

Aléa et risque sismique en Haïti

Claude Prépétit, ingénieur, Conseiller Technique au Bureau des Mines et de l'Energie (BME)

Préambule

L'Aléa sismique est un risque d'incidents défavorables ou d'inconvénients liés à la sismicité. Celle-ci est elle-même liée à la localisation et à la fréquence des tremblements de terre qui sont en rapport avec les grandes lignes de fractures de l'écorce terrestre provoquées par les mouvements des plaques tectoniques. Dans cet article nous allons expliquer l'origine des événements générateurs des séismes (mouvements des plaques ou dérive des continents et failles géologiques) et déterminer le niveau de risque d'Haïti en regard de ces événements.

L'aléa sismique-Définition

D'une manière générale, l'aléa est la manifestation d'un phénomène naturel d'occurrence et d'intensité données. Appliquée à la sismicité, l'analyse de l'aléa étudie l'occurrence des tremblements de terre et les accélérations ou mouvements du sol qui en découlent. Une telle analyse fait appel à deux types d'approches très distinctes mais complémentaires, les approches déterministe et probabiliste¹.

L'approche déterministe permet de répondre à la première question formulée dans notre introduction, elle permet de faire des études de scénario basées sur les données existantes. La sismicité historique joue par conséquent un rôle très important.

Les deux approches sont utilisées ensemble pour évaluer l'aléa sismique d'une région ou pour établir une carte d'aléa. Une telle connaissance est nécessaire et utile car, si dans un pays donné, il y a eu des séismes dans le passé, il est sûr et certain qu'il y en aura dans le futur. Il s'agit là d'un fait scientifique qui induit automatiquement des interrogations du genre : de tels phénomènes seront de quelle taille, se produiront où, quand ? Quels seront les effets primaires (quel type de rupture en surface ?, comment seront les mouvements du sol et pour quels types d'ondes, etc.). Quels

seront les éventuels effets secondaires (tsunami, glissements de terrain, liquéfaction de sols, etc.) ? Pour évaluer l'aléa sismique d'un pays, on se base généralement sur les facteurs suivants :

- la connaissance du séisme (lieu, magnitude, intensité, etc.). Elle permet de calculer les ondes émises ;
- la connaissance du type de sol et de sous-sol. Elle permet de calculer les atténuations et amplifications, donc les mouvements du sol ou accélérations correspondantes ;
- la connaissance de ces deux facteurs permet de paramétrer une structure en conséquence ;
- la connaissance de la période de retour de ce type de séisme, permet finalement d'ajuster pour cette structure une période de vie utile déterminée.

L'aléa pour une région donnée est donc la combinaison du potentiel sismique (où ?, quelle taille ? quand ?) et de la propagation des ondes sismiques ou accélérations.

Traduit en équation mathématique, on dit aussi : aléa = modèle de source + modèle de mouvement du sol + effets secondaires des séismes.

Le risque sismique-Définition

Le risque, d'une manière générale, est la conséquence d'un aléa d'origine naturelle ou humaine dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes et occasionner des dégâts importants. Le passage de l'aléa au risque suppose la prise en compte des enjeux soumis à l'aléa, c'est-à-dire l'ensemble des personnes et des biens susceptibles d'être affectés par un phénomène.

Le risque sismique est par conséquent l'impact de l'aléa sismique sur l'activité humaine en général. Les forts séismes peuvent causer trois types de préjudices : humains, matériels ou économiques et environnementaux.

L'aléa sismique en Haïti-Origine

Tenant compte de la définition de ces facteurs de risques, posons-nous trois questions fondamentales relatives à la sismicité en Haïti :

1. Quelles seraient les accélérations du sol attendues, par exemple, à Laboule / Pétion-Ville dans le cas d'un séisme de magnitude 7 sur la faille Pétion-Ville / Tiburon ?
2. Quelles sont les chances de dépasser une accélération du sol de 2ms^{-2} dans le grand nord au cours des cinquante prochaines années ?
3. Quel serait l'impact d'un séisme de magnitude 7 sur la vie et les biens de la population de la région métropolitaine de Port-au-Prince et dont l'épicentre serait situé sur la faille Pétion-Ville / Tiburon à hauteur du Morne l'Hôpital ?

Les deux premières questions ont rapport avec l'aléa sismique et la troisième interpelle notre conscience en posant le problème du risque sismique. Il s'agit là de notions très différentes. Dans la suite de cet article, nous allons faire le point sur ces différents concepts et dégager l'impérieuse nécessité et l'extrême importance de leur connaissance et de leur vulgarisation auprès de la population en général et des structures étatiques en particulier, tant pour la préservation des vies et des biens que pour une prise en compte réaliste dans le cadre d'un plan d'aménagement du territoire.

L'île d'Haïti a enregistré dans le passé beaucoup de séismes dont certains auraient atteints la magnitude 7 à l'échelle de Richter qui en compte 9. L'historien de Saint-Domingue, Moreau de Saint Méry, a laissé une abondante littérature relatant les calamités de la population coloniale de l'époque face aux tremblements de terre parfois meurtriers. Il n'arrivait pas toutefois à comprendre à l'époque (1797) les raisons pour lesquelles l'île subissait autant de secousses telluriques dont la

majorité est très sévère. Au regard des avancées scientifiques réalisées en matière de sismologie et particulièrement de tectonique, il est tout à fait possible aujourd'hui de justifier les mouvements du sous-sol que subissaient autrefois et que subiront encore les différentes îles de la Caraïbe en général et de l'île d'Haïti en particulier. En effet, la tectonique des plaquesⁱⁱ (note de fin de page) une théorie qui est entrée dans l'enseignement géologique dans les années 60 permet désormais d'expliquer l'origine de ces mouvements. La tectonique des plaques est une hypothèse selon laquelle la croûte terrestre est divisée en un certain nombre de plaques qui se déplacent, entrent en collision et se séparent au cours des temps géologiques. Les limites de ces plaques sont des zones d'activités tectoniques où les éruptions volcaniques et les séismes sont fréquents..

En effet, la tectonique des plaques est une théorie fondée sur l'observation de la fragmentation de la lithosphère (la croûte terrestre et une partie du manteau) en approximativement une demi-douzaine de grandes plaques et autant de micro plaques semi-rigides. Celles-ci se déplacent à des vitesses très lentes variant de 1 à 10 cm par an et leurs limites sont des zones d'activité tectonique où les éruptions volcaniques et les séismes sont fréquents.

La théorie de la tectonique des plaques est entrée dans la pensée géologique dans les années 60 et 70. Bien que les bases de cette théorie aient été établies dès le XVII^{ème} siècle, il a fallu attendre l'année 1910 pour que l'allemand Alfred Wegener émette l'idée de la dérive des continents. Aujourd'hui, l'existence de plans de subduction, constituant un des trois types de frontières entre les plaques tectoniques, a été mise en évidence tout autour du Pacifique, en mer Egée, dans les Antilles, en Amérique centrale, etc. Ces zones de subduction correspondent à la convergence entre deux plaques et au plongement de l'une sous l'autre, elles se caractérisent par un volcanisme très explosif et par une sismicité interne.

Les mouvements tectoniques des plaques rocheuses constituant la croûte terrestre conduisent assez souvent à des fractures appelées failles. Lorsque les couches

rocheuses situées de part et d'autre de la faille bougent l'une par rapport à l'autre, il se produit, soit un mouvement horizontal appelé décrochement, soit un mouvement vertical accompagné d'un rejet dont l'escarpement peut atteindre plusieurs milliers de mètres. Un déplacement brutal le long d'une faille peut aussi entraîner un séisme.

Pour répondre donc à l'interrogation de Saint Méry, 90 % des séismes, à travers le monde, sont d'origine tectonique et l'île d'Haïti n'échappe pas à ces mouvements de plaques et de failles qui provoquent en profondeur des ondes de choc qui se répercutent en surface.

Situation tectonique de l'île

L'île d'Haïti est située à la frontière des plaques tectoniques Amérique du nord et Caraïbes. Ces plaques se déplacent l'une par rapport à l'autre à une vitesse d'environ 2 cm par an. Ces déplacements s'accommodent par des mouvements sismiques sur des failles actives identifiées dans deux principales zones en Haïti :

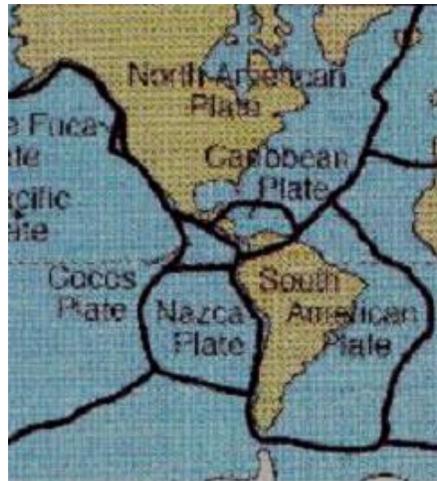


Fig. 1 Position de la plaque caraïbe par rapport aux plaques américaines nord et sud

- en mer, le long de la côte nord ; cette faille de direction est-ouest se prolonge à terre dans la vallée du Cibao en République Dominicaine. Son dynamisme est responsable en grande partie des secousses ressenties dans le nord ;
- à terre, au travers de la presqu'île du sud ; c'est une faille de décrochement de

près de 250 km de long allant de Tiburon à Pétion-Ville, se prolongeant en République Dominicaine dans la vallée d'Enriquillo. Cette faille sismiquement active est responsable de l'escarpement topographique sur lequel est bâtie une partie de la capitale et est la principale cause des secousses enregistrées dans le passé tant au niveau de la presqu'île du sud qu'au niveau de la région métropolitaine de Port-au-Prince.



Fig. 2 La faille de la côte nord d'Haïti

Ces deux failles actives seraient donc à l'origine de séismes historiques majeurs dans l'île dont les plus importants (1751 et 1770) ont été décrits par Moreau de Saint Méry. Ces failles résistent d'abord au mouvement des plaques en accumulant de l'énergie élastique pendant plusieurs dizaines ou centaines d'années avant de la relâcher brusquement lors des séismes. Les périodes au cours desquelles on n'enregistre pas de secousses en Haïti ne signifient nullement que l'activité sismique a cessé. Immédiatement après une quelconque libération d'énergie qui aurait occasionné des secousses telluriques, on enregistre à nouveau une concentration d'énergie entre les deux compartiments de la faille et un nouveau cycle sismique débute. On appelle cycle sismique cette succession de période d'accalmie, relativement longue, correspondant à l'accumulation d'énergie dans le sol, et de période d'activité, relativement courte, correspondant à une brusque rupture sismique et au relâchement des contraintes tectoniques. Plusieurs générations d'hommes et de femmes arrivent ainsi à ignorer les activités sismiques survenues dans le passé. En nous basant sur les données de la sismicité historique disponibles en Haïti, nous constatons que chaque siècle passé est marqué par au moins un séisme majeur dans l'île et que plus le temps passe entre les périodes d'activité et

d'accalmie, plus les risques d'un grand séisme destructeur s'accroissent. La grande question qu'on se permet de poser est la suivante : sommes-nous aujourd'hui dans la période où l'énergie qui s'est accumulée depuis fort longtemps dans le sol risque de se relâcher avec toutes les conséquences qu'une telle activité sismique pourrait entraîner dans un pays aussi vulnérable qu'Haïti ?

Malheureusement la prédiction est encore impossible en sismologie, mais la prévision, basée sur l'évaluation de l'aléa est tout à fait utile et possible. Si notre pays dispose de quelques données sur la sismicité historique, nous sommes encore loin de la maîtrise de notre aléa car son évaluation est pratiquement superficielle et incomplète. Un bref bilan des connaissances actuelles sur l'aléa sismique en Haïti permet de faire le distinguo entre ce qui est connu et ce qui ne l'est pas.

Ce qui est connu :

- la vitesse relative des plaques

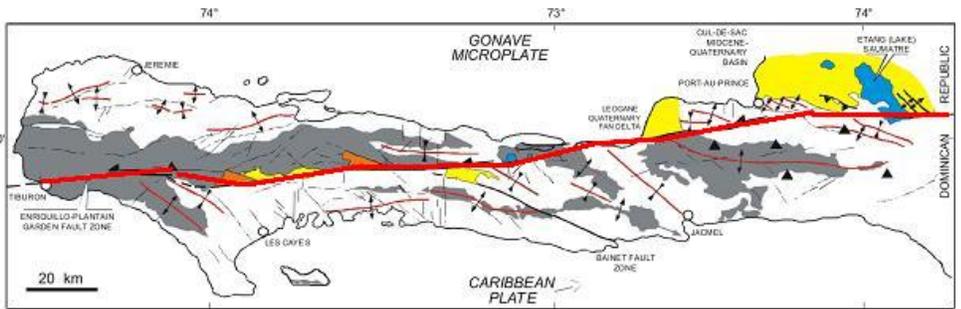


Fig. 3 Le décrochement senestre haïtien, la faille Pétiou-Ville / Tiburon

- les principales failles sismogènes (capables de générer des séismes) sont localisées le long de la presqu'île du sud et de la marge nord d'Haïti.

Ce qui est inconnu :

- la distribution spatiale et temporelle de la sismicité actuelle ;
- l'historique des séismes sur 10.000 ans ou plus ;
- la vitesse de glissement sur les principales failles sismogènes ;
- la cartographie détaillée des failles actives ;
- la distribution spatiale de l'accu-

quasi nulle. Il importe donc de prendre des mesures urgentes pour évaluer l'aléa sismique en Haïti, à savoir :

- réaliser une carte de la géologie du Quaternaire ;
 - identifier en détail et cartographier numériquement les failles actives ;
 - réaliser une carte des sols tout en indiquant leur potentiel de liquéfaction ;
 - mesurer les vitesses de glissement sur les failles actives par géodésie GPS ;
 - réaliser une étude paléosismologique sur les failles actives ;
 - installer des stations sismologiques dans les principales villes d'Haïti afin d'établir un réseau de surveillance à l'échelle nationale ;
 - installer ensuite des stations accélérographiques à intégrer avec le réseau sismologique ;
 - établir des catalogues de sismicité historique et instrumentale ;
 - former des universitaires haïtiens dans les domaines suivants : sismologie, géodésie spatiale GPS, néotectonique et génie parasismique ;
 - identifier l'organisme officiellement en charge de la surveillance sismique pour le pays, définir ses attributions et le doter de moyens humains et financiers nécessaires pour l'accomplissement de ses actions.
- L'acquisition de ces données scientifiques de base sur les failles et les séismes permettront à terme une meilleure évaluation du risque sismique.

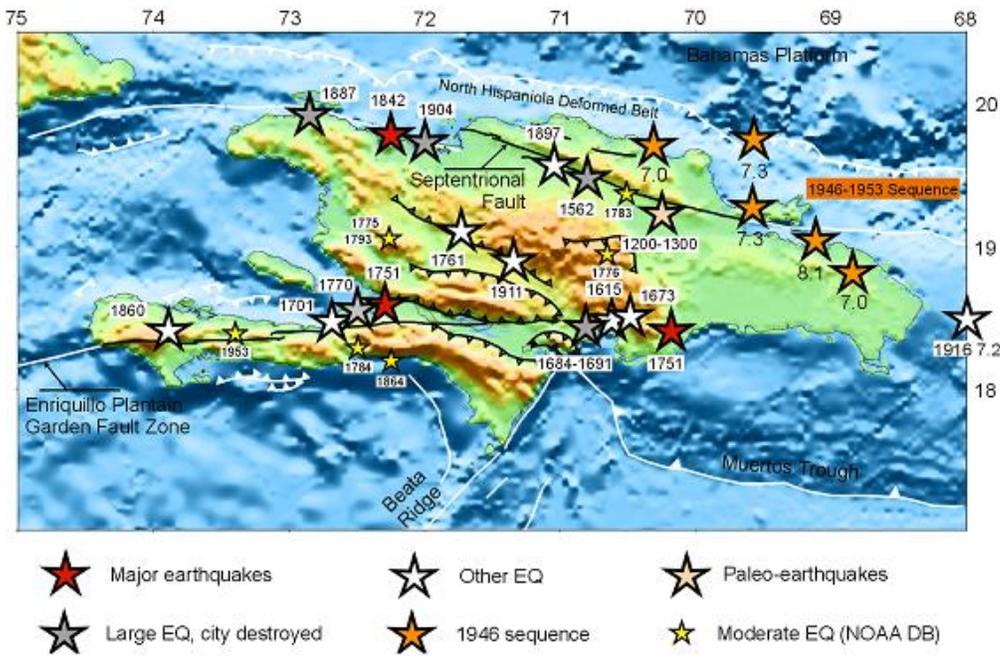


Fig. 4 Sismicité historique le long des failles actives d'Haïti

Caraïbes / Amérique du nord ;

- la sismicité historique indique qu'il existe des failles en Haïti capables de générer des séismes de magnitude 7.5 à l'échelle ouverte de Richter graduée de 0 à 9 ;

mulation de déformation élastique ;

- l'interaction des failles.

Nous devons être convaincus que notre connaissance des séismes et du comportement des failles actives est

Le risque sismique en Haïti

Les quelques données disponibles sur la sismicité en Haïti indiquent que ce pays est susceptible d'être affecté, à l'échelle de quelques dizaines d'années ou moins, par des séismes de magnitude 7 à 8.

Un séisme d'une telle magnitude est possible sur la faille qui traverse Port-au-Prince ou sur la faille qui longe la côte nord. Il en résulterait probablement des pertes humaines se comptant par milliers et une perte économique majeure pour le pays tant au niveau du bâti que celui des infrastructures routières, électriques, hydrauliques, etc. Cette menace sismique sera exacerbée par les effets secondaires qu'auraient probablement engendré les secousses : liquéfaction du sol dans les régions à sous-sol sableux saturé en eau (bas quartiers de Port-au-Prince par exemple), glissements de terrain sur les pentes des montagnes (régions de Kenscoff, Pétion-Ville, Bourdon, Morne l'Hôpital, Morne Lory au Cap-Haïtien, Vertières, etc), et raz-de-marée ou tsunami dans les régions côtières (Cités l'Eternel, Liberté, Soleil, Lamentin, Carrefour, Martissant, etc.) Le risque de tsunami (raz-de-marée ou grandes vagues d'origine sismique) est encore très élevé pour les villes du Cap et de Port-de-Paix où les forts séismes des Grandes Antilles ont le plus souvent leur épicerie en mer et sont en relation avec les grandes fosses situées au nord de Porto Rico et d'Haïti.

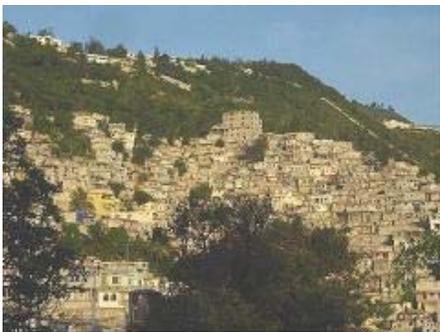


Fig. 5 Occupation anarchique de l'espace à Pétion-Ville

Sur un autre plan, Haïti, en particulier sa capitale Port-au-Prince et ses environs, est particulièrement vulnérable aux séismes à cause d'une concentration importante de population. En effet, la population du Département de l'Ouest, divisé administrativement en 18 communes, est estimée en 2003 par l'Institut Haïtien de Statistiques et d'Informatique (IHSI) à 3.254.014,00 habitants pour une superficie de 4.834,00 km², les quatre communes les plus peuplées sont Port-au-Prince, Pétion-Ville, Delmas et Car-

refour. Celles-ci sont pratiquement traversées par un réseau de failles secondaires parallèles ou perpendiculaires à la faille principale active Pétion-Ville / Tiburon. Ces quatre communes sont habitées par 2.234.173,00 habitants établis sur une superficie évaluée à 417,21 km², soit une densité de 5355 habitants par km² ou encore 28 % de la population totale d'Haïti. De plus, la vulnérabilité d'Haïti se caractérise par un habitat non contrôlé en rapide expansion, des constructions en béton armé ne répondant à aucune règle parasismique, un manque de préparation de la population et des institutions de défense, de protection civile et de santé publique. La vulnérabilité est aussi flagrante dans la deuxième ville du pays où l'aléa sismique et le risque de tsunami sont assez élevés. En effet, le séisme du 7 au 10 mai 1842 de magnitude 6.9 (intensité IX), a eu à provoquer la destruction du Cap avec 5000 tués sur 10.000 habitants. Le palais de Sans Souci et la Citadelle Laferrière ont été endommagés à Milot. Il y a eu un tsunami à Port-au-Prince et 5 mètres d'eau ont été enregistrés à Port-de-Paix. Depuis lors, la population de la ville du Cap-Haïtien est passée de 20.000,00 habitants en 1910 à 111.094,00 habitants en 2003 avec tous les problèmes de bidonvillisation et des perspectives de risque de glissement de terrain à l'entrée de la ville. Quant aux communes du Cap-Haïtien et de Port-de-Paix, leur population est estimée respectivement par l'IHSI en 2003 à 186.251,00 habitants et à 120.267,00 habitants.

Il est important aussi de rappeler qu'à un aléa sismique élevé ne correspond pas forcément un risque sismique élevé si la région est déserte et ne comporte pas de construction, ou encore si l'aléa sismique

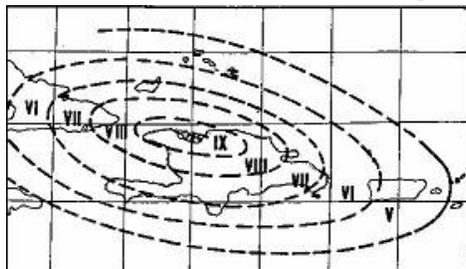


Fig. 6 Carte isoséiste du séisme de mai 1842 dans le nord

est bien maîtrisé et des mesures de prévision et de prévention sont envisagées pour atténuer le risque. En revanche même une zone ayant une sismicité modérée peut être considérée à haut risque dû à sa densité de population, à l'importance du construit et à l'impréparation de la population face aux séismes et des institutions chargées d'intervenir en cas de catastrophes.

Si des mesures urgentes doivent être entreprises pour arriver à une meilleure maîtrise de l'aléa sismique en Haïti, il est tout aussi nécessaire de définir parallèlement une stratégie visant à atténuer le risque sismique. Nous ne pouvons pas empêcher un tremblement de terre de se produire, car c'est un phénomène naturel. Par contre, sur la base des données fournies par l'évaluation de l'aléa, nous pouvons limiter les dégâts, atténuer les impacts en réduisant la vulnérabilité de la population. En conséquence, la prévision et la prévention du risque passent par deux axes stratégiques prioritaires :

1. La prise de conscience et l'éducation du public et des Institutions.
2. L'application de normes parasismiques dans la construction.

Prise de conscience et éducation

Il s'agit là d'une action de prévention fondamentale consistant à faire prendre conscience à la population et aux décideurs haïtiens de la réalité de la menace sismique et des moyens de s'en protéger, car prévenir vaut mieux que guérir. Ceci pourrait se concrétiser par :

- la distribution d'affiches d'explication sur la menace sismique, la conduite à tenir en cas de séismes et de tsunamis et les gestes élémentaires de prévention ;
- l'insertion dans l'annuaire téléphonique d'une page d'explication sur la conduite à tenir en cas de séisme ou de tsunami et les gestes élémentaires de prévention ;
- l'organisation de cycle de séminaire dans les écoles primaires et secondaires à l'échelle nationale, incluant des exercices de simulation ;
- l'organisation de cycle de séminaire auprès des groupements communautaires

et des Institutions publiques (Ministères, PNH, Service des Pompiers, Protection civile, médecins, etc.) ;

- la mise en place d'un plan d'action spécifique et détaillé à l'intention des Institutions de protection civile (plan de contingence) explicitant la conduite à tenir en cas de séisme majeur.

Application de normes parasismiques

Cet axe stratégique de prévention consistera à réaliser une étude de génie parasismique visant à :

- un catalogage des bâtiments, réseaux et lignes vitales, infrastructures majeures dans toutes les villes principales ; ce catalogue doit aboutir à court terme à des décisions de renforcement de certaines de ces structures (par exemple hôpitaux) ;

- un recensement spécifique des infrastructures critiques ;

- la mise en place d'un code de construction parasismique adapté au niveau de développement de notre pays ;

- la mise en place d'un moratoire sur les pratiques de construction sûre (avant d'implémenter un code).

Il est à noter que les règles parasismiques se révèlent inefficaces en cas de non-respect des règles normales de construction. Construire parasismique ne demande pas seulement une simple application des règles et des normes parasismiques en vigueur. Une bonne construction parasismique repose d'abord sur une bonne conception. Une maison bien calculée mais mal conçue (mauvais choix architectural, mauvais emplacement, etc...) ou mal entretenue connaît un plus grand risque de destruction en cas de séisme.

Conclusion

Les évaluations de l'aléa et du risque sismique sont des activités prioritaires dans tous les pays où la menace est jugée réelle. Ces notions liées à la géodynamique sont aujourd'hui en pleine évolution à travers le monde et ceci pour trois raisons majeures :

1. Les populations n'acceptent plus les phénomènes naturels comme une fatalité. Ceux-ci ne sont plus considérés comme un fiat divin.

2. Il y a un besoin constant de sécurité qui s'est fait jour dans toutes les sociétés.

3. Avec le temps, les risques vont croissant en raison de l'explosion démographique, les préjudices humains et matériels deviennent par conséquent plus importants.

L'objectif final est d'assurer la sécurité publique en cas de séisme, c'est-à-dire d'éviter les dégâts structurels importants et les pertes considérables en vies humaines. Les dégâts sont acceptables, mais ils doivent être limités. La prise en compte d'une telle activité nationale exige naturellement un coût. Il s'agit de trouver le meilleur équilibre entre le coût de la surveillance, la probabilité d'occurrence et la réduction de la vulnérabilité. Compte tenu de l'état économique actuel de notre pays et des urgences à satisfaire dans maints domaines, il est tout à fait possible d'envisager un investissement de départ relativement modeste, de l'ordre de \$ U.S 300.000,00 qui permettrait de débiter la mise en place d'un système d'acquisition de données de base sur les séismes en Haïti et de créer une dynamique et une compétence autour de ces techniques d'investigation moderne. Si la maîtrise de l'aléa est une question purement technique, la réduction de la vulnérabilité de la population est plutôt d'ordre politique et nécessite des choix de gouvernance et une ferme volonté d'appliquer et de faire respecter les lois urbanistiques. La prise en compte du risque est donc aussi importante que celle de l'aléa. Un tel sacrifice n'est pas trop grand pour préserver la vie et les biens de 8.000.000,00 d'habitants !

ⁱ / L'approche déterministe permet de répondre à la première question formulée dans notre introduction, elle permet de faire des études de scénario basées sur les données existantes. La sismicité historique joue par conséquent un rôle très important.

L'approche probabiliste fait plutôt intervenir la notion de temps et d'occurrence. Elle permet de répondre à notre deuxième question et nécessite la connaissance de la variation du taux de sismicité sur le territoire.

ⁱⁱ / La tectonique des plaques est une théorie fondée sur l'observation de la fragmentation de la lithosphère (la croûte terrestre et une partie du manteau) en approximativement une demi-douzaine de grandes plaques et autant de micro plaques semi-rigides. Celles-ci se déplacent à des vitesses très lentes variant de 1 à 10 cm par an et leurs limites sont des zones d'activité tectonique où les éruptions volcaniques et les séismes sont fréquents.

La théorie de la tectonique des plaques est entrée dans la pensée géologique dans les années 60 et 70. Bien que les bases de cette théorie aient été établies dès le XVII^{ème} siècle, il a fallu attendre l'année 1910 pour que l'allemand Alfred Wegener émette l'idée de la dérive des continents. Aujourd'hui, l'existence de plans de subduction, constituant un des trois types de frontières entre les plaques tectoniques, a été mise en évidence tout autour du Pacifique, en mer Egée, dans les Antilles, en Amérique centrale, etc. Ces zones de subduction correspondent à la convergence entre deux plaques et au plongement de l'une sous l'autre, elles se caractérisent par un volcanisme très explosif et par une sismicité interne.

Bibliographie

1. Calais E., (2002). L'aléa sismique en Haïti, cadre géographique et temporel.
2. Calais E., (2002). Bases fondamentales de l'analyse de la menace sismique
3. Calais E., (2002). Identification de la menace sismique en Haïti.
4. Prépétit C., (2002). Conditions sismo-tectoniques dans l'île d'Hispaniola. Registres historiques, entourage et conséquences pour la société.
5. Prépétit C., (2004). Les zones à risques géologiques en Haïti.
6. Prim.net (2006). Comment anticiper le séisme pour protéger les siens et ses siens.
7. Sismo des écoles (2006). Aléa et enjeux : le risque sismique.
8. Wikipedia-sismologie.htm. (2006).