmes régions. C'est l'oubli des séismes anciens qui a conduit les hommes à parfois négliger le risque et à subir les colères de la Terre.

Peut-on voir arriver un tremblement de terre ?

Les ondes sismiques voyagent à plusieurs centaines de km/h. Pour un observateur en haute altitude, il serait théoriquement possible de voir la progression des ondes qui détruisent la surface. Mais au sol, rien, sauf un système d'alerte, ne permet de savoir qu'un tremblement de terre arrive. Toutefois, de nombreux témoignages ont montré que certains animaux peuvent avoir un comportement très particulier avant la survenue d'un tremblement de terre.



Construction d'une maison homologuée en bambou (ossature et murs) à la Martinique. Cette maison est conçue pour résister à la fois aux cyclones et aux séismes. Photo Laurent Gilet/Bambou habitat/Wikipedia.

Peut-on se protéger des éruptions volcaniques ?

Le volcanisme est un risque majeur contre lequel l'homme ne peut, pour le moment, se protéger que de manière passive. On ne peut empêcher une éruption d'avoir lieu, mais on peut tenter de la prévenir et prendre des dispositions pour minimiser ses conséquences sur le plan humain.

Les moyens de protéger les constructions sont limités, et concernent surtout les éruptions effusives. Les efforts portent donc principalement sur les moyens de prévision des éruptions et les différentes façons de prévenir les dégâts possibles.

Prévention et prévision du risque volcanique: deux axes d'approche complémentaires.

La prévision nécessite l'étude et la surveillance du volcan; la prévention nécessite la formation des populations (qui commence par leur information) et des services de secours.

Surveiller un volcan

En étudiant les éruptions précédentes, on tente de prévoir les futures éruptions. On peut donc dire qu'en volcanologie, le passé est la clé du futur, même si le futur ne ressemble quasiment jamais au passé. Au travers de ces études, on cherche à déterminer le type d'éruption prévisible ainsi que la cartographie des zones atteintes. À partir de ces bases, on dessine des cartes des zones menacées, et on peut étudier l'évacuation de la population existante et interdire les constructions nouvelles.

Il faut donc surveiller l'activité actuelle d'un volcan. Sans une surveillance permanente, impossible de prévoir l'arrivée d'une éruption. Comment fait-on ?

Des [observatoires](#), parfois même directement situés sur le volcan, vont enregistrer l'activité (micro) sismique, les déformations du volcan, la composition des gaz émis... Ces observatoires cherchent à détecter la montée de magma qui précède une éruption. Pour cela, ils mettent en place un réseau de sismographes. En effet, lorsqu'un magma arrive sous un volcan, il doit trouver sa place et provoque des cassures dans la roche, produisant ainsi des ondes sismiques détectables. De plus, la présence de magma provoque une déformation de l'édifice volcanique, un gonflement le plus souvent, de l'ordre du centimètre (voir l'exemple du [Mont St Helens](#)). Cette déformation peut être mesurée par des appareils installés sur place, mais également à partir de photographies prises par les satellites d'observation de la Terre.

L'ascension du magma vers la surface peut aussi être détectée par des changements dans la température et la composition chimique des gaz libérés sur les flancs du volcan. Ce type d'observations et de mesures doit également être réalisé pendant une éruption afin d'en identifier les variations à court terme. En France, ce travail, parfois dangereux, est réalisé par les vulcanologues de l'Institut de Physique du Globe de Paris, qui surveille les trois volcans actifs de notre pays : montagne Pelée de Martinique (surveillé dès 1903), Soufrière de Guadeloupe (dès 1950) et Piton de la Fournaise à la Réunion (à partir de 1979).



Le volcan Mayon est le volcan le plus actif des Philippines. La ville la plus proche (moins de 10 km) est Legaspi, qui compte environ 100.000 habitants. À chaque éruption, les nuées ardentes menacent les populations environnantes, en dévalant les pentes du volcan à près de 500 km/h. La seule défense est l'évacuation *a priori*, sans attendre le paroxysme de l'éruption. Photo USGS



La ville d'Armero (Colombie) était construite dans une vallée, à près de 60 kilomètres d'un volcan qui entra en éruption en novembre 1985. Elle ne fut pas directement atteinte par les produits de l'éruption, mais noyée par de gigantesques coulées de boue créées par la fonte des glaciers recouvrant le volcan. La population se pensait à l'abri, mais les deux tiers de la population de la ville furent engloutis par les coulées de boue. Photo Wikimedia

Former et informer la population

En France, le plan de prévention des risques (PPR) est un document qui règlemente l'utilisation des terrains: ceux qui sont situés dans les zones les plus dangereuses ne sont pas constructibles. C'est une façon simple et efficace de protéger les populations, mais elle ne concerne pas les constructions déjà existantes.

Dans les régions voisines d'un volcan actif, des exercices sont réalisés régulièrement à la fois pour les services de secours et pour la population. Il peut s'agir d'exercices d'évacuation ou de test de comportement des services de secours dans une situation inhabituelle.

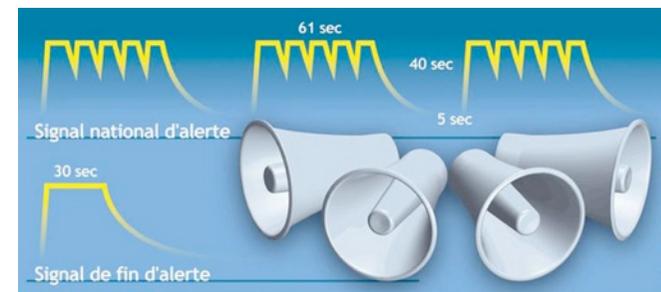
Un exemple réel de gestion des risques pour une éruption volcanique prévisible

La Guadeloupe, tout comme la Martinique, fait partie des Petites Antilles. Comme beaucoup de volcans dans cette région du monde, celui de la Guadeloupe porte le nom de Soufrière et ses éruptions sont de type explosif. En mars 1976, des séismes sont fortement ressentis dans la nuit. La presse locale précise qu'il s'agit «d'une activité à faible profondeur, susceptible de provoquer certaines manifestations de surface telles que fractures du sol, émission de cendres et de vapeurs» (*France-Antilles*, 26/03/1976). Dès le 29 mars, le plan ORSEC (Organisation des Secours) est déclaré. H. Tazieff, volcanologue réputé, se veut rassurant à son arrivée sur l'île: «*on ne doit pas s'alarmer [...] vous verrez peut-être des choses aussi effrayantes [...], peut-être pire [...] ne vous affolez pas*». Le volcanologue écrira au préfet «*en cas d'aggravation du phénomène, le délai minimum (...) entre les premiers phénomènes indubitablement magmatiques et une issue qui peut être cataclysmale est de 24 heures à quelques jours*».

Le volcan ne se calmant pas, le Préfet suit l'avis de deux autres géologues, les Pr. Brousse et C. Allègre: 72 000 habitants d'une zone considérée dangereuse sont évacués le 15 août 1976, vidant ainsi la région et la privant de toute activité. Fin août 1976, les spécialistes, divisés, se disputent ouvertement: Tazieff, scientifique de terrain rassurant, s'oppose à C. Allègre, scientifique de laboratoire, qui lui oppose des mesures et analyses effectuées depuis le début de la crise volcanique. Leur querelle, qui ira jusqu'à un débat télévisé, porte en fait sur la nécessité de l'évacuation des habitants.

De juillet 1976 à mars 1977, le volcan se calme, mais son activité constante, avec nuées de poussière grise, colonnes de vapeur, séismes et grondements terrorise la population. Les spécialistes s'affrontent encore alors que le Préfet autorise, fin octobre, le retour des habitants. H. Tazieff est renvoyé, alors qu'il avait correctement prévu ce qui allait arriver. Malgré deux explosions violentes en janvier et mars 1977, l'éruption se termine sans incident.

Finalement, l'éruption redoutée, l'explosion complète et dévastatrice du volcan, n'a pas eu lieu. On laissera le dernier mot à Haroun Tazieff : «*la volcanologie est une science comme la médecine : il faut du doigté, du sang froid, de l'énergie, de l'habitude et l'expérience du terrain. Les études de laboratoire ne suffisent pas. [...] Le phénomène est complexe, à travers de nombreux paramètres on se fait une idée, mais on se trompe très souvent.* »



Le **signal national d'alerte (SNA)** consiste en une variation du son d'une sirène sur trois cycles successifs d'une durée de 1 min 41 s. Ce signal sera diffusé et relayé par tous les systèmes disponibles, notamment dans les établissements scolaires. La fin du SNA est indiquée par un signal unique de 30 s. Dès que l'on entend ce signal, il faut rentrer chez soi et écouter la radio, car les informations précises sur les conduites à tenir seront relayées par les médias nationaux et locaux. En aucun cas il ne faut fuir avant d'avoir été informé sur le danger couru. Doc. Ministère de l'Intérieur



Cette **vue aérienne du volcan la Soufrière**, prise en août 1976, montre un panache de vapeurs et de cendres qui émane du sommet.

Les villes de Basse-Terre et Saint-Claude, que l'on aperçoit à l'arrière-plan, avaient été entièrement évacuées pendant 2 mois, durée de la crise éruptive. Photo USGS

Aller plus loin

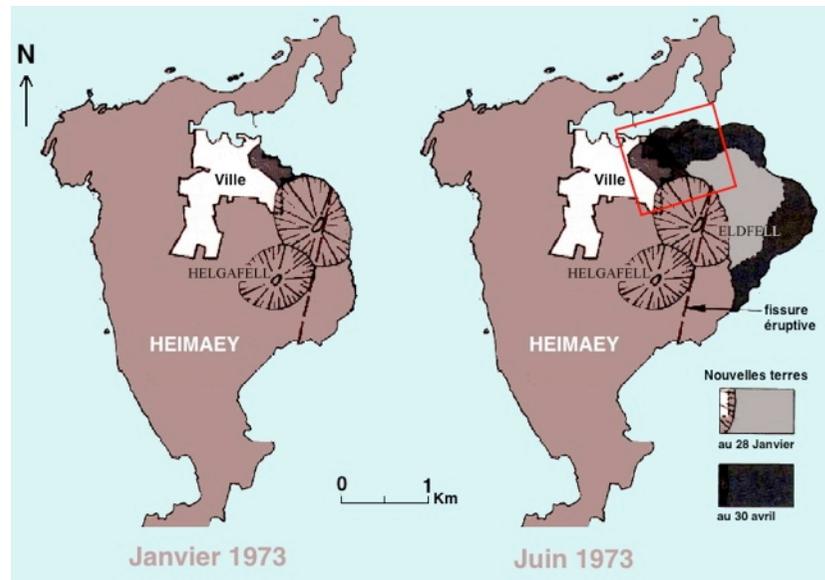
Découvrez le [film/documentaire "LA SOUFRIERE"](#) de Werner Herzog, réalisé fin août 1976.

Lutter contre une éruption

Une fois qu'une éruption est déclenchée, les moyens d'intervention humains sont très limités. Les seuls cas de lutte réussis contre une éruption de type effusif sont liés aux coulées de lave qui ont pu être détournées ou contenues.

Il est en effet possible de détourner une coulée de lave, car celle-ci suit la pente du terrain. Ainsi, en juillet 2001, l'armée italienne a creusé des tranchées qui ont détourné une coulée de lave de l'Etna, qui menaçait la petite ville de Sapienza, vers une zone inhabitée. Ce genre d'intervention n'est possible que si les coulées de lave progressent lentement.

Le seul cas où des coulées ont pu être stoppées est lié à une éruption du volcan Edfell sur l'île de Heimaey, sur la côte sud de l'Islande, en 1973. Au cours de cette éruption, des coulées de lave menacent de fermer l'accès à la mer du port de Heimaey, ce qui risque de condamner les 5000 habitants de cette île qui vivent presque tous de la pêche. Plusieurs actions sont envisagées: la construction de digues qui dévieraient la lave n'est pas possible, car les coulées sont trop massives. Certains proposent de faire exploser une partie du cratère, afin d'ouvrir à la lave un nouveau chemin, mais il y a alors un risque de voir les coulées arriver directement sur la ville et l'anéantir. Les Islandais décident donc d'essayer de «figer» les coulées en arrosant ces dernières pour les refroidir et les solidifier: la lave solide doit former un barrage naturel contre le reste de la coulée, dont on espère qu'elle va buter dessus et prendre une autre direction.



Dans l'urgence, 47 pompes reliées par 30 km de tuyaux sont installées, chacune débitant 1 m³ d'eau de mer glacée par seconde (de quoi remplir une piscine olympique en 40 min). Plusieurs spécialistes des volcans se moquent des efforts des Islandais, mais au bout de 3 semaines d'arrosage, la coulée est stoppée avant d'avoir pu boucher le port, ce dernier étant même mieux protégé qu'auparavant!

Carte ci-contre : L'île avant et après l'éruption. Le rectangle rouge correspond à la photo de droite. Doc RR d'après Wikimedia/Worldtraveller.

Même si les dégâts matériels ont été très importants (une construction sur

trois a été détruite), l'évacuation rapide des 5000 habitants a permis d'éviter des victimes humaines (un seul habitant ayant été tué par des gaz toxiques qui ont envahi sa cave). Après l'éruption, les habitants sont revenus sur l'île, rebâtissant et utilisant la chaleur du volcan comme source d'énergie pour leur chauffage.

Question d'élève

À quelle vitesse s'écoule un fleuve de lave ?

Les volcans qui émettent une lave liquide sont appelés volcans effusifs. La lave émise, souvent au niveau du cratère principal, est très fluide et s'écoule littéralement comme un liquide. Des vitesses de plus de 80 km/h ont été enregistrées à Hawaï. Dès que la lave se refroidit, elle devient de moins en moins fluide, et à la fin sa vitesse ne sera plus que de quelques centimètres à la minute. Mais, même à cette vitesse rien, ou presque, ne peut l'arrêter. La lave est encore à plus de 800 ou 1000 °C et possède une force destructrice extraordinaire.

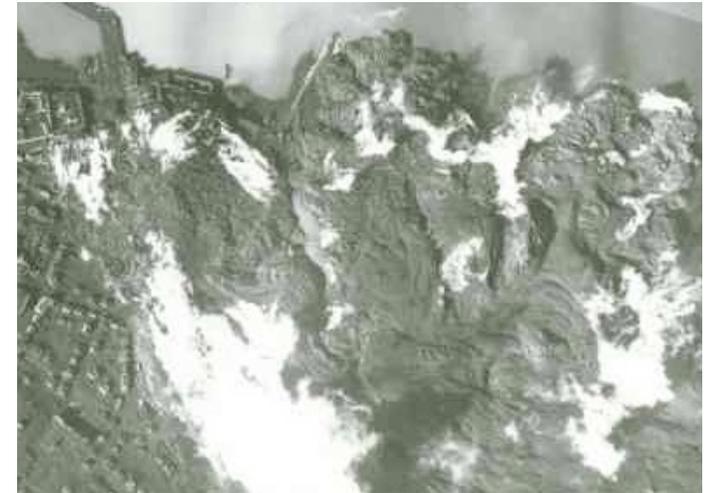


Photo prise d'un avion le 6 avril 1973, les coulées viennent du bas, le port étant à gauche (on en distingue les rues). Les nuages blancs sont formés par l'eau projetée par les pompes qui forme, au contact de la lave brûlante, d'immenses nuages de vapeur. La base de chaque nuage correspond à un point d'arrosage de la coulée. Image USGS

À RETENIR

Les éruptions volcaniques ne peuvent être évitées. Aucune construction humaine ne peut y résister. Des moyens de surveillance des volcans (activité sismique, déformation, température et composition des gaz) sont mis en place pour aider à prévoir une nouvelle éruption. Trois volcans français sont concernés par ce réseau de surveillance.

En cas d'éruption, l'évacuation des populations est la mesure la plus efficace. Il est exceptionnel de pouvoir sauvegarder les constructions. En France, le Signal National d'Alerte informe la population. La conduite à tenir face au risque est adaptée par les autorités à chaque type d'éruption. Plus en amont, le plan de prévention des risques (PR) rend inconstructibles les zones dangereuses.

QUESTIONS DE COURS

- 1/ Qu'est-ce qu'un aléa sismique ?
- 2/ Comment est établie la carte des aléas sismiques en France ?
- 3/ Combien y a-t-il de zones dans la carte des aléas sismiques en France ?
- 4/ Qui est considéré comme le fondateur de la sismologie ?
- 5/ Quels sont les signes avant-coureurs d'une éruption volcanique ?
- 6/ De quelle façon surveille-t-on un volcan ?

COLLES

- 1/ John Milne, en 1886, a emprunté au grec ancien le mot *σεισμός*, seismos («ébranlement»). En quoi cette notion est-elle actuellement liée aux risques et dégâts subis lors d'un tremblement de terre ?
- 2/ Nous avons vu dans le chapitre 1 (les séismes) qu'un savant chinois avait inventé le premier appareil détectant un séisme. Pourquoi ce type d'appareil ne pouvait-il pas réellement servir à prévenir les séismes ?
- 3/ Établissez une comparaison des risques encourus face à une éruption explosive ou à une éruption effusive.
- 4/ Quels sont les principes de construction qui permettent de rendre une habitation «résistante» aux séismes ?
- 5/ Entre l'an 1600 et l'an 2000, seul 0,4% (soit 1300 personnes environ) des décès causés par les éruptions volcaniques ont été provoqués par des coulées de lave. Expliquez pourquoi.

EXERCICES

1 - Une succession de catastrophes

28 août 1883: «À Anjer, 27 août, six heures du matin, la plupart des habitants étant encore au lit, une masse d'eau toute noire, énorme, arrive avec fracas, monte et inonde la ville. Puis elle se retire, entraînant dans la mer, hommes, femmes et enfants. Tout est de nouveau calme et silencieux, on ne voit plus que des débris de cadavres, de vaisseaux, de ponts et de branches. Ce n'est que le commencement. Une épaisse pluie de cendres envahit l'atmosphère. Les personnes qui sont sauvées et qui sont presque toutes blessées reprennent haleine. Une deuxième onde arrive, à son tour monte à 35 mètres de hauteur, et, en rentrant, elle entraîne tout ce qui avait survécu au premier choc. Il n'y a plus d'Anjer au monde ! Seul le soubassement du phare du quatrième point de Java reste debout. Voilà Anjer comme nous l'avons vu du pont du Loudon le 28 août.»

(Texte rédigé par VAN SANDICK, un ingénieur des Ponts et chaussées embarqué à bord du navire *Gouverneur General Loudon* lors de l'éruption du volcan Krakatoa).

- 11- Les événements décrits dans ce texte étaient-ils prévisibles à l'époque ? Pourraient-ils l'être maintenant ? (2 pts)
- 12 - Quel phénomène a détruit la ville d'Anjer ? Quel est le seul bâtiment à avoir résisté ? (2 pts)
- 13 - Si les habitants avaient pu être prévenus, de quelle façon auraient-ils pu sauver leurs vies ? (2 pts)

2 - «Tout est pour le mieux...» (14 pts)

En 1759, dans son ouvrage «Candide», Voltaire se moque de ses contemporains et développe ses idées au travers des aventures de son héros, Candide, et de son «professeur» Pangloss. Les voici à Lisbonne:

«Ils [Candide et Pangloss] marchèrent vers Lisbonne; il leur restait quelque argent, avec lequel ils espéraient se sauver de la faim après avoir échappé à la tempête.

À peine ont-ils mis le pied dans la ville, en pleurant la mort de leur bienfaiteur, qu'ils sentent la terre trembler sous leurs pas, la mer s'élève en bouillonnant dans le port, et brise les vaisseaux qui sont à l'ancre. Des tourbillons de flammes et de cendres couvrent les rues et les places publiques ; les maisons s'écroulent, les toits sont renversés sur les fondements, et les fondements se dispersent ; trente mille habitants de tout âge et de tout sexe sont écrasés sous des ruines.

Le matelot disait en sifflant et en jurant : « Il y aura quelque chose à gagner ici. - Quelle peut être la raison suffisante de ce phénomène ? disait Pangloss. - Voici le dernier jour du monde ! » s'écriait Candide. Le matelot court incontinent au milieu des débris, affronte la mort pour trouver de l'argent, en trouve, s'en empare, s'enivre, et, ayant cuvé son vin, achète les faveurs de la première fille de bonne volonté qu'il rencontre sur les ruines des maisons détruites, et au milieu des mourants et des morts. Pangloss le tirait cependant par la manche : «Mon ami, lui disait-il, cela n'est pas bien, vous manquez à la raison universelle, vous prenez mal votre temps. - Tête et sang, répondit l'autre, je suis matelot et né à Batavia ; j'ai marché quatre fois sur le crucifix dans quatre voyages au Japon ; tu as bien trouvé ton homme avec ta raison universelle ! »

Quelques éclats de pierre avaient blessé Candide ; il était étendu dans la rue et couvert de débris. Il disait à Pangloss : « Hélas ! procure-moi un peu de vin et d'huile ; je me meurs. - Ce tremblement de terre n'est pas une chose nouvelle, répondit Pangloss ; la ville de Lima éprouva les mêmes secousses en Amérique l'année passée ; mêmes causes, mêmes effets : il y a certainement une traînée de soufre sous terre depuis Lima jusqu'à Lisbonne. - Rien n'est plus probable, dit Candide ; mais, pour Dieu, un peu d'huile et de vin. - Comment, probable ? Répliqua le philosophe, je soutiens que la chose est démontrée.» Candide perdit connaissance, et Pangloss lui apporta un peu d'eau d'une fontaine voisine.

21 - Relever dans le texte de Voltaire les éléments descriptifs du déroulement du tremblement de terre. Ont-ils été aussi simultanés que l'écrivain le laisse entendre ? (4 pts)

22 - Quelle comparaison Candide fait-il pour décrire cet événement ? (1 pt)

23 - Comment Pangloss explique-t'il l'origine du séisme ? (1 pt)

Pour la suite de l'exercice, vous devrez relire la p. 3 consacrée au séisme qui inspire Voltaire.

24 - Quels ont été les premiers effets ressentis du séisme ? Quelles furent leurs conséquences ? (2 pts)

25 - Comment peut-on expliquer la survenue d'un tsunami après le tremblement de terre ? (2 pts)

26 - Quel peut être l'intérêt de reconstruire la ville de Lisbonne avec des rues très larges ? (2 pts)

27 - Comment les troupes royales ont-elles été utilisées par Pombal pour tester les nouvelles constructions ? (2 pts)

3 - Should I stay or should I go ? (9 pts)

Voici quelques «unes» (titres de première page) du journal «FRANCE-ANTILLES» concernant l'éruption du volcan la Soufrière sur l'île de Guadeloupe, en 1976:

Date	«Une»
9/07/1976	LA SOUFRIÈRE S'EST OUVERTE HIER MATIN Pluie de cendres sur St Claude-Matouba, 70 % de la population a déjà quitté les lieux. Toutefois l'alerte N°1 n'était pas encore déclenchée.
15/07/1976	SOUFRIERE Les secousses telluriques et les émanations de gaz deviennent préoccupantes. On attend avec impatience le diagnostic des équipes Tazieff-Brousse qui sont maintenant sur place.
16/08/1976	«Le processus est irréversible, nous courrons à la catastrophe» déclare le professeur Brousse
24/08/1976	LA SOUFRIÈRE S'EST APAISÉE... PROVISOIREMENT Les conséquences économiques, sociales, humaines du gigantesque exode sont encore incalculables.

31 - Pourquoi ce journal a-t-il toujours placé l'éruption «prévue» au premier plan des actualités ? (2 pts)

32 - Construisez un tableau mettant en évidence les phénomènes éruptifs et les mesures de sécurité associées. (4 pts)

33 - La prévision des éruptions volcaniques est-elle d'une grande exactitude? (1 pt)

34 - Que signifie le titre de l'exercice ? Pourquoi l'avoir choisi ? (2 pts)

4 - Architecture



À San Francisco, l'immeuble Transamerica pyramid, construit en 1972 et célèbre par sa forme, possède des fondations et une construction particulières: il est ancré à 15 m dans le sol, avec une structure capable de bouger. La base de l'immeuble est constituée d'un ensemble de poutres de béton en forme de pyramide soutenant l'ensemble (voir photos).

41 - Pourquoi cet immeuble a-t'il été construit de cette façon à San Francisco ? (2 pts)

42 - Quel est l'intérêt d'avoir des fondations aussi profondes et aussi massives, et un mode de soutien de l'immeuble aussi particulier ? (2 pts)

Photos Wikimedia/Daniel Schwen.



5 - Détournements (15 pts)

En 1669, une coulée de lave provenant du volcan Etna atteignit les remparts de la ville de Catane, menaçant de renverser les murs et d'envahir la ville. un dénommé Diego Pappalardo réussit à entrainer quelques courageux volontaires qui, protégés par des peaux mouillées, essayèrent de pratiquer une ouverture sur le bord de la coulée, bien avant Catane, pour détourner la lave vers les champs et le village de Paterno. Les habitants de ce village, appréciant moyennement cette initiative, vinrent armés à la rencontre de l'équipe de Pappalardo, et la mirent en fuite. Le centre de Catane fut recouvert par la coulée.

51 - Pourquoi les compagnons de Pappalardo devaient-ils se protéger avec des peaux mouillées ? (1 pt)

52 - Cette première tentative historique fait apparaître une des principales difficultés du détournement des coulées, qui explique d'ailleurs pourquoi elles ne sont pratiquées que de façon exceptionnelle de nos jours. Quelle est cette difficulté ? (3 pts)

En 1983, la même technique que Pappalardo, avec 400 Kg d'explosif, a permis de détourner 20% d'une coulée de l'Etna. En même temps, l'armée construisit rapidement de grands barrages, en amoncelant des roches volcaniques, qui empêchèrent la lave d'envahir une zone habitée.

53 - Contre les effets de quel type de volcanisme a t'on ainsi pu agir ? (1 pt)

54 - Laquelle des deux techniques utilisées semble être la plus efficace (expliquer votre réponse)? (2 pts)

Le 14 décembre 1991, 30 m³ de lave s'écoulaient chaque seconde d'une fissure ouverte sur les flancs de l'Etna. La coulée se rapproche rapidement de la ville de Zafferana Etnea. En janvier, la sécurité civile construit une énorme barrière de roche volcanique qui retient la lave 4 mois. La lave circule depuis le volcan dans des «tunnels», solidifiés en surface, qui l'empêchent de refroidir. Les autorités décident alors de détourner la lave en agissant de deux façons au niveau de la fissure originelle:

- la paroi du tunnel est éventrée à la dynamite, afin de détourner la coulée.
- Le tunnel est obstrué par des blocs de béton largués par hélicoptère.

Du 27 au 29 mai, l'opération est réalisée et la coulée stoppée à 850 m de la ville.

55 - Décrivez par un schéma titré et légendé le principe de cette intervention (4 pts)

56 - Pourquoi de telles actions ne peuvent-elles pas être généralisées pour protéger les populations des éruptions volcaniques ? (4 pts)

6 - Dans un violon (3 pts)

En 1960, lors d'une éruption du volcan Kilauea, à Hawaii, le chef d'une garnison de pompier eut l'idée de faire arroser une coulée de lave menaçant une maison contenant des biens de valeur. La coulée ne fut pas stoppée, mais retardée le temps de mettre à l'abri les objets précieux.

61 - Pourquoi la coulée a t'elle été retardée par l'arrosage ? (2 pts)

62 - A quelle autre occasion cette technique de protection a t'elle été utilisée ? (1 pt)

7 - Vedi Napoli e poi muori !

l'Italie est le pays d'Europe le plus exposé aux risques volcaniques. La ville et la région de Naples concentrent tous les dangers: 600 000 personnes devraient être évacuées si le Vésuve entrait en éruption. À quelques km à l'ouest de la ville, la zone volcanique des champs phlégréens est habitée par un demi-million de personnes directement menacées en cas d'activité éruptive. La photo ci-dessous a été prise depuis l'intérieur du cratère du volcan actif la Solfatare (sa dernière éruption date de 1198).



71 - Que penser des constructions présentes sur le bord du cratère ? (2 pts)

72 - Ce type de construction serait-il possible en France (argumenter votre réponse) ? (2 pts)

8 - L'entrée des enfers (13 pts)

Les Champs Phlégréens sont une région d'Italie à l'activité volcanique permanente. Le 29 septembre 1538, une éruption y construisit en une semaine le cône du monte Nuovo («montagne nouvelle»), haut de 123 m. Cette éruption a été précédée d'une longue période d'augmentation de l'altitude de la région: en 1502, les habitants notèrent que des régions occupées auparavant par la mer se retrouvaient «à sec». Un nombre anormal de séismes a aussi été signalé, avec un maximum au printemps 1534. Les 4 années suivantes, non seulement les séismes furent encore plus nombreux, mais aussi plus violents. Le maximum fut atteint le 28 septembre: une vingtaine de séismes se produisirent en 10 heures. Ce même jour, la région du futur volcan se souleva de près de 7 m, ce qui fit reculer la mer de plusieurs centaines de m, modifiant l'emplacement de la côte.

Le 29 septembre, une fissure s'ouvrit dans le sol, projetant des ponces, des gaz, des cendres. En un jour, l'essentiel du cône volcanique se forma, l'activité diminuant les deux jours suivants. Les cendres retombèrent sur une vaste surface, des fragments étant même propulsés jusqu'au Vésuve, distant de 20 Km. L'activité diminua ensuite, jusqu'à une explosion le 6 octobre, qui tua 24 personnes. Après ce sursaut, le volcan se limita à émettre quelques gaz. La photographie suivante (*image google Earth*) vous montre l'emplacement actuel de ce volcan.



Cette région est toujours extrêmement active: le volcan de la Solfatare, dont le cratère se visite, émet des fumerolles. La région du monte Nuovo «bouge» toujours: entre 1969 et 1974, de nombreux séismes s'y sont produits. Le sol de la région s'est élevé de 1,70 mètre entre 1969 et 1972, puis abaissé de 30 cm en 1974. Fin 1980, après un séisme de magnitude 6,9, le sol se remet à s'élever: entre 1982 et 1984, le port de Pouzzole se soulève de 1,4 m (toute une zone à peu près circulaire de 14 km de diamètre se soulève de 1,8 m!). On redoute alors une éruption, d'autant que la température des gaz de la solfatare augmente et qu'une nouvelle sortie de gaz apparaît en novembre 1984. Par la suite, le sol s'est lentement affaissé, mais depuis janvier 1989 une nouvelle phase de gonflement a commencé. Les Champs Phlégréens sont toujours actuellement extrêmement surveillés et constituent une menace.

81 - Représenter sur une frise chronologique l'histoire géologique de cette région depuis l'an 1500. (4 pts)

82 - Quels sont les signes qui ont précédé l'éruption volcanique ? Peut-on les utiliser pour prévoir les éruptions ? (4 pts)

83 - Décrivez l'origine des différents phénomènes constatés (3 pts)

84 - Que penser de la présence humaine et des constructions visibles dans cette région ? (2 pts)

CORRECTIONS

QUESTIONS DE COURS

1/ Un aléa sismique est un risque de séisme dans une région donnée. Cet aléa est lié à la fréquence des séismes, qui peuvent être, par exemple, rares ou fréquents.

2/ La carte des aléas sismique en France est établie en comparant la répartition géographique des séismes, avec leur fréquence et leur intensité; à la répartition de la population et des bâtiments les plus importants. Les régions où coïncident une forte sismicité (c'est à dire des séismes fréquents et forts) et une forte implantation humaine sont celles où l'aléa sismique est le plus élevé.

3/ Il y a 5 zones dans la carte des aléas sismiques en France, allant d'une sismicité négligeable à une sismicité forte.

4/ Le fondateur de la sismologie est le marquis de Pombal

5/ Les signes avant-coureurs d'une éruption volcanique sont des séismes plus nombreux, un changement de composition et de température des gaz produits par le volcan et un gonflement du sol provoquant une augmentation de l'altitude du volcan, d'une partie de celui-ci ou de la région volcanique dans son ensemble.

6/ On surveille un volcan en détectant et en analysant les séismes qui s'y produisent, en surveillant les variations de l'altitude des différents terrains et en analysant les gaz produits par le volcan.

COLLES

1/ Si vous avez regardé la définition d'«ébranlement», vous avez dû trouver quelque chose comme «*mouvement, vibration causée par un choc ou une secousse*». Cette notion est bien liée aux risques et dégâts subis lors d'un tremblement de terre car ces destructions sont bien causées par les mouvements du sol, mouvements qui sont bien liés à des «vibrations» (les ondes sismiques). Ce sont ces vibrations qui secouent les constructions, risquant de déclencher leur effondrement.

2/ Ce type d'appareil ne pouvait pas réellement servir à prévenir les séismes, car lorsqu'il donnait un signal (dans ce cas, voir chapitre 1, la chute d'une boule de métal), c'était soit que les ondes sismiques étaient déjà là (et donc il était trop tard pour se protéger), soit que ces ondes étaient de très faible intensité, signe d'un séisme lointain, et ,e présentaient donc pas de danger.

3/ La forme la plus pratique, pour établir une comparaison, est le tableau.

Éruption	explosive	effusive
Risques	La nuée ardente est le phénomène le plus destructeur. Destruction très rapide des personnes et des biens, possible à grande distance de l'éruption, aucun moyen de protection sauf la fuite. L'accumulation de cendres peut déclencher l'effondrement des bâtiments sous leur poids et empêcher l'agriculture sur de vastes surfaces. Les matériaux déposés par la nuée ardente, en cas de pluie, peuvent se solidifier, stérilisant temporairement de vastes surfaces.	Les coulées de lave détruisent les biens, mais progressent assez lentement pour que les personnes puissent se mettre à l'abri. Elles peuvent provoquer des incendies. L'accumulation de cendres peut déclencher l'effondrement des bâtiments sous leur poids et empêcher l'agriculture sur de vastes surfaces.

4/ Les principes de construction qui permettent de rendre une habitation «résistante» aux séismes sont de la rendre la plus rigide possible, pour éviter son effondrement, et de l'isoler le plus possible des mouvements du sol. Lorsqu'il s'agit d'immeubles de grande hauteur, il s'agit surtout, par des techniques variées, d'empêcher l'effondrement en réduisant les secousses et en minimisant leurs effets (par des systèmes de contrepoids, des fondations sur amortisseur...)

5/ 0,4% seulement des décès causés par les éruptions volcaniques ont été provoqués par des coulées de lave, car ces dernièrement sont plus spectaculaires que dangereuses pour les animaux (y compris les humains). En effet, une coulée progresse le plus souvent assez lentement. De plus, elle suit les irrégularités du terrain, comme de l'eau, et on peut donc prévoir le chemin qu'elle va emprunter (on peut même essayer de la dévier, la contenir ou la stopper). Par contre, les coulées sont dévastatrices pour les constructions, qui sont brûlées et englouties, ainsi que pour les végétaux.

EXERCICES

1 - Une succession de catastrophes

11- En 1883, les événements décrits dans le texte n'étaient pas prévisibles. Actuellement, ils pourraient l'être, car il existe un système de surveillance des volcans actifs permettant, dans une certaine mesure, de prévoir leurs éruptions et l'évolution de ces dernières. Toutefois, ces prévisions ne sont pas certaines, car la surveillance ne couvre pas tous les océans, par exemple.

12 - Le phénomène a détruit la ville d'Anjer est un raz de marée, encore appelé tsunami. Le seul bâtiment à avoir résisté (en partie) est le phare de la ville, dont il ne reste plus que le soubassement (c'est à dire le socle, la base sur laquelle la tour avait été construite).

13 - Si les habitants avaient pu être prévenus, La seule façon de se sauver aurait été de se mettre hors de portée de la vague en se réfugiant sur le point géographiquement le plus élevé possible: collines, montagnes, talus les plus éloignés possible de la côte.

2 - «Tout est pour le mieux...» (14 pts)

21 - Les éléments descriptifs du déroulement du tremblement de Terre sont:

- *la mer s'élève en bouillonnant dans le port, et brise les vaisseaux*
- *des tourbillons de flammes et de cendres couvrent les rues et les places publiques*
- *les maisons s'écroulent,*
- *les toits sont renversés sur les fondements, et les fondements se dispersent*

Contrairement à ce que Voltaire laisse entendre, ces événements n'ont pas été simultanés: les secousses sont arrivées en premier, suivies par le tsunami, puis par l'incendie de ce qui restait de la ville.

22 - Candide compare cet événement au «*dernier jour du monde* » à cause de la soudaineté et de l'ampleur des destructions.

23 - Pangloss explique l'origine du séisme en l'identifiant à un autre survenu à Lima, au Pérou, un an auparavant. Pangloss suppose qu'il existe «*une traînée de soufre sous terre depuis Lima jusqu'à Lisbonne*», poudre qui, allumée à Lima, s'est consumée lentement jusqu'à Lisbonne où elle a provoqué la destruction de la ville. Il s'agit là d'une explication fantaisiste, et Voltaire se moque d'ailleurs de la facilité et de l'assurance avec laquelle Pangloss considère que son hypothèse est démontrée ...

24 - Les premiers effets ressentis du séisme ont été les secousses qui ont affecté les constructions les plus hautes, dont le sommet s'est mis à se balancer (flèches des églises par exemple). Ces secousses ont fragilisé les bâtiments. Ces secousses ont eu pour conséquence que les habitants ont été piégés dans les rues étroites et les édifices lorsque le second ensemble de secousses a déclenché l'effondrement des bâtiments, ce qui a augmenté le nombre des victimes.

25 - On explique la survenue d'un tsunami après le tremblement de Terre par la situation de son épipcentre, au large. Le mouvement de la faille a déclenché le

mouvement de l'océan, mais comme la vague voyage bien moins vite que les ondes sismiques, elle est arrivée sur la ville bien après ces dernières.

26 - En reconstruisant la ville de Lisbonne avec des rues très larges, Pombal permet de créer un obstacle à la propagation des futurs incendies. De plus, des rues larges permettent à la population de s'éloigner facilement des habitations susceptibles de s'écrouler en cas de nouveau séisme.

27 - Pombal a utilisé les troupes royales pour créer des vibrations du sol, en faisant défiler au pas les soldats. Ces vibrations lui ont permis de tester des maquettes des futures constructions, afin de voir comment elles résisteraient à un futur séisme éventuel.

3 - Should i stay or should i go ? (9 pts)

31 - Le journal a toujours placé l'éruption «prévue» au premier plan des actualités, car le risque était extrêmement important: une bonne partie de l'île, et des villes importantes, auraient pu être détruites. De plus, la mesure de protection principale est l'évacuation de l'île, ce qui concerne forcément tous ses habitants et est d'une grande importance.

32 - Tableau mettant en évidence les phénomènes éruptifs et les mesures de sécurité associées.

phénomènes éruptifs	Mesures de sécurité associées.
Gaz toxiques	Surveillance du volcan et analyse des gaz émis
Coulées de lave	Surveillance du volcan. Interdiction de construire dans les zones dangereuses. Évacuation des zones menacées, éventuellement tentatives de détournement ou de ralentissement de la coulée.
Nuée ardente	Interdiction de construire à proximité immédiate du volcan. Évacuation préventive de toute la population, mise en place d'un périmètre de sécurité autour du volcan ou toute présence humaine est réglementée.
séismes	Constructions parasismiques

33 - La prévision des éruptions volcaniques n'est pas (encore) d'une grande exactitude, car si on peut prévoir le déclenchement d'une éruption, il est difficile de savoir quelle sera son importance et plus encore son évolution, et donc si elle sera assez dangereuse pour justifier des mesures coûteuses, comme l'évacuation de toute la population dans l'exemple cité.

34 - Le titre de l'exercice signifie «dois-je partir ou dois-je rester ?» Il a été choisi car il correspond à la question qui se pose à toute personne (ou à toute population) confrontée à un risque d'éruption volcanique.

4 - Architecture

41 - L'immeuble a été construit de façon à résister aux mouvements du sol parce que San Francisco est située en Californie, une zone de forte activité sismique, où les séismes sont fréquents et peuvent atteindre une forte intensité (l'aléa sismique est très élevé).

42 - Les fondations profondes et massives permettent à l'immeuble de suivre les mouvements du sol, ce qui minimise les risques d'effondrement. Le soutien de l'immeuble assuré par le treillis en pyramide permet de répartir le poids du bâtiment sur ses fondations même lorsque l'immeuble est agité par les secousses sismiques.

5 - Détournements (15 pts)

51 - Les compagnons de Pappalardo devaient se protéger avec des peaux mouillées, car ils devaient approcher à faible distance de la coulée pour pouvoir la dévier. Comme une coulée de lave a une température voisine de 1000 °C, ils risquaient, même à distance; d'être fortement brûlés par la chaleur dégagée.

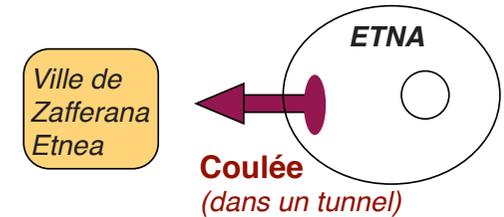
52 - La difficulté du détournement des coulées consiste à choisir l'endroit où l'on va diriger cette dernière: on ne dispose que rarement d'un terrain désert où diriger la lave, son propriétaire n'est pas forcément enchanté à l'idée de voir ses terres recouvertes d'une couche de plusieurs mètres de lave stérile, quant aux habitants des villages de la région, ce qui était difficilement possible en 1663 ne l'est plus du tout aujourd'hui: on ne peut choisir de détruire une agglomération pour en protéger une autre. C'est pour cela que le détournement d'une coulée reste exceptionnel (le cas le plus favorable étant celui où l'on peut diriger la coulée vers l'océan).

53 - On ne peut détourner des coulées de lave que lorsque le volcan en produit (évidemment!), ce qui indique que l'on ne peut lutter ainsi que contre le volcanisme effusif (et encore, à condition que les coulées ne soient pas trop importantes).

54 - Si on compare le détournement de la coulée et le barrage, on doit constater que c'est cette dernière technique qui est, et de loin, la plus efficace: malgré le détournement, 80 % de la coulée continue son chemin, alors que le barrage a été plus efficace en empêchant la lave de recouvrir une zone habitée.

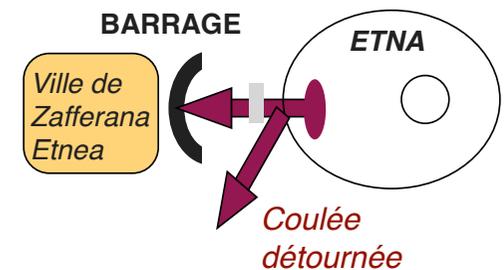
55 -Votre schéma devrait ressembler à celui-ci :

Déviation d'une coulée de l'Etna



56 - De telles actions ne peuvent pas être généralisées pour protéger les populations, car il faut à la fois être en présence:

- d'une ou de plusieurs coulées qui ne soient pas ni trop rapides, ni trop imposantes par leur volume
- de moyens techniques disponibles, faciles à transporter et à acheminer sur place
- d'un accès relativement sécurisé au voisinage de la coulée
- de terrains où l'on puisse diriger la coulée sans risque d'endommager d'autres constructions ou de léser un ou plusieurs propriétaires.



Blocs de béton

Comme il est rare de disposer de tous ces éléments, le détournement des coulées reste exceptionnel.

6 - Dans un violon (3 pts)

61 - La coulée a été retardée par l'arrosage, car l'eau diminue la température de la lave, ce qui déclenche sa solidification. La coulée, dont l'avant est solidifié, ne peut donc plus progresser aussi vite, car la partie solide joue le rôle d'un barrage qui doit être surmonté par la lave qui arrive en arrière des points arrosés.

62 - Cette technique de protection par arrosage de la coulée a été utilisée pour protéger le port d' Heimaey, en Islande, en 1973.

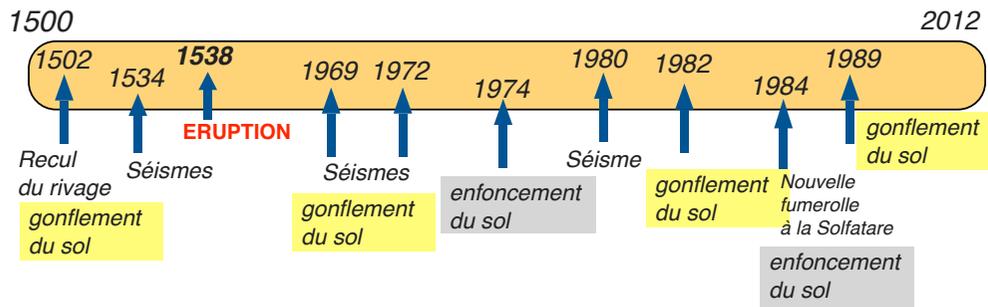
7 - Vedi Napoli e poi muori !

71 - Un examen attentif montre que les constructions présentes sur le bord du cratère sont des immeubles d'habitation. On peut penser que leurs habitants seront aux premières loges en cas de développement de l'activité volcanique. Le volcan étant entré en éruption il y a moins de 1000 ans et étant toujours actif, une éruption est probable. La situation des immeubles est donc réellement dangereuse.

72 - A priori, ce type de construction ne serait pas possible en France, car le plan d'exposition aux risques (PER) devrait amener à déclarer ces terrains inconstructibles (toutefois, si des habitations anciennes étaient déjà présentes, elles pourraient demeurer en place).

8 - L'entrée des enfers (13 pts)

81 - Frise chronologique représentant l'histoire géologique de la région du monte nuovo depuis l'an 1500.



82 - Les signes qui ont précédé l'éruption volcanique sont:

- une augmentation de l'altitude de la région
- une augmentation de la fréquence et de l'intensité des séismes

Il est possible de les utiliser pour prévoir les éruptions, mais on n'est jamais certain du déclenchement de celle-ci (comme en 1984, où finalement il n'y a pas eu d'éruption) et on ignore si elle sera importante ou non.

83 - Les différents phénomènes constatés partagent la même origine: la remontée du magma depuis la chambre magmatique vers la surface.

En effet, l'augmentation de la pression dans la chambre magmatique et surtout dans la cheminée provoque une surélévation de la région, qui est littéralement poussée vers le haut par le magma. Par la suite, au cours de son ascension:

- le magma brise des roches, ce qui déclenche des séismes (dont le foyer se rapproche de plus en plus de la surface)

- les gaz du magma s'infiltrèrent jusqu'à l'extérieur, et modifient donc la température et la composition des émissions de gaz préexistantes (si elles existent)

84 - La photographie montre que toute la région est fortement urbanisée: habitations, autoroutes et routes encerclent presque complètement «l'ancien» volcan. La présence humaine est donc importante dans la région, et de nombreuses constructions sont, de plus, récentes. Il semble particulièrement imprudent de concentrer autant d'activités dans une zone volcanique active, et on doit penser que la surveillance de la région et son évacuation éventuelle ont été convenablement prévues et réalisées (l'évacuation rapide de la population serait ici facilitée, car on se trouve en bord de mer, ce qui permet d'utiliser des bateaux en cas d'urgence pour évacuer les habitants).

Glossaire



Ruines de Pompéi, détruite par une éruption du Vésuve en l'an 79. Photo RR.

Les définitions des termes scientifiques à connaître (en gras), mais aussi des mots d'un emploi peu commun en quatrième, et utilisés dans ce chapitre. Ne sont donné ici que le sens dans lequel ils sont employés dans le manuel.

Aléa: évènement imprévisible. L'aléa sismique est la probabilité que se produise un séisme d'intensité donnée pendant une durée donnée.

antisismique/ parasismique: construction (ou norme de construction) visant à rendre les bâtiments «résistants» aux séismes, ou du moins à se comporter en cas de séismes de façon à protéger la vie des habitants (ainsi, il s'agit principalement d'éviter l'effondrement, mais pas de faire en sorte que le bâtiment soit obligatoirement intact et utilisable après un séisme).

contrainte: force appliquée à un endroit donné

Coulée: avancée de lave fluide s'écoulant depuis un cratère ou une fissure du sol. Une coulée peut prendre la forme d'un «fleuve» de lave, mais sa vitesse reste généralement modérée.

DOM TOM: Département d'outre-mer (Guadeloupe, Martinique, Guyane, Réunion, Mayotte) - Territoire d'outre-mer (St Barth, Wallis et Futuna, Polynésie française...). L'appellation actuelle correcte, mais encore peu utilisée, est DROM-COM (département et régions d'outre-mer, collectivités d'outre-mer).

entrailles: ce qui est à l'intérieur.

famine : situation de manque de nourriture en quantité suffisante dans une population.

flèche : sommet d'un bâtiment

liquéfaction : Changement de comportement d'un sol sous l'influence des vibrations d'un séisme, qui passe d'un comportement de solide à celui d'un liquide (les constructions s'enfoncent alors dans le sol). Attention: ce

mot à une signification tout autre en physique, où il désigne un changement d'état, le passage de l'état gazeux à l'état liquide.

Métropole: Territoire de la France située sur le continent européen.

Observatoire: construction ou administration chargée de réaliser des observations et des études sur un sujet donné.

Ossature: Éléments principaux d'une construction, qui soutiennent le reste de celle-ci.

Petra: Cité antique de Jordanie, créée il y a 29 siècles, célèbre pour certains de ses bâtiments sculptés dans la roche.

Pombal: Noble Portugais faisant office de «premier ministre» à l'époque du séisme de Lisbonne, qui organisa les secours et la reconstruction de la ville.

PPR: Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles. Depuis 1995, ce plan a pour but de sécuriser les populations et les biens et de permettre un développement durable des territoires. Pour cela, il nécessite de:

- mieux connaître les phénomènes et leurs effets
- assurer si possible une surveillance des phénomènes naturels
- sensibiliser et informer les populations sur les risques les concernant et sur les moyens de s'en protéger
- prendre en compte les risques dans les décisions d'aménagement et les permis de construire

- protéger et adapter les installations actuelles et futures
- tirer les leçons des évènements naturels destructeurs lorsqu'ils se produisent

précaire : qui n'est pas destiné à durer, qui n'est pas dans un état satisfaisant ou est de mauvaise qualité.

Préfet: fonctionnaire qui représente l'état dans un département ou une région

prémunir: protéger

prévention: attitude ou ensemble de mesures à prendre pour éviter autant que possible les conséquences et les dangers d'un séisme ou d'une éruption

raz de marée: Vague géante produite par un séisme sous marin ou une éruption volcanique

répertorier: reporter sur une liste

ismicité: activité sismique d'une région (séismes qui s'y sont produits au cours d'une échelle de temps donnée)

SNA: Signal National d'Alerte. Sonnerie particulière alertant les populations d'un danger en France

Tage: Fleuve qui traverse la ville de Lisbonne

Typhons: Nom que l'on donne dans les régions N-O du Pacifique aux cyclones tropicaux, ces tempêtes constituées de nuages orageux en rotation accompagnés de vents très violents

vulcanologue: scientifique spécialiste des volcans

Poème

Le Philosophe Voltaire écrit en 1756 son «Poème sur le désastre de Lisbonne» dont voici le début:

*O malheureux mortels ! ô terre déplorable !
O de tous les mortels assemblage effroyable !
D'inutiles douleurs éternel entretien !
Philosophes trompés qui criez : " Tout est bien " ;
Accourez, contemplez ces ruines affreuses,
Ces débris, ces lambeaux, ces cendres malheureuses.
Ces femmes, ces enfants l'un sur l'autre entassés,
Sous ces marbres rompus ces membres dispersés :
Cent mille infortunés que la terre dévore,
Qui, sanglants, déchirés, et palpitants encore,
Enterrés sous leurs toits, terminent sans secours
Dans l'horreur des tourments leurs lamentables jours !
Aux cris demi-formés de leurs voix expirantes,
Au spectacle effrayant de leurs cendres fumantes,
Direz-vous : " C'est l'effet des éternelles lois
Qui d'un Dieu libre et bon nécessitent le choix " ?
Direz-vous, en voyant cet amas de victimes :
" Dieu s'est vengé, leur mort est le prix de leurs crimes " ?
Quel crime, quelle faute ont commis ces enfants
Sur le sein maternel écrasés et sanglants ?
Lisbonne, qui n'est plus, eut-elle plus de vices
Que Londres, que Paris, plongés dans les délices ?
Lisbonne est abîmée, et l'on danse à Paris.
Tranquilles spectateurs, intrépides esprits,
De vos frères mourants contemplant les naufrages,
Vous recherchez en paix les causes des orages :
Mais du sort ennemi quand vous sentez les coups,
Devenus plus humains, vous pleurez comme nous.
Croyez-moi, quand la terre entrouvre ses abîmes,
Ma plainte est innocente et mes cris légitimes.(...)*

Idées de lecture

Les volcans et séismes à la loupe, K Rubin, Larousse, 2008

Un album graphiquement très travaillé, aux illustrations spectaculaires.

Qu'est-ce qui fait trembler la terre ? À l'origine des catastrophes sismiques, P. Bernard, ed EDP. Un petit livre qui fait le tour de la question et qui reste facile à comprendre.

Volcans du monde, séismes et tsunamis. J M. Bardintzeff, ed. Orphie, 2010

DVD documentaires

C'est pas sorcier : volcans, séismes et tout le tremblement - F. Courant, 2004

Volcans du monde - Italie : Volcans & Mythologie - A Dayan, 2011