

# étude d'installations à l'épreuve des cataclysmes

*Tsunami* est un mot japonais composé de deux racines:  
*tsu*, qui signifie port ou rade,  
et *namí*, qui signifie vague.

En traduction, ce terme paraît inoffensif mais pour  
les habitants des rives du Pacifique il peut être synonyme  
de cataclysme.

Dans l'étude des installations nucléaires qui  
doivent être construites sur le littoral,  
il faut tenir compte de l'éventualité d'un tsunami.

Les tsunamis sont des raz-de-marée provoqués par la déformation de l'écorce terrestre au fond de la mer, qui peut notamment être due à un tremblement de terre, à un important glissement de terre sous-marin ou à une explosion volcanique sous-marine ou encore au passage d'un ouragan ou d'un typhon. Au large des côtes du Pacifique, où se produisent 65 pour cent des tsunamis, la hauteur des vagues peut atteindre seulement deux ou trois mètres puis diminue progressivement; mais dans les eaux peu profondes ou dans les entonnoirs constitués par les formations côtières la hauteur de la vague peut augmenter considérablement. La vague qui a atteint en 1933 le village côtier de Shirahama dans la préfecture d'Iwate au Japon, et qui est connue sous le nom de tsunami de Sanriku était haute de 24 mètres au niveau du rivage. Il y eut plus de 3 000 victimes. On a calculé que l'énergie totale de la série de tsunamis provoqués par le tremblement de terre de Sanriku équivalait à  $16 \times 10^{22}$  ergs, soit  $16 \times 10^{15}$  joules. En 1946, un tsunami, dû à un tremblement de terre au large de Nankaido, au Japon, emporta 1 451 maisons et fit 1 330 victimes. Un tsunami dû au tremblement de terre qui s'est produit au Chili en 1960 fit 62 victimes au Japon et causa des dégats considérables.

Les tsunamis constituent un type de risque naturel dont on doit tenir compte dans l'étude des installations nucléaires que l'on veut implanter sur le littoral du Japon et d'autres pays riverains du Pacifique. Un autre péril, qui est la cause de nombreux tsunamis mais qui est lui-même plus fréquent, est le tremblement de terre.

## Objets de l'étude

Les recommandations d'un groupe d'experts de l'Etude et des essais d'installations nucléaires asismiques, réuni par l'AIEA à Tokyo en juin 1967 ont été publiées il y a deux ans dans la Collection Rapports techniques (n° 88). Il est indiqué dans l'introduction de ce rapport que peu d'accidents ont atteint l'industrie nucléaire, grâce aux normes rigoureuses appliquées dans l'étude et l'exploitation des réacteurs; on lit ensuite:

«En raison du développement actuel de l'énergie d'origine nucléaire, le problème de la construction de centrales nucléaires dans des zones de séismes se pose dans de nombreux pays. Dans ces zones, il conviendrait d'éviter les sites susceptibles de comporter une faille sur laquelle un déplacement important pourrait se produire; encore cette précaution ne suffit-elle pas en soi à assurer la sécurité de la centrale étant donné que les forces sismiques peuvent néanmoins provoquer des déplacements sur un site éloigné d'une faille. En outre, les centrales nucléaires sont de plus en plus souvent de grandes constructions lourdes reposant sur un soubassement et il faut donc étudier les caractéristiques et l'intensité des vibrations de ce soubassement au cours d'un tremblement de terre.

«Ces problèmes et d'autres qui s'y rattachent sont maintenant examinés par des spécialistes de l'étude des installations nucléaires. La plupart de ces problèmes sont difficiles à résoudre car la recherche a porté presque toujours sur des constructions ordinaires qui ne doivent pas présenter un degré de sécurité particulier...».

A première vue, ce paragraphe risque de créer une impression fautive. Il est bien vrai que les bâtiments à usage de bureaux, les immeubles d'habitation et autres doivent être construits de manière à résister aux secousses s'ils sont situés dans une zone sismique. Toutefois, les réacteurs nucléaires présentent une particularité qui les distingue de tous les autres bâtiments: ils contiennent des matières hautement radioactives dont on doit empêcher le dégagement dans l'environnement. Tel est l'objet essentiel de l'étude d'installations nucléaires asismiques; accessoirement, cette étude vise également à limiter les risques de dommages à l'installation qui, tout en n'entraînant pas de dégagement de radioactivité n'en auraient pas moins de lourdes conséquences financières.

On mesure l'importance des travaux qui ont déjà été consacrés à cette étude aux critères de construction rigoureux qui ont été fixés dans des pays tels que le Japon, l'Union soviétique et les Etats-Unis où l'on est quelquefois amené à construire des installations nucléaires dans des zones où les tremblements de terre sont fréquents sans pour autant causer de dégâts.

Cette étude peut être facilitée si l'on choisit soigneusement le site. Consciente de ce fait, l'AIEA a organisé à son Siège, à Vienne, en juin 1970, une réunion d'experts venus de sept pays — Chili, Etats-Unis, France, Italie, Japon, Royaume-Uni et Yougoslavie — à laquelle assistaient également des représentants de l'UNESCO, de l'Organisation

mondiale de la santé et de l'Association internationale du génie sismique. La réunion avait pour objet d'étudier les Facteurs sismologiques intervenant dans le choix des sites de réacteurs et d'échanger des renseignements à ce sujet; l'Agence publiera dans quelques mois le résultat des travaux de ce groupe d'étude. Certains principes généraux dont il est déjà tenu compte sont décrits ci-après.

### Principes généraux

On a déjà mentionné les tsunamis qui peuvent envahir les régions côtières du Japon, de l'Alaska, du Canada, de l'Ouest des Etats-Unis, du Chili, du Pérou, etc. L'étendue des dégâts dépend essentiellement de la pente du plateau continental et des caractéristiques du littoral, par exemple de la présence ou de l'absence de baies profondes qui peuvent canaliser et amplifier la vague. On peut alors utilement étudier en détail ces caractéristiques, l'histoire des tsunamis qui se sont déjà produits ainsi que les effets observés, et éventuellement faire des expériences dans un bassin à l'aide de modèles. Il convient de noter que l'on a créé à l'Observatoire d'Honolulu un centre qui avertit de l'arrivée d'un tsunami dans la région du Pacifique. Ce centre collabore étroitement avec l'Office météorologique japonais qui a lui-même mis au point son propre système pour analyser les tremblements de terre et d'autres données s'y rapportant et pour avertir suffisamment à temps de l'arrivée d'un tsunami de manière à permettre de prendre des mesures d'urgence.

C'est seulement dans un nombre relativement restreint de pays que l'étude des constructions doit tenir compte de ces vagues destructrices. En revanche, le problème du choix et de l'évaluation des sites envisagés dans des zones de séismes intéresse un bien plus grand nombre. L'étude d'une installation nucléaire repose sur le principe selon lequel toutes les structures et le matériel qui sont nécessaires pour provoquer l'arrêt du réacteur et pour assurer la sécurité du personnel de la centrale et du public en général doivent pouvoir résister à ce que l'on appelle «le séisme théorique du site», c'est-à-dire le tremblement de terre le plus violent qui pourrait se produire dans le secteur. Au Japon, on a constaté qu'il se produit environ tous les trois ans un tremblement de terre suffisamment fort pour endommager sérieusement les bâtiments qui n'ont pas été construits de manière spéciale; dans d'autres pays, il se peut que l'on n'ait jamais enregistré de tremblement de terre de cette intensité. Ainsi, les critères dont il faut tenir compte dans l'étude des constructions peuvent varier d'une région à une autre tout en assurant le même degré de sécurité.

Dans certains pays, on a établi des cartes indiquant les zones de séismes, c'est-à-dire les régions dans lesquelles il est plus ou moins probable que des secousses puissent se produire. En Union soviétique, une carte des zones de séismes couvrant tout le territoire du pays figure dans le code de la construction et dans les règlements de construction applicables dans des régions particulières sujettes à des tremblements de terre. Cette carte a été établie d'après une étude tenant compte de l'interaction des sols de différents types et des fondations des bâtiments, des enquêtes techniques sur les effets des tremblements de terre, ainsi que d'observations faites à l'aide d'instruments. Sur la base de ces travaux, on a établi des instructions tendant au rassemblement de données sur les «micro-zones de séismes», c'est-à-dire les zones situées dans les régions prédisposées aux tremblements de terre dans lesquelles il faut

procéder à des études particulières pour vérifier la sécurité du site. La Commission de l'énergie atomique des Etats-Unis a établi des critères provisoires régissant la construction des centrales nucléaires, qui définissent les études nécessaires pour obtenir les données géologiques et sismologiques indispensables pour déterminer si le site est utilisable, et permettant de s'assurer dans la mesure du possible, que l'on peut construire et exploiter une centrale nucléaire sur un site proposé sans risques excessifs. Là encore les travaux effectués au Japon sont intéressants. Diverses études ont été faites sur les effets des tremblements de terre, leur intensité et leur fréquence au cours d'une période couvrant environ 1 000 ans. Dans une ville, on disposait d'archives remontant à l'an 818 de notre ère. Il est relativement facile d'établir des cartes des zones de séismes de ce pays et l'on peut, au moyen de statistiques, savoir à peu près à quel moment se produiront des tremblements de terre violents encore que l'on ne puisse prévoir avec une certaine précision les tremblements de terre survenant en un point déterminé.

### Du général au particulier

Si l'étude généralisée des zones de séismes donne des renseignements précieux, elle peut fort bien n'être pratiquement d'aucune utilité pour l'évaluation d'un site donné. Les risques de mouvements de terrain aux conséquences néfastes peuvent être dus à l'existence de formations rocheuses ou d'un sous-sol qui se trouvent uniquement à cet endroit et ne sont pas caractéristiques de la région dans son ensemble. D'après le premier rapport du groupe d'étude «il semble que la 'mollesse' ou la 'dureté' du sol a presque toujours une certaine influence sur les phases prédominantes des mouvements de terrain et que l'amplitude du déplacement peut varier selon la nature du sol». Le mouvement des roches sous-jacentes peut être atténué ou amplifié par des facteurs tels que l'importance du tremblement de terre, la distance qui sépare le site de la faille à l'origine du mouvement et la nature du sol; en fait, on a constaté qu'un même site peut amplifier le mouvement de terrain au cours d'un tremblement de terre et l'atténuer au cours d'un autre.

Il faut sans aucun doute déterminer quelles sont les zones avoisinantes qui comportent des failles et évaluer la probabilité que des failles secondaires se formeront. Dans certaines régions, le danger peut être réel bien que tel ne soit pas le cas dans toutes les zones de failles ni même dans toutes les zones fréquemment secouées par des tremblements de terre. Selon le rapport déjà cité «on dispose pour l'instant de si peu de données sur ce phénomène [de la formation des failles secondaires] qu'il n'en est que plus urgent d'en poursuivre l'étude, notamment en intensifiant la recherche et le rassemblement de données sur la formation de failles auxiliaires au cours de tous les tremblements de terre d'envergure qui se produiront dans le monde».

La plupart des tremblements de terre qui ont lieu aux Etats-Unis se produisent le long du littoral occidental dans une région qui subit fortement l'influence du système de faille de San Andreas, lequel a près de 1 000 km de long et passe à moins d'une douzaine de kilomètres de San Francisco et à environ 45 km de Los Angeles. Les caractéristiques de ce système sont bien connues et il fait l'objet d'une étude permanente et approfondie. Au cours du grand tremblement de terre de San Francisco, en 1906, la faille de San Andreas a glissé de 6 mètres au cours d'un soulèvement catastrophique. Actuellement, le

terrain se trouvant sur le côté oriental du système se déplace lentement vers le sud-est alors que sur le côté occidental — côté du Pacifique — il se déplace vers le nord-ouest. Le déplacement moyen est d'environ 5 cm par an. Ce qui est inquiétant — comme la presse l'a récemment indiqué — c'est que seul le tiers central de la faille se déplace: le tiers septentrional, près de San Francisco, n'a pas bougé depuis le mouvement catastrophique de 1906 et le tiers méridional, près de Los Angeles, n'a pas bougé depuis le violent tremblement de terre de 1857.

#### Assurance contre le risque

Il est évident que les failles ne se déplacent pas toujours de manière spectaculaire, mais les responsables du choix des sites de réacteurs doivent tenir compte de cette possibilité. Le rapport entre le déplacement de la faille et la localisation des dégâts dus aux tremblements de terre est loin d'être simple. L'Association japonaise des entreprises électriques a indiqué dans un document présenté au groupe d'étude réuni en juin que «dans certains cas on a constaté qu'une maison bâtie juste au-dessus d'une faille n'est pratiquement pas endommagée».

Dans l'étude de l'installation, il faut également tenir le plus grand compte de la géologie et de la topographie locales afin d'évaluer la possibilité d'un glissement ou d'un affaissement du terrain. Il se pourrait qu'une partie du site du réacteur se tasse sous l'effet d'une violente secousse sismique, alors que d'autres parties du site ne seraient pas atteintes. On ne construira pas le bâtiment principal d'une centrale nucléaire sur des sols qui sont de nature à se «liquéfier» au cours d'un tremblement de terre, tels que les sables meubles saturés, mais il pourrait en être autrement en ce qui concerne les bâtiments auxiliaires. Dans un cas comme dans l'autre, même si le réacteur n'était pas endommagé, des services importants pourraient être interrompus. Les centrales nucléaires sont généralement implantées à proximité d'une grande masse d'eau — rivière, lac ou mer. Il est évident qu'il faudra éviter de construire une installation là où un glissement de terrain pourrait soit envahir le site lui-même, soit priver l'installation d'eau de refroidissement en créant un barrage ou provoquer une inondation.

Les conditions propres à un site donné ne peuvent se retrouver dans aucune autre partie du monde. Néanmoins, les résultats de l'étude indispensable du type de sol et de roche, la manière dont les fondations et les structures agissent sur le terrain au cours d'une secousse sismique, les mécanismes de la formation des failles, etc. peuvent être applicables dans de nombreux pays. En particulier, des principes généraux relatifs au choix des sites des réacteurs, acceptables dans le monde entier, comme ceux qui ont été définis par le groupe d'étude réuni par l'AIEA en juin, devraient contribuer à assurer que l'utilisation croissante de l'énergie d'origine nucléaire ne s'accompagne pas de risques inacceptables.