

LES CATASTROPHES NATURELLES EN FRANCE

Patrice Le Douarec, Docteur en géologie appliquée.

Patrice Le Douarec, docteur en géologie appliquée et professeur de géologie, est venu donner cette conférence à la SAGA en mars 2007. Nous le remercions bien sincèrement de nous avoir permis de publier ce texte dans notre bulletin, apportant ainsi à nos collègues de précieuses informations pratiques sur les risques naturels.

La géologie appliquée est un domaine rarement abordé dans le cadre de la géologie pratiquée par des non-professionnels ; aussi, je remercie particulièrement les instances de la SAGA qui me donnent l'occasion de vous exposer ce sujet d'actualité qui concerne l'aspect géologique des risques naturels et des catastrophes naturelles dont les conséquences humaines et économiques très graves ne sont plus à démontrer.

Dans un premier temps, je vous propose de rappeler brièvement ce qu'est la géologie appliquée et ses champs d'application.

Puis nous aborderons ce vaste domaine qu'est celui des risques et des catastrophes naturels. Là encore, sans rentrer dans les détails, nous verrons le cadre législatif français qui constitue une exception culturelle dans le monde et nous limiterons cet exposé à la France et aux DOM-TOM.

Bien que cela soit d'actualité, je ne traiterai pas les risques cycloniques qui ne relèvent pas de la géologie, même s'il s'agit de catastrophes naturelles à part entière.

Enfin, j'évoquerai rapidement le risque minier, dans la mesure où ce type d'évènement n'est pas aléatoire et dépend des catastrophes technologiques.

La Géologie appliquée

Cette spécialité de la géologie est plutôt du domaine de l'ingénieur, même si quelques universités s'y intéressent, avec un certificat et un troisième cycle qui lui sont parfois consacrés.

Elle concerne le domaine minier, qui n'est pratiquement plus d'actualité en France, l'exploitation des carrières, la géotechnique appliquée au génie civil, l'hydrogéologie et la prospection des hydrocarbures fossiles, et plus récemment les catastrophes naturelles. Pour être géologue appliqué (ou géotechnicien, bien que ce terme soit trop restrictif), il faut d'abord bien maîtriser les grands domaines des sciences de la Terre : pétrographie, pétrologie, minéralogie, tectonique,

géologie historique, paléontologie, etc., et faire appel aux mathématiques, à la physique, à la chimie, à la biologie... et à bien d'autres sciences encore, comme l'écologie.

Ainsi, la mécanique des sols, qui est l'une des disciplines de la géotechnique et donc de la géologie appliquée, fait appel à de solides notions de mécanique physique et de mathématiques.

Le géologue appliqué intervient non seulement dans les études de reconnaissances préalables, mais aussi dans le suivi des chantiers pour éviter les incidents qui retardent l'achèvement des ouvrages, voire compromettent parfois leur exécution.

Comme le disent très justement Jean Letourneur et Robert Michel dans leur célèbre traité de géologie du génie civil : « Une étude géologique et quelques travaux de reconnaissance reviennent toujours moins chers que la réparation de désordres imprévus ou l'immobilisation d'un chantier ».

Dans ce domaine, les USA sont très en avance sur l'Europe et, si un minimum d'études préalables de sols avait été rendu obligatoire pour adapter les fondations à la nature du sol, les effets des sécheresses sur les constructions auraient été largement limités. Il en est de même pour les crues et les séismes.

Le géologue appliqué a trois préoccupations essentielles : un rôle de technicien, un rôle de conseil et un rôle d'expert.

- Il apporte tous les éléments de terrain à l'ingénieur du génie civil en charge du projet pour sécuriser les assises des ouvrages d'art ou estimer au mieux les ressources exploitables. Il fixera notamment l'extension et la nature des relevés géologiques et géotechniques, la disposition et le nombre de sondages, les essais géotechniques en place et en laboratoire, les études hydrogéologiques et hydrologiques indispensables.

- Il conseille l'ingénieur du génie civil quant aux compléments d'études à mettre en place en cours d'exécution des travaux quand cela s'avère utile.

- Il donne un avis d'expert en cas de sinistre sur les causes ayant entraîné des désordres.

Contrairement à l'universitaire et au chercheur dont l'objet principal des travaux touche à la connaissance des phénomènes, les priorités du géologue appliqué sont axées vers la sécurité des personnes, des biens, des ouvrages et les considérations économiques.

Les exemples ne manquent pas :

- l'exploitation minière, d'une carrière de matériaux, d'un gisement pétrolier, d'un pompage se traduisent par de gros investissements en matériel et en travaux, ce qui implique des réserves de gisement à long terme ;

- les ouvrages d'art comme une autoroute, un pont, un tunnel, un barrage, un bâtiment, ou une habitation individuelle, doivent perdurer dans la sécurité sans réparations excessives, ce qui implique la notion de prévention des risques.

Cet aspect préventif est essentiel dans les études géotechniques et les normes de construction en zone sismique, inondable ou volcanique, et dans les couloirs d'avalanche.

Les catastrophes naturelles

Cette notion a été mise en exergue par les médias à l'occasion de grands événements récents comme la grande tempête de 1999, le raz-de-marée de 2005 en Indonésie, les tremblements de terre en Turquie, etc.

Définition d'une catastrophe naturelle

Pour l'opinion publique et les médias, une catastrophe naturelle est un événement naturel qui atteint les populations et les biens de manière soudaine et imprévisible. La notion de catastrophe n'a pas le même sens selon l'impact sur la population et la nature des biens touchés. Ainsi on voit, dans la perception de cette notion de catastrophe naturelle, une dimension émotionnelle et subjective selon qu'il y a des victimes ou non, et leur nombre.

L'exemple du raz-de-marée de 2005 est typique d'autant que l'événement et ses drames sont quasiment vécus en direct. De même, les effets de la tempête de 1999, qui furent heureusement plus matériels qu'humains, illustrent parfaitement l'insuffisance et la réalité subjective de cette définition.

Le géologue appliqué s'appuie sur la définition donnée par la loi du 13 juillet 1982, qui fut complétée par celle du 2 août 1985. Sans rentrer dans les considérations juridiques et d'assurance, elle permet l'indemnisation des victimes par le biais des compagnies d'assurance, ce qui n'était pas le cas auparavant.

La loi s'applique non seulement pour les événements naturels mais également aux cavités souterraines et aux marnières. Le risque d'affaissement minier dépend quant à lui de la loi sur les catastrophes technologiques récemment votée.

Sont considérés comme les effets des catastrophes naturelles, les dommages matériels directs, non assurables par un contrat d'assurance, ayant eu pour cause déterminante l'intensité anormale d'un agent naturel, lorsque les mesures habituelles à prendre pour

prévenir ces dommages n'ont pu empêcher leur survenance ou n'ont pu être prises.

Dans ce cas, les communes touchées font une demande auprès des préfectures et ce sont les ministres qui constatent l'état de catastrophe naturelle par un arrêté ministériel publié au Journal Officiel dans un délai de trois mois. Il détermine les zones et les périodes où s'est située la catastrophe, ainsi que la nature des dommages en résultant.

Le remboursement des biens prend en compte les études géotechniques rendues nécessaires pour la remise en état des biens.

Le régime français des catastrophes naturelles est une exception culturelle, puisqu'il dépend du bon vouloir des pouvoirs publics et ne concerne que les événements non assurés par un contrat d'assurance : les retraits-gonflements des argiles, les séismes, les crues, les avalanches, les coulées de boues, le volcanisme, etc.

En revanche, la tempête de 1999, qui était une catastrophe naturelle aux yeux du public à juste titre, ne l'est théoriquement pas dans le cadre de cette loi, puisqu'elle peut être indemnisée dans les contrats multirisques habitation ou automobile, dans le cadre d'une garantie Tempête Grêle Neige (TGN). Compte tenu de l'ampleur du phénomène, les pouvoirs publics ont décrété l'événement Catastrophes Naturelles, ce qui a contraint les assureurs à rembourser.

Aux États-Unis et dans les pays de culture anglosaxonne, tous ces risques sont couverts par des garanties de contrats classiques.

Ces dernières années ont vu une succession d'événements naturels hors du commun qui ont touché la population française dans son ensemble. C'est pourquoi les compagnies d'assurance, regroupées en France au sein de deux grandes fédérations qui sont interdépendantes : la FFSA (Fédération Française des Sociétés d'Assurance) et le GEMA (Groupement d'entreprises à caractère mutuel), ont créé la Mission des risques naturels (MRN), une association dont la mission consiste à collecter tous les éléments scientifiques, les sinistres et les retours d'expériences pour les mettre à disposition des assureurs et des experts dans un objectif de prévention.

Le vocabulaire relatif à la catastrophe naturelle

Sans rentrer dans le détail, trois notions sont essentielles dans le cadre de cet exposé :

- **l'aléa** : c'est la manifestation d'un phénomène naturel d'occurrence et d'intensité données. Exemple : l'aléa sécheresse, l'aléa sismique... ;

- **l'enjeu** : c'est l'ensemble des personnes et des biens susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel. Exemple : une ville, un quartier... ;

- **le risque majeur** : c'est la conséquence d'un aléa d'origine naturelle ou humaine dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes, occasionner des dégâts importants et dépasser les capacités de réaction des instances concernées. Exemple : risque majeur sismique, risque majeur sécheresse...

Ces éléments étant définis, nous allons aborder les catastrophes naturelles les plus fréquentes en France et dans les DOM-TOM.

L'aléa sécheresse

Les géotechniciens évoquent ce phénomène sous le nom de : **Dessiccation-Retraissement et Hydratation-Gonflement des argiles.**

Tous les géologues savent que la plupart des argiles et des sols argileux gonflent en présence d'eau et se rétractent en période de sécheresse. Pour vous en convaincre facilement, je vous suggère d'observer le comportement d'une flaque d'eau boueuse. L'été, en séchant, la boue d'argile montre des fentes de dessiccation qui délimitent des polygones d'argile. Dès les premières pluies, ou si vous arrosez, les fentes et les polygones disparaissent par gonflement des argiles.

Ce phénomène physique est lié à la capacité qu'ont les argiles de pouvoir emprisonner ou libérer de l'eau libre. On observe des polygones fossilisés dans les formations anciennes, comme celles du Permien de la vallée de la Laize.



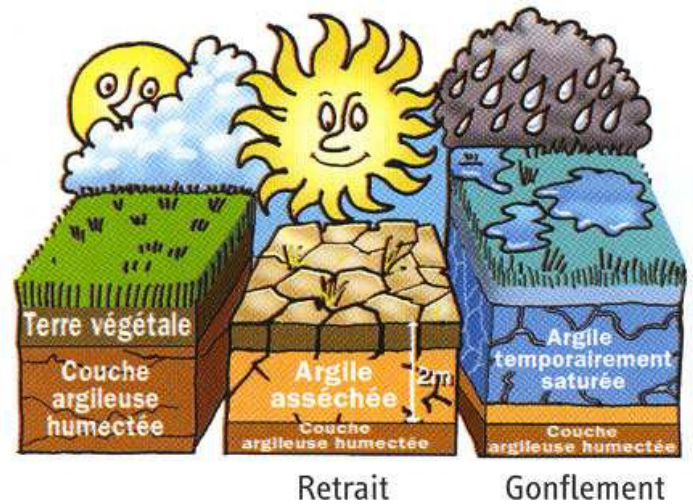
Si l'on en reste là, c'est une amusante expérience pour tous, mais l'observation démontre qu'il en est tout autrement.

Deux cas se présentent : les tassements et les effets de sécheresse.

Dans les premières années qui suivent une construction d'ouvrage, souvent très rapide, les sols se tassent naturellement sous la charge (rééquilibrage des contraintes) et, comme ils sont rarement plans, mais plutôt différentiels, il peut apparaître de petites fis-

sures sans gravité, surtout si les fondations ont été réalisées dans les règles de l'art. La garantie décennale couvre ce type de dégâts mineurs.

En cas de sécheresse prolongée, le niveau des nappes phréatiques s'abaisse, la teneur en eau diminue et les argiles se rétractent fortement de quelques centimètres à plusieurs décimètres selon la nature des argiles et l'épaisseur de la formation. Le problème vient des constructions dont les fondations sont trop superficielles (semelles à moins de 0,70 m de profondeur) ou si elles ne sont pas adaptées aux terrains argileux. Il en résulte qu'en cas de désordres dans le sous-sol, apparaissent des fentes dans les murs et dans les chaînages, avec parfois l'obligation de travaux très importants, voire la destruction pure et simple de l'édifice. *A contrario*, lorsque le sous-sol se réhydrate, les argiles gonflent et la construction bouge en sens inverse, avec les conséquences que cela peut avoir.



(Source : Agence Qualité Construction)

La succession de sécheresses, comme dans le cas des années 1980, avec une série d'oscillations retrait-gonflement, augmente les tensions successives sur les structures des édifices, aggrave les dégâts et viennent à bout des meilleures constructions.

Suite aux sécheresses des années 1980, un exemple célèbre est fourni par la fragilisation de maisons médiévales de la région de Tours qui ont des murs de 80 cm d'épaisseur bâtis avec des blocs de craie de tuffeau lié par un mortier de chaux souple.

La présence d'arbres près des édifices est un facteur particulièrement aggravant. Ainsi, les racines peuvent détruire partiellement les fondations, soulever les murs ou l'édifice entier, et augmente les effets de la dessiccation en pompant l'eau dans le sous-sol (évapotranspiration).

La règle de sécurité est simple : la distance entre un ouvrage et un arbre doit être égale à la hauteur de l'arbre à l'état mature.

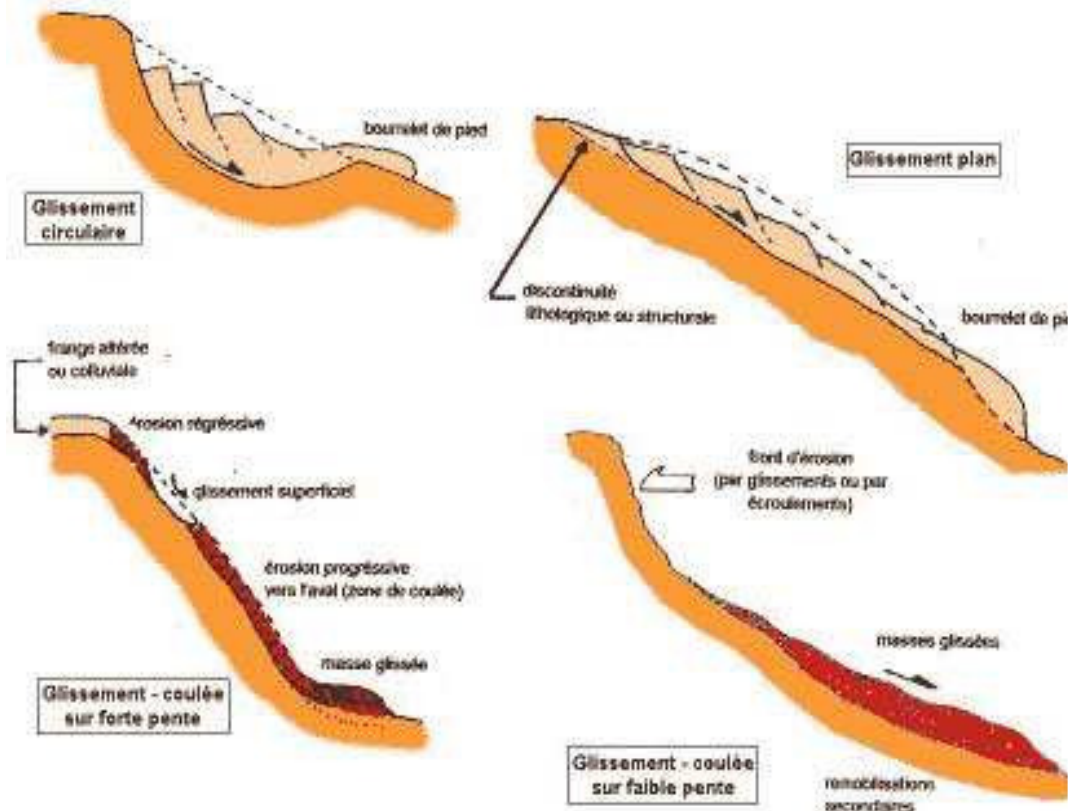
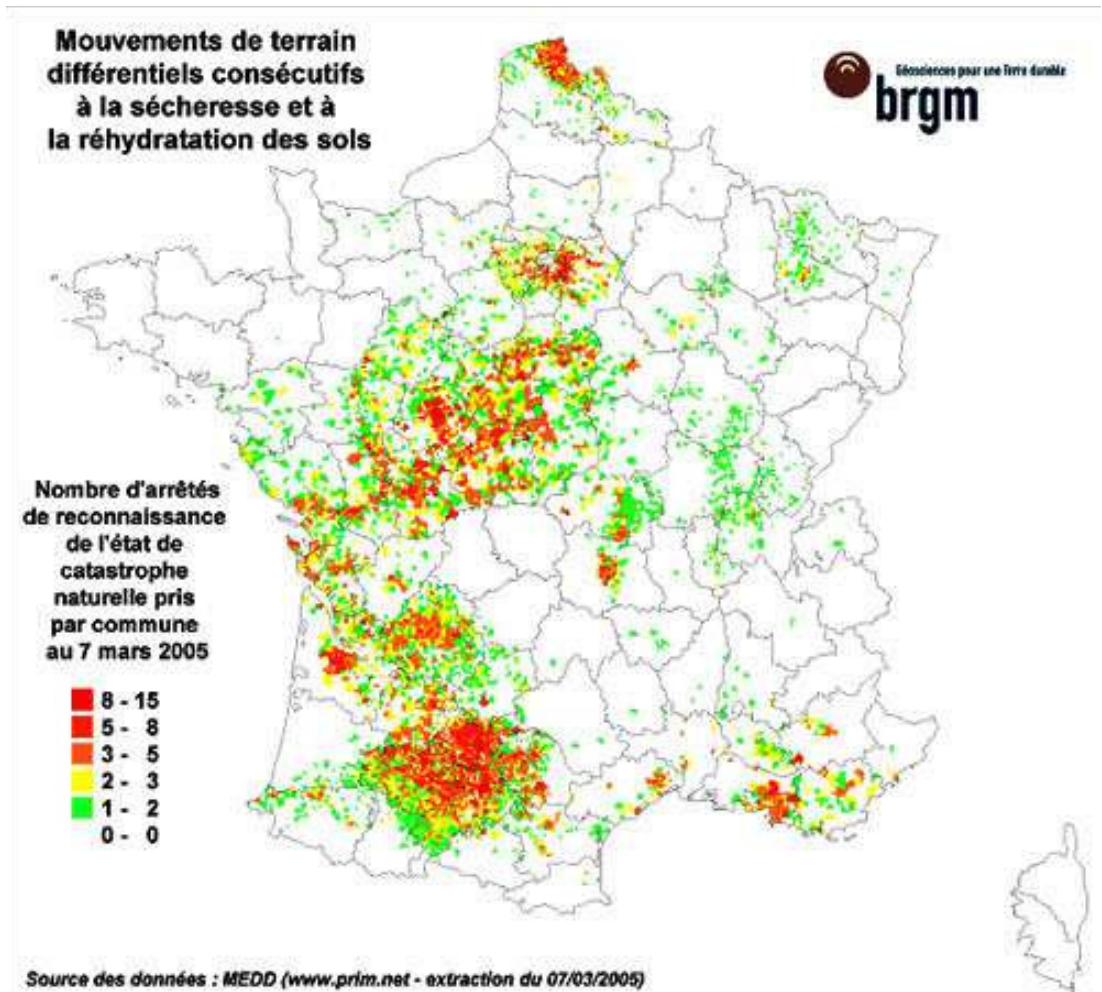
La carte suivante, éditée par le BRGM, montre l'ampleur du phénomène de l'aléa sécheresse retrait-gonflement des terrains argileux observé entre 1980 et 2005, et cible les zones à risque. Ce type de catastrophes naturelles a coûté plusieurs milliards d'euros.

La prévention :

- approfondir les fondations ;
- réaliser un trottoir étanche autour des maisons pour conserver l'humidité et limiter l'évaporation ;
- maîtriser les eaux pluviales et les eaux de ruissellement pour éviter les infiltrations au pied des murs ;
- ne pas planter d'arbres près des maisons ;
- éviter les pompages trop importants.

Glissement de terrain, avalanche, coulée de boue

Le glissement de terrain
C'est le déplacement de terrains meubles ou rocheux le long d'une surface de rupture. Les facteurs qui favorisent les glissements de terrains sont l'eau, la liquéfaction des sols et les vibrations du sol (séismes, passages de véhicule, de train, etc.). Les glissements de terrains peuvent être très lents (de 1mm à 1cm/an), lents (de 1mm à 5 cm/mois), moyens (de 1mm à 10 cm/jour), rapides (de 5 mm à 10 m/heure) et très rapides (de 2 à 10 m/seconde).



La gravité des glissements de terrain est très variable selon l'exposition des populations, la brutalité du phénomène et l'intensité du volume déplacé.

Un bon repère des prémices d'un glissement peut s'observer aux ruptures de pentes, où l'on observe parfois des fissures dans le sol. Par ailleurs, un arbre sur une pente dont le tronc est fortement recourbé ou une ligne de poteaux déformée dans le sens de la pente constituent de bons indices de mouvements de terrain.

Les éboulements

Ils appartiennent aux mouvements de terrains. Ce sont en général des phénomènes rapides qui mobilisent des blocs rocheux de dimensions hétérogènes. L'eau est un facteur très aggravant dans la mesure où elle mine la roche d'autant mieux que le cycle gel-dégel intervient dans les fissures.

Un éboulement ou une avalanche peuvent être localisés, mais on assiste aussi à de véritables catastrophes surtout dans les pays à falaises, à aplombs rocheux, ou montagneux. Les cartes de risques naturels mentionnent les couloirs d'avalanches connus.

Il ne faut jamais s'approcher à la base d'une falaise même si la roche vous semble compacte.

Les falaises de la Manche et de la Méditerranée sont à ce titre particulièrement dangereuses et instables.

Les coulées de boues

Elles constituent l'un des accidents de terrains les plus redoutables par leurs déclenchements brutaux.

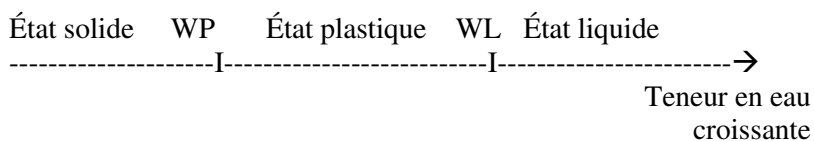
Elles interviennent souvent à la suite de pluies torrentielles qui saturent les sols et en particulier les sols argileux. Les années 2000 furent très riches en coulées de boues dans le sud de la France.

En fonction de la teneur en eau, les argiles et les roches argileuses présentent successivement trois états physiques :

WP teneur en eau limite entre état solide et état plastique.

WL teneur en eau limite entre état plastique et état liquide.

I_p (indice d'Atterberg ou de plasticité) = $WL - WP$



Plus cet indice est petit, et plus les risques de catastrophes sont grands, car il suffit d'une faible augmentation de la teneur en eau du sol pour qu'il se liquéfie.

Les vibrations occasionnées par le passage d'un train ou d'un véhicule, ou par un séisme, favorisent la liquéfaction des sols.

Les avalanches

Provoquées par la rupture du manteau neigeux de structure variable, les avalanches correspondent à un déplacement rapide d'une masse de neige sur une pente, à une vitesse supérieure à un mètre par seconde. Cette masse varie de quelques dizaines de mètres cubes à quelques centaines de milliers de mètres cubes.

Les avalanches, qui pourraient s'apparenter aux éboulements, ne sont pas du domaine de la géologie.

L'aléa inondation

Il est celui en France qui coûte le plus cher à la communauté. En dépit des barrages régulateurs, des bassins de rétention, des aménagements des cours d'eau, des systèmes de surveillance et d'alertes, il semble que les modifications climatiques de ces dernières années contribuent à intensifier les crues, en particulier dans le sud de la France (2003).

Il existe différents types d'inondations.

Les inondations de plaine

Elles sont provoquées par une lente montée des eaux (quelques cm/heure) et se produisent en général après une longue période de pluviosité lorsque les sols sont saturés d'eau. Le cours d'eau quitte son lit



521. PARIS. Inondation 1910. Esplanade des Invalides.

mineur et envahit son lit majeur. Ce sont plutôt des crues d'hiver qui sont rarement dangereuses sur le plan humain, sauf imprudence, mais avec une durée assez longue (plusieurs semaines) et des dégâts considérables. La crue de la Seine en 1910 (photo ci-dessus) et celle de la Somme en 2001 appartiennent à cette catégorie.

Les inondations dues à une crue torrentielle

Il s'agit d'une brusque montée des eaux (plusieurs mètres en quelques heures) de torrents ou de rivières par suite de précipitations torrentielles. Grâce à Météo France, elles sont prévisibles plusieurs jours à l'avance. Ce sont des inondations de zones montagneuses, et du sud de la France en liaison avec le climat méditerranéen. Ces crues sont dévastatrices et meurtrières : Vaison-la-Romaine (1992) en est un exemple frappant.

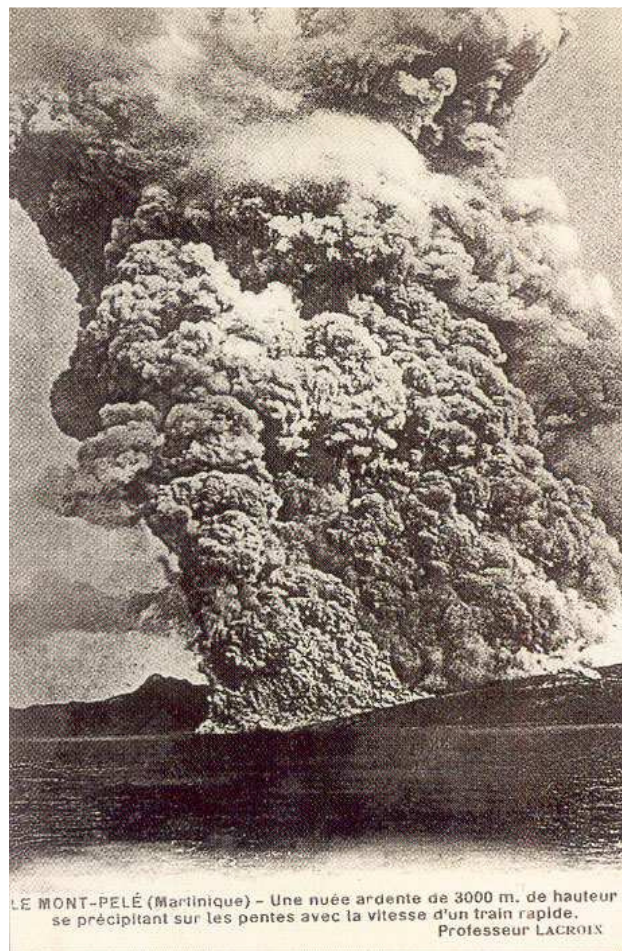


Les inondations par remontée de nappe phréatique

De très longues précipitations saturent les sols et font remonter le niveau des nappes phréatiques qui inondent le terrain. Ce sont des crues longues mais sans danger autre que matériel. Il existe aujourd'hui un grand nombre de cartes traitant des zones inondables avec lesquelles les géologues de terrains et les hydrologues travaillent. La MRN diffuse aujourd'hui aux professionnels les cartes et des « données sinistres » des aléas inondations. Il convient de savoir que les crues arrivent en tête en matière de coût.

L'aléa volcanique

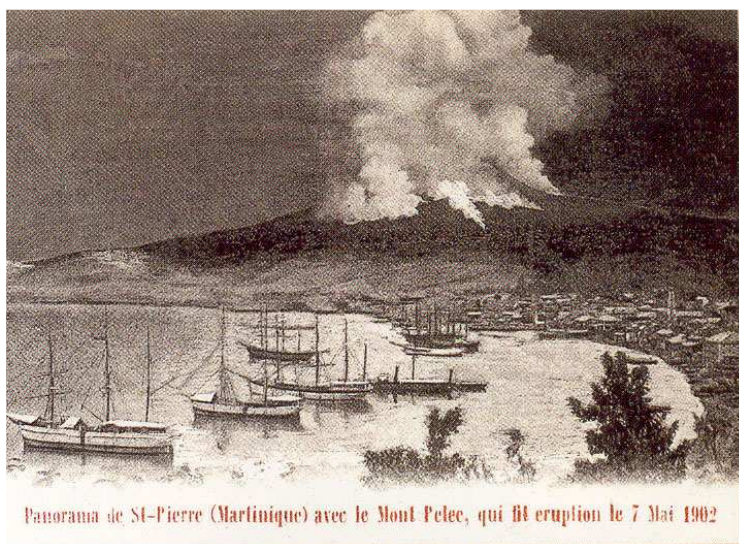
Le volcanisme est l'un des événements naturels parmi les plus redoutés de l'homme et cela dès la Préhistoire. Tout le monde a dans son subconscient la fameuse tragédie de la nuée ardente de la Montagne Pelée qui a détruit en quelques minutes Saint-Pierre-de-la-Martinique, les 7 et 8 mai 1902, faisant 30 000 victimes au moins, avec seulement trois survivants. Aujourd'hui, si ce genre de catastrophe reste toujours possible, les connaissances sur les éruptions, les chambres magmatiques, les magmas, les gaz, la géophysique liée au volcanisme et les différents types de volcanisme, contribuent à une meilleure prévision du comportement des volcans en cours d'éruption.



LE MONT-PELÉ (Martinique) – Une nuée ardente de 3000 m. de hauteur se précipitant sur les pentes avec la vitesse d'un train rapide.
Professeur LACROIX

Plus proche de nous, je vous rappelle l'épisode médiatique de la Soufrière, en Guadeloupe, et l'éruption actuelle du Piton des Neiges, à la Réunion. En métropole, le dernier volcan actif remonte à 6 000 ans, ce qui est fort jeune.

À l'ancienne classification des différents types de volcans (hawaïen, strombolien, vulcanien, plinien et péléen) qui n'intégrait pas le volcanisme sous-marin des dorsales océaniques, s'en est substituée une nouvelle qui rend mieux compte de la diversité des éruptions que peut connaître un même volcan.



Panorama de St-Pierre (Martinique) avec le Mont Pelée, qui fit éruption le 7 Mai 1902

Le volcanisme sous-marin

Il se localise à la frontière de deux plaques lithosphériques divergentes, le long des dorsales océaniques, par exemple la dorsale médio-atlantique. De type effusif, il se caractérise par l'émission de lave basaltique fluide provenant de la base de la lithosphère. Lors des éruptions, les laves fluides s'échappent par des fissures et forment au contact de l'eau, à cause du refroidissement rapide et de la pression hydrostatique, des basaltes en coussins ou « *pillow-lavas* ». C'est le volcanisme le plus important de la planète, il est à l'origine de la formation du nouveau plancher océanique (accrétion).

Le volcanisme intra-plaque

Encore appelé volcanisme de points chauds, il correspond à la remontée de matériaux basaltiques fluides provenant des grandes profondeurs, au niveau du manteau inférieur, en certains points de la surface du globe (Hawaï, Tahiti, la Réunion, etc.). Ces éruptions répétées de coulées ou de fontaines de laves créent des volcans successifs. Lors des éruptions, la lave basaltique très fluide se déplace rapidement et forme de grandes coulées à l'origine de « volcans boucliers » de grand diamètre, accompagnées d'explosions et de projections minimes. Ces lieux constituent des observatoires permanents qui permettent la mise au point de méthodes de surveillance, comme au Piton de la Fournaise, à la Réunion.

Le volcanisme des zones de subduction

Situé à la convergence entre deux plaques, il est la cause principale de la formation des chaînes de montagne et du volcanisme aérien. De type explosif, il se caractérise par l'émission de laves visqueuses, principalement des andésites provenant du manteau supérieur, juste au-dessus de la plaque qui s'enfonce. Ces laves s'écoulent difficilement et finissent par obturer la cheminée volcanique. La pression des gaz augmente et provoque une gigantesque explosion qui détruit une partie du volcan et déclenche des nuées ardentes : mélanges de gaz à haute température (jusqu'à 350 °C) et de morceaux de lave (des cendres jusqu'aux blocs). Très meurtrières, elles sont projetées à plusieurs centaines de km/h. (Ces définitions sont empruntées au site web du CRDP d'Amiens.)

Pour résumer, il existe deux grandes catégories d'éruptions :

- les éruptions effusives

qui ne présentent que peu ou pas d'enjeux autres que matériels, bien qu'ils soient parfois importants. Le Piton des Neiges, à la Réunion, est de type effusif ;

- les éruptions explosives

auxquelles se rattachent la Montagne Pelée et la Soufrière sont particulièrement dangereuses et brutales, surtout quand elles s'accompagnent de nuées ardentes. Les dégâts sont considérables tant sur les plans matériel qu'humain.

Dans les éruptions explosives deux variantes existent :

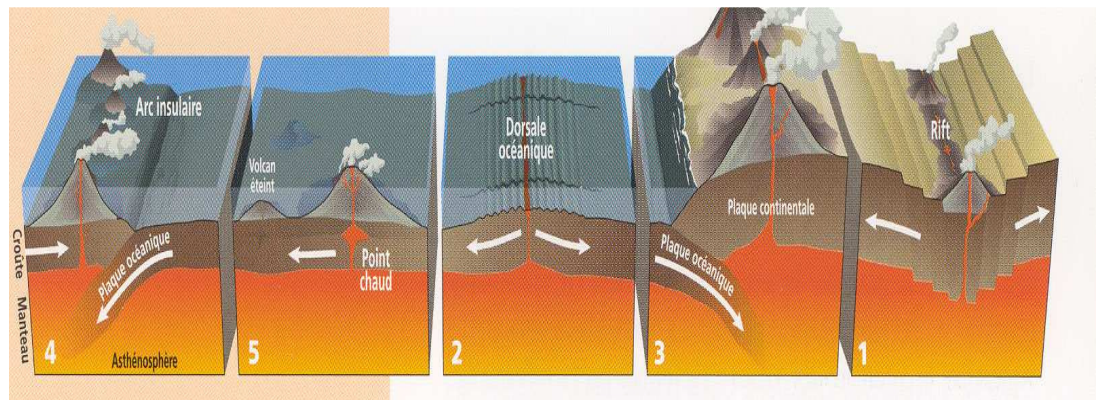
- les éruptions phréatiques

qui sont annoncées par des crues anormales de cours d'eau en raison de la vaporisation de l'aquifère au contact du magma, avec libération d'une grande quantité de vapeur d'eau sous pression et de température élevée. On observe alors une éjection de matériaux de toutes tailles. Les éruptions gazeuses carboniques s'apparentent aux éruptions phréatiques et interviennent dans le cadre d'un volcanisme actif ou non. Le gaz carbonique plus dense que l'air, invisible et émis en grande quantité, provoque l'asphyxie des êtres vivants ;

- les éruptions phréatomagmatiques

qui résultent de la rencontre entre le magma ascendant et une nappe phréatique ou une eau superficielle (lac, rivière, etc.). Le magma sort en même temps que l'eau, entraînant sa vaporisation très rapide.

Non seulement l'ensemble des volcans actifs des DOM-TOM est soumis à une étroite surveillance par l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP) et divers laboratoires d'université, mais cette surveillance s'étend également aux volcans du Massif Central dont le dernier était encore en activité il y a 6 000



ans. Les études géologiques montrent la présence de chambres magmatiques actives sous le socle du Massif Central et les manifestations indirectes (eaux chaudes notamment) perdurent.

Un simple mouvement des Alpes, avec un contrecoup sur les failles de la Limagne ou de l'Allier, suffirait à réactiver le volcanisme dans cette région. Il en est de même dans le graben rhénan.

L'aléa sismique

Comme pour le volcanisme, l'aléa sismique est l'un des plus redouté par les pouvoirs publics et la population. Nous avons tous en mémoire les effets dévastateurs des séismes de Turquie, d'Italie et d'Afrique du Nord, mais aussi ceux du raz-de-marée du 26 décembre 2004 qui a frappé en direct l'Indonésie et la Thaïlande, à la suite un séisme majeur de magnitude de 9,1 à 9,3, avec pour conséquences près de 230 000 victimes. L'onde de ce raz-de-marée a même atteint la Réunion, de manière amortie et modeste fort heureusement.

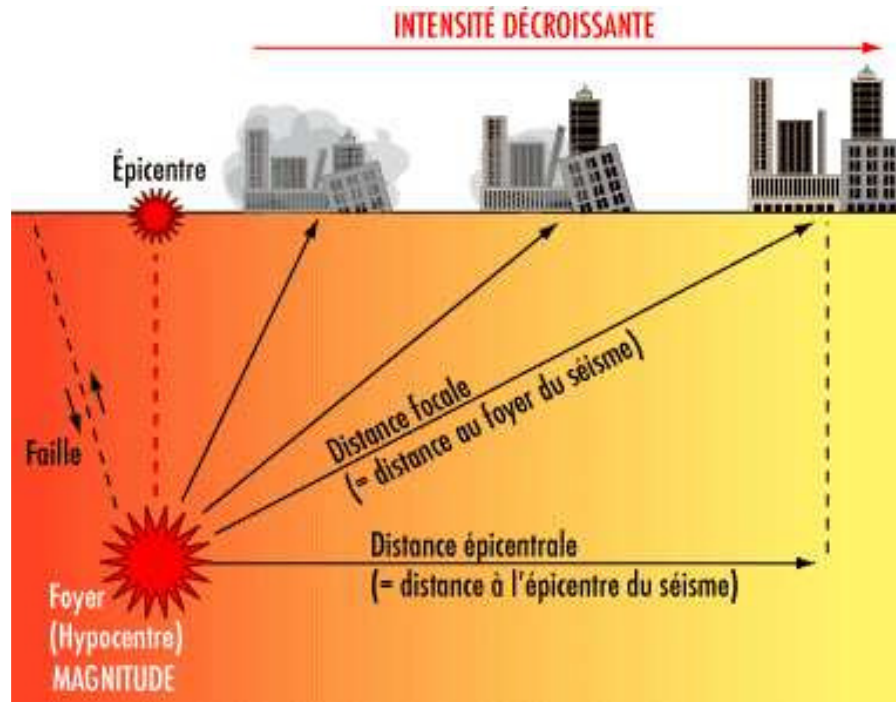
Un séisme, ou tremblement de terre, se traduit en surface par des vibrations du sol qui proviennent de l'ébranlement des roches en profondeur. Ceci se produit consécutivement à la libération instantanée d'énergie lentement accumulée, au moment où le seuil de rupture mécanique des roches est atteint. La théorie de la tectonique des plaques permet depuis plusieurs dizaines d'années d'expliquer la cause des séismes : la surface de la Terre, ou lithosphère, est constituée de plaques relativement rigides. Elles se déplacent les unes par rapport aux autres et s'affrontent : c'est aux jonctions qu'apparaît la majeure partie des tremblements de terre. En dehors de ces zones étroites, il existe de vastes régions à l'intérieur des continents où la sismicité est diffuse.

C'est le cas du domaine alpin méditerranéen, où l'activité sismique des Alpes est la conséquence de la collision entre les plaques continentales, Afrique, Eurasie et la sous-plaque Adriatique dépendante de la plaque Afrique.

Ces deux grandes plaques se rapprochent actuellement à une vitesse moyenne de 1 cm par an. On distingue des séismes d'origines tectonique et volcanique.

Les dégâts observés sont fonction de l'amplitude, de la fréquence, de la durée des vibrations et surtout de la densité et de la qualité de l'urbanisation.

La plupart des séismes sont concentrés au voisinage des frontières des plaques lithosphériques. Les plus grandes magnitudes sont observées dans les zones de subduction, quand une plaque s'enfonce sous une autre. La région de la faille bloquée se déforme alors progressivement, jusqu'à ce qu'elle cède brutalement, coulissant sur toute sa surface. Cette rupture sismique relâche les contraintes tectoniques et rattrape le retard du mouvement des plaques. Ensuite, après cette libération d'énergie, on constate à nouveau une concentration d'énergie entre les deux compartiments, un nouveau cycle sismique débute.



On appelle cycle sismique cette succession de périodes d'accalmie et d'activité.

Ensuite, après cette libération d'énergie, on constate à nouveau une concentration d'énergie entre les deux compartiments, un nouveau cycle sismique débute. On appelle cycle sismique cette succession de périodes d'accalmie et d'activité.

Quelques rappels de termes illustrés par la figure s'imposent :

- le foyer ou hypocentre :

il correspond à la région de la faille où se produit la rupture et d'où partent les ondes sismiques. Selon la profondeur du foyer, on distingue trois classes de séismes :

- . les séismes superficiels < 60 km de profondeur,
- . les séismes intermédiaires entre 60 et 300 km de profondeur,
- . les séismes profonds > 300 km de profondeur ;

- l'épicentre :

il correspond à la projection à la surface terrestre du foyer. On est dans la zone où le séisme est le plus important ;

- l'intensité :

elle est estimée par l'échelle de Mercalli jusqu'en 1964, puis, jusqu'en 1998, par l'échelle MKS 64, et enfin remplacée par l'échelle EMS 98 (European Macroseismic 1998) qui est utilisée en France depuis 2000. Elle comporte 12 degrés qui classent les séismes selon leurs effets et leurs dommages. Cette échelle permet la constitution de cartes isosismiques correspondant aux zones ayant subi les mêmes des-

tructions. L'écartement des courbes obtenues permet de localiser le foyer et sa profondeur. Cette échelle reste très subjective et ne tient pas compte des constructions antisismiques ;

Les degrés d'intensité de l'échelle macrosismique européenne (EMS)

I • Secousse imperceptible

II • Secousse à peine perceptible

III • Secousse faible

La secousse est ressentie à l'intérieur des habitations par quelques personnes.

IV • Secousse largement observée

La secousse est ressentie à l'intérieur des habitations par de nombreuses personnes. Personne n'est effrayé.

V • Réveil des dormeurs

Réveil de la plupart des dormeurs. Balancement important des objets suspendus.

VI • Frayeur

De nombreuses personnes effrayées se précipitent dehors. De nombreuses constructions classiques subissent des dégâts mineurs, quelques-unes subissent des dégâts modérés.

VII • Dommages aux constructions

La plupart des personnes se précipitent dehors. Les dommages aux bâtiments sont nombreux, à des degrés divers.

VIII • Destruction de bâtiments

Forte panique. Les dommages aux bâtiments sont généralisés, allant parfois jusqu'à la destruction totale.

IX • Dommages généralisés aux constructions

Panique générale. Nombreuses destructions de bâtiments.

X • Destructions générales des bâtiments

Même les bâtiments bien construits commencent à subir d'importants dommages.

XI • Catastrophe

Dommages sévères même aux bâtiments bien construits, aux ponts, barrages et voies de chemin de fer. Les grandes routes deviennent inutilisables.

XII • Changement de paysage

Pratiquement toutes les structures sont gravement endommagées ou détruites

Source : J. Lambert, Les tremblements de terre en France, BRGM.

- la magnitude :

elle reflète l'énergie libérée indépendamment de la profondeur du séisme et de la distance au foyer et des dégâts subis. À l'inverse de l'échelle MKS qui varie avec la distance à la source, c'est une donnée objective qui permet de classer les séismes. En 1935, s'appuyant sur cette notion, Richter a mis au point une

échelle basée sur le logarithme de l'amplitude des vibrations enregistrées par un sismographe étalonné en fonction de la distance à l'épicentre. Un séisme d'amplitude 8 est dix fois plus important qu'un séisme d'amplitude 7. Par ailleurs, l'échelle n'est pas fermée ;

Échelle de Richter

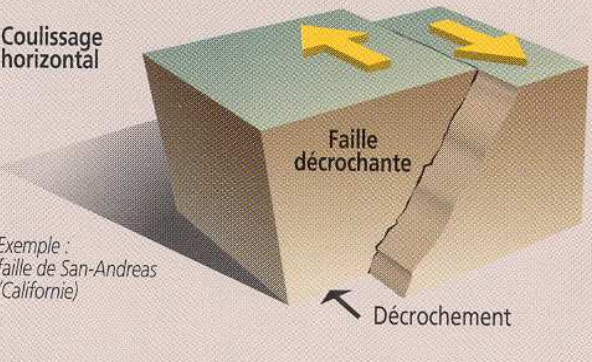
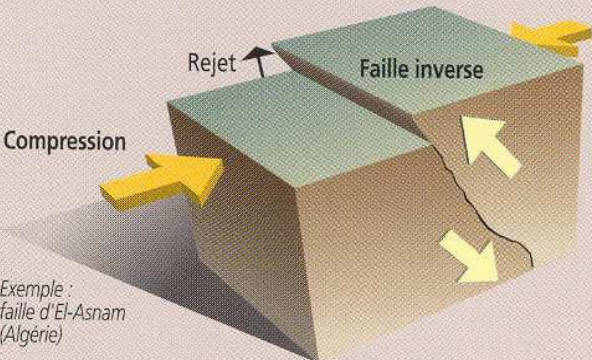
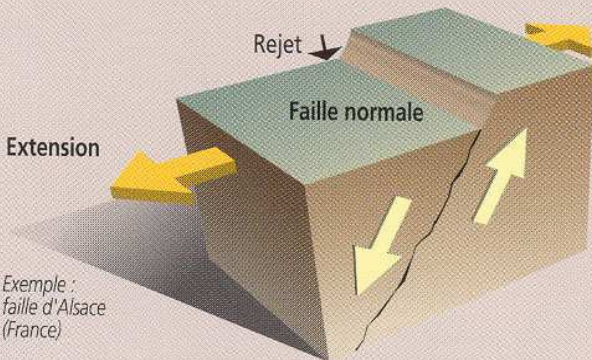
Magnitude	Description	Effets constatés	Fréquence
< 2,0	Micro	Micro tremblement de terre, non ressenti	8 000 / j.
2,0 à 2,9	Très mineur	Généralement non ressenti, mais détecté par les sismographes	1 000 / j.
3,0 à 3,9	Mineur	Souvent ressenti, mais causant très peu de dommages	50 000 / an
4,0 à 4,9	Léger	Objets secoués à l'intérieur des maisons, bruits de chocs, dommages importants	6 000 / an
5,0 à 5,9	Modéré	Dommages majeurs à des édifices mal conçus dans des zones meubles. Légers dommages aux édifices bien construits	800 / an
6,0 à 6,9	Fort	Destructeur dans des zones jusqu'à 180 kilomètres de l'épicentre	120 / an
7,0 à 7,9	Majeur	Dommages sévères dans des zones plus vastes	18 / an
8,0 à 8,9	Important	Dommages sérieux dans des zones à des centaines de kilomètres de l'épicentre	1 / an
9,0 et plus	Exceptionnel	Dommages très sérieux dans des zones à des centaines de kilomètres de l'épicentre	2 / siècle

- la faille :

c'est une cassure de l'écorce terrestre qui fait coulisser deux ou plusieurs blocs à l'occasion d'un séisme. Les mouvements peuvent être verticaux ou horizontaux, avec un rejet vertical ou un cisaillement horizontal de quelques décimètres à quelques kilomètres.

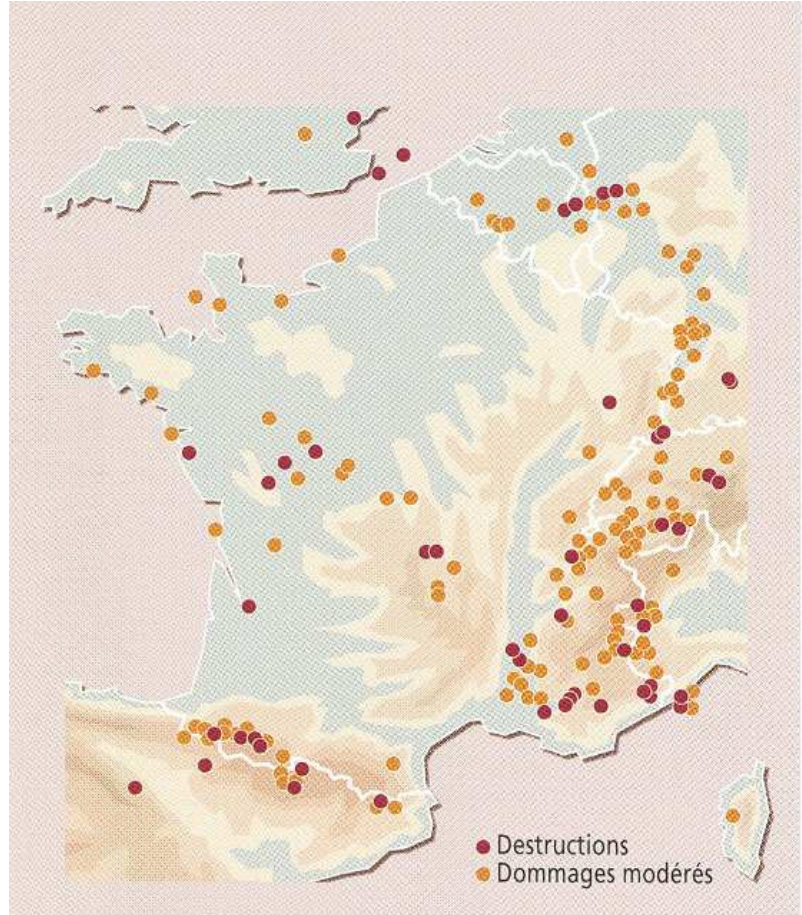
Le mécanisme au foyer

L'histoire tectonique d'une région et les contraintes présentes dans la roche conditionnent le type de déplacement au niveau des failles. Ainsi dans les zones de compression, le déplacement s'effectue sur des failles inverses, et dans les zones d'extension, sur des failles normales. Ces deux types de failles induisent des déplacements verticaux, appelés *rejets*. Des déplacements horizontaux, appelés *décrochements*, sont également possibles dans le cas des failles de coulissage ou des failles transformantes.



Qu'en est-il pour la France métropolitaine ?

La France métropolitaine est considérée comme une zone à sismicité faible. Pourtant, en regard d'un passé historique proche, la carte suivante démontre que la France n'est pas à l'abri d'un évènement majeur lié notamment au rapprochement des plaques tectoniques continentales Afrique, Eurasie et la sous-plaque Adriatique, dépendante de la plaque africaine.



Ainsi, toute la sismicité de la zone alpine et méditerranéenne relève de ces mouvements tectoniques, et je rappelle la destruction de la ville de Nice en 1887, même si le nombre de victimes fut très faible.

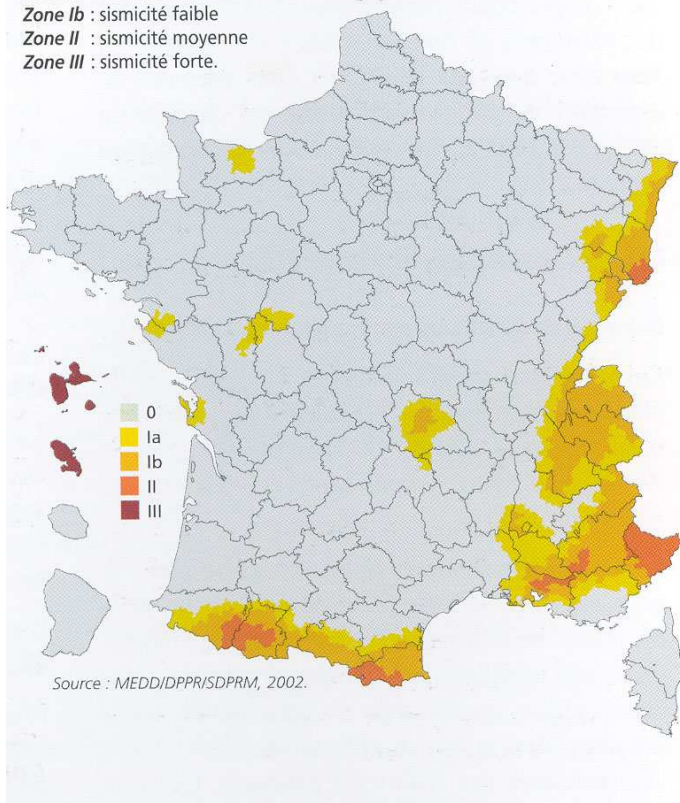
À l'ouest des Alpes, de Valence jusqu'en Provence occidentale et en bordure du Massif Central, la vallée rhodanienne est une zone de rift datant de 25 Ma, et donc à l'origine d'une ligne sismique allant du Tricastin jusqu'à Cavaillon et Nîmes. La région de Montélimar a connu plusieurs séismes qui ont atteint l'intensité VIII (1772-1773, 1873 et 1901). Cette zone fait l'objet d'une surveillance, suite à l'installation de centrales nucléaires.

L'Auvergne et le fossé rhénan sont des régions en extension, avec de grands rifts intracontinentaux datant de 30 Ma (Oligocène), associés à du volcanisme avec, entre autres, des carbonatites (Kaiserstuhl, à l'est de Colmar, volcans d'Auvergne). La sismicité est faible

actuellement, mais dans le passé la région a subi de fortes secousses, comme le séisme de Bâle en 1356 (intensité X). Près de Clermont-Ferrand, deux séismes d'intensité VIII se sont produits en 1477 et 1490. Depuis quelques années, le Livradois (région montagneuse d'Auvergne) connaît une certaine activité sismique.

Le zonage sismique de la France

- Zone 0 : sismicité négligeable mais non nulle
- Zone Ia : sismicité très faible mais non négligeable
- Zone Ib : sismicité faible
- Zone II : sismicité moyenne
- Zone III : sismicité forte.



Source : MEDDI/DPPRI/SDPRM, 2002.

Liste des départements concernés selon les zones

Zone Ia (13 départements)	Ardèche, Calvados, Cantal, Charente-Maritime, Gard, Gers, Indre-et-Loire, Jura, Haute-Loire, Loire-Atlantique, Deux-Sèvres, Vendée, Vienne
Zone Ia et Ib (16 départements)	Ain, Hautes-Alpes, Ariège, Aude, Doubs, Drôme, Haute-Garonne, Puy-de-Dôme, Bas-Rhin, Haute-Saône, Savoie, Haute-Savoie, Var, Vaucluse, Vosges, Territoire de Belfort
Zone Ia, Ib et II (7 départements)	Alpes-de-Haute-Provence, Alpes-Maritimes, Bouches-du-Rhône, Pyrénées-Atlantiques, Hautes-Pyrénées, Pyrénées-Orientales, Haut-Rhin
Zone III (2 départ.)	Guadeloupe, Martinique

La région des Pyrénées est également considérée comme une zone à risque potentiel important. Sa formation résulte d'un grand coulissage qui s'est produit voilà environ 100 Ma, le long de la faille nord-pyrénéenne, déplaçant l'Espagne vers l'est, suivi par un déplacement vers le nord de cette dernière.

L'activité sismique est importante et assez homogène le long de l'axe. Elle est surtout concentrée dans certaines zones comme Arette, Arudy et Saint-Paul de Fenouillet qui a connu, le 18 février 1996, le plus fort séisme français depuis 40 ans (MS = 5,6).

La faille d'Oléron est source de petits séismes fréquents qui démontrent une activité tectonique dans le sud de la Bretagne, la dernière secousse notable datant de 1972.

Qu'en est-il pour la France des DOM-TOM ?

Outre le risque volcanique, le risque sismique est plus important dans les DOM-TOM qu'en France métropolitaine, d'où la mise en place, depuis une quinzaine d'années, d'un important réseau de stations dans les Antilles et à la Réunion. L'activité sismique des Antilles est la plus importante parmi les DOM-TOM.

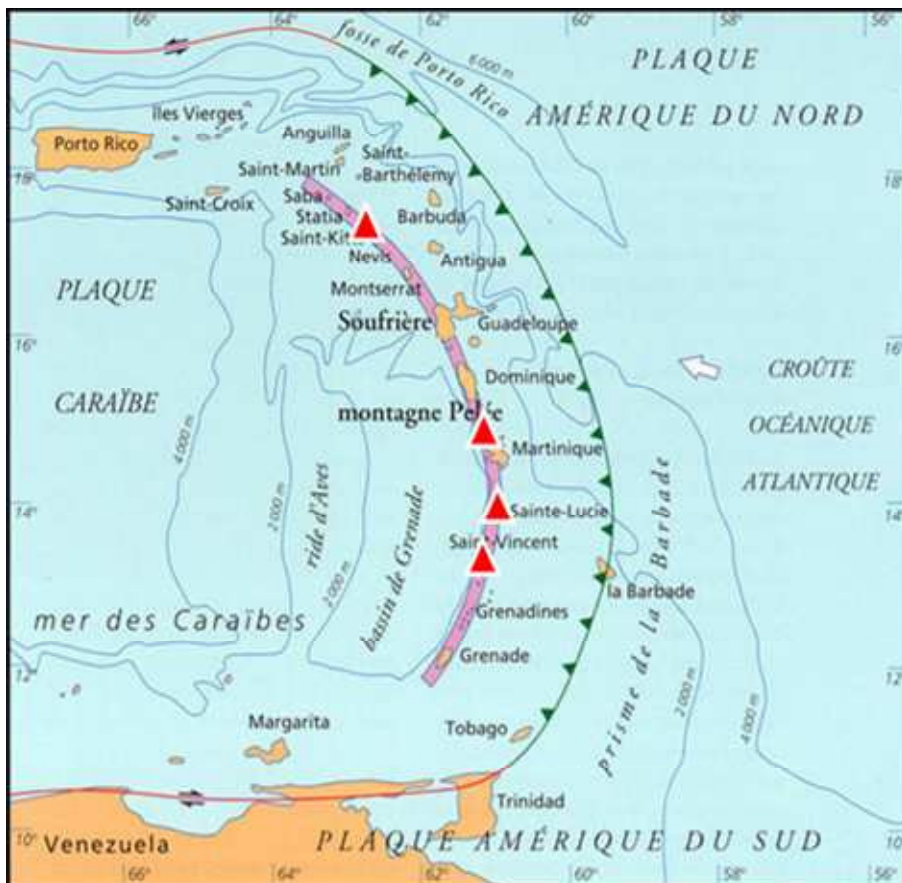
L'archipel des Petites Antilles, formé par la subduction de la plaque nord-américaine sous la plaque des Caraïbes, a connu de nombreuses catastrophes sismiques, en particulier en 1690 au nord-ouest de la Guadeloupe, en 1831 à l'est de la Martinique et surtout le séisme du 8 février 1843 qui détruisit Pointe-à-Pitre et causa la mort de 15 000 personnes. Plus récemment, en 1985, une secousse de magnitude 6 a fortement ébranlé la Guadeloupe et Pointe-à-Pitre. D'après la situation géodynamique et les informations historiques, les risques sismiques restent importants aux Antilles.

Les foyers sont regroupés dans la partie nord de l'arc. Leur profondeur peut atteindre 200 km. Ceux qui se situent entre 100 et 200 km sont répartis dans une zone de 75 km de largeur sous les îles de l'arc. Ces séismes représentent 25 % de la sismicité totale des Antilles. C'est dans la partie centrale de l'arc, entre Dominique et Sainte-Lucie, que l'on observe les plus grandes magnitudes.

La Réunion, quant à elle, subit essentiellement des séismes d'origine volcanique.

Contrairement autres risques majeurs, les séismes sont imprévisibles, sauf très rares exceptions. On connaît les régions sensibles, les enjeux, mais il est impossible de prévoir la date et l'intensité du phénomène, même si on est certain de la survenance dans l'avenir.

Les pouvoirs publics portent donc leur attention sur la détermination des zones à risques et la prévention, tout particulièrement en matière de constructions parasismiques. Les Japonais, qui sont habitués aux effets des tremblements de terre, sont en cette matière des experts en prévention. Des exercices sont pratiqués et les normes de construction sont drastiques.



Carte de l'arc des Antilles, adaptée de Girault et al., 1998.

Le risque minier

Un exemple de catastrophe technologique

À la suite de la fermeture des mines en France, il est apparu des affaissements de sols qui sont la conséquence de l'ennoiement des galeries de mines s'accompagnant d'effondrements.

Ce phénomène est particulièrement sensible en Lorraine et dans certains bassins miniers du Massif Central. Tous les modèles de mines sont affectés : mines de charbon, de fer, de plomb, d'antimoine, etc.

Comme pour les catastrophes naturelles, l'État a mis en place un système identique d'arrêté ministériel pour les catastrophes technologiques qui inclut le risque minier. Le vieillissement des anciennes structures minières va certainement intensifier ce phénomène, d'autant plus que les galeries étaient peu profondes et les villages bâtis au dessus.

On constate soit des affaissements progressifs, avec l'exemple des exploitations par chambres et piliers, soit un effondrement brutal

Pour mémoire, on retiendra les effondrements par rupture d'une voûte de cavité type fontis, de marnière. Ce type d'accidents est très rare et limité en intensité. L'un des plus célèbres est l'effondrement de Clamart.

Conclusions

Ainsi que nous le constatons, le travail du géologue appliqué recouvre un vaste champ d'applications et son action se situe surtout dans le domaine de la prévention des risques majeurs ; il intervient en qualité d'expert en cas de sinistres. Dans l'ensemble des sociétés d'assurance, le nombre de géologues peut se compter sur les doigts de la main, à l'inverse de ce qui se pratique aux USA et au Japon par exemple.

La mise en place par l'État de Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) pour chaque département et de dossier communaux synthétiques pour chaque commune va permettre à tous de mieux connaître les aléas réels auxquels nous risquons d'être soumis. En outre, cela va faire évoluer la perception de la géologie en France.

Pour les travaux de génie civil, lorsque l'on construit ou si l'on acquiert un bien, il faut avoir le réflexe préalable de consulter les documents décrivant les aléas locaux et les servitudes qui s'y rattachent, dans la mesure où ils existent :

- Plan d'occupation des sols (POS).
- Plan local d'urbanisme (PLU), consultable en particulier en mairie.
- Dossier communal synthétique (DCS).
- Dossier d'information communal sur les risques majeurs (Dicrim).
- Plan de prévention des risques naturels prévisibles (PPR).
- Plan d'exposition aux risques (PER).
- Projet d'intérêt général (PIG).

Il ne faut pas hésiter à consulter un géologue géotechnicien en cas de doute pour éviter toute mauvaise surprise à l'avenir.

À titre d'exemple, dans la région parisienne qui nous concerne plus particulièrement, trois aléas sont recensés avec des risques non négligeables du fait des enjeux en cause :

- les inondations,
- les cavités naturelles (fontis) et les carrières,
- le retrait-gonflement des argiles.

Cette géologie appliquée, dont je viens de vous montrer l'importance, est en voie de devenir un acteur incontournable dans le cadre de la sécurité publique.