Direction Départementale de l'Equipement de la Guadeloupe

Direction Régionale de l'Environnement
GUADELOUPE

Document d'information à l'usage du constructeur - VOLUME 1
Conçu par Mme Patricia BALANDIER

LE SEISME ET LES SITES CONSTRUCTIBLES

Pourquoi un bâtiment « parasismique » sur un terrain ne le sera pas forcément sur un autre terrain.

Figure 1 – *Cet immeuble a été « victime » d'un phénomène induit par les secousses : la liquéfaction du sol. La connaissance de la violence des séismes de cette région, les études de sol et l'application des règles de construction parasismique auraient permis de traiter le problème par des fondations appropriées. Ca s'est passé en Turquie en 1999, ça pourrait se passer en France demain. L'étude des séismes et des sites permet de prévoir et d'éviter ceci.*

POURQUOI ETUDIER LES SEISMES ET LES SITES SISMIQUES?

Les scientifiques évaluent et nous expliquent les différents phénomènes qui surviennent avec le séisme. Les architectes et ingénieurs se forment pour en tenir compte dans leurs projets en zone sismique. Sur le chantier, nous avons l'ultime responsabilité, celle de réaliser correctement les travaux.

Mais d'abord, essayons de comprendre la variété des effets d'un séisme qui peuvent amener la ruine du bâtiment. Il n'y a pas que les secousses et toutes les secousses ne se ressemblent pas !

POURQUOI ETUDIER LES SEISMES ?

Dans l'état actuel des choses, il est question de prévoir et non de prédire.

PREVOIR EN S'APPUYANT SUR LES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES

C'est possible aujourd'hui. Ca ne l'était pas il y a cinquante ans :

- Connaître « à l'avance » la localisation possible des séismes, leur violence et la fréquence approximative des phénomènes.
- Connaître « à l'avance » le comportement du site d'implantation du bâtiment sous l'effet des secousses avec une marge d'incertitude qui décroît rapidement avec l'avancée des connaissances.
- Connaître « à l'avance » quel type de construction éviter sur ce site. Les secousses d'un même séisme peuvent être très différentes d'un site à l'autre : plus ou moins fortes, plus ou moins longues, mais aussi avoir des caractéristiques très variables. La construction doit être appropriée aux types de secousses possibles sur son site d'implantation.
- Etablir des règles de construction et des plans d'urbanisme efficaces à partir de ces connaissances.

PREDIRE ?

Ce n'est pas encore possible aujourd'hui, même si la recherche tente d'y parvenir dans différents pays très concernés par le risque sismique.

C'est à dire qu'on peut assez bien décrire ce qui peut arriver dans une zone sismique, mais pas encore dire quand avec précision. On ne peut pas encore « lancer l'alerte » qui permettrait d'évacuer efficacement les locaux avant les secousses. Même si on le faisait, il faudrait reconstruire. Alors faisons de la prévention : construisons bien.

Ce Fascicule nous donne, sous la forme de 20 « questions – réponses », des explications sur les phénomènes et nous permettra de comprendre que la réglementation s'appuie sur des connaissances objectives.

LES REGLES SONT LA POUR NOUS PROTEGER.

ELLES EVOLUENT AVEC L'AVANCEMENT DES CONNAISSANCES.

COMPRENONS-LES. RESPECTONS-LES.

1. Comment évaluer le séisme « à la source » ?

Les secousses du séisme sont provoquées par la **rupture de la roche dans le sous-sol,** sur des distances qui peuvent aller de quelques centaines de mètres (à peine ressenti si on est très proche) à des centaines de kilomètres d'un coup (grandes catastrophes en présence de mauvaises constructions). Ces ruptures peuvent être très superficielles et se voir en surface, ou profondes de dizaines, voire de centaines de kilomètres. Leur localisation aura une large influence sur leurs effets en surface qui seront très variables d'un séisme à l'autre.

Le but de la sismologie est de « décrire » les séismes possibles dans une région et leurs effets avant leur arrivée, afin de s'en protéger au mieux.

La **Magnitude** **représente la quantité totale d'énergie libérée** par le séisme : la violence du séisme à la source. Là où la croûte terrestre a rompu. Sur une **faille**. Plus la dimension de la rupture est grande, plus la Magnitude est élevée.
On nomme **foyer** le point de la faille où commence la rupture, alors que l'**épicentre** désigne le point de la surface terrestre à la verticale du foyer.

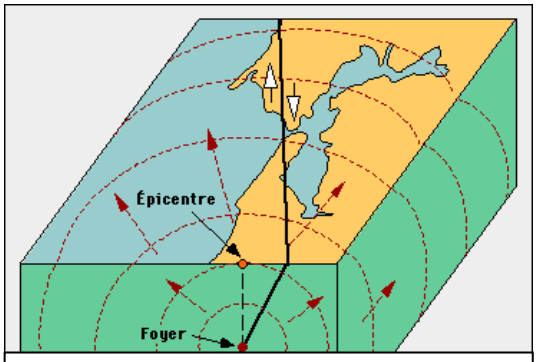


Figure 2 - Axonométrie schématique d'une source sismique (Document Université de Laval –Québec)

QUAND ON PASSE D 'UN DEGRE DE MAGNITUDE A L 'AUTRE, ON MULTIPLIE L 'ENERGIE PAR 33, SOIT PAR 1000 POUR 2 DEGRES

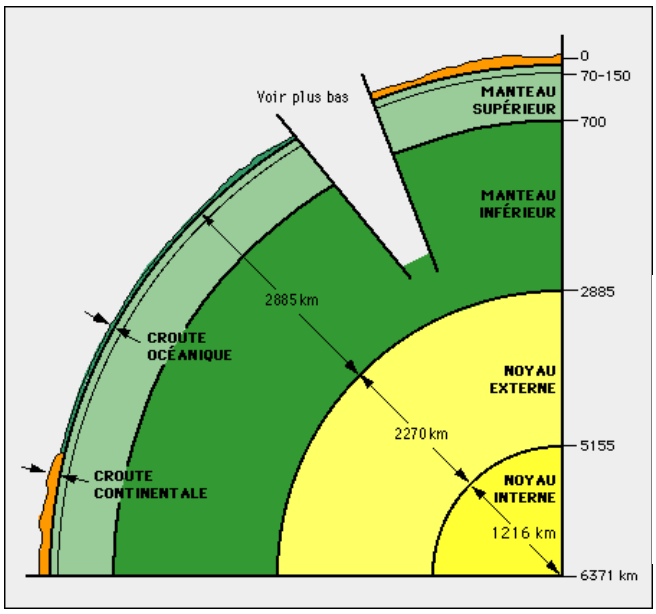
Les grands séismes dissipent autant d'énergie qu'une bombe atomique. Heureusement la plupart de l'énergie est dissipée sous forme de chaleur… Mais la violence des secousses reste suffisante pour détruire les mauvaises constructions… et parfois bouleverser les terrains qui les supportent.

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de la magnitude d'un séisme.

Richter a été le précurseur. On utilise aujourd'hui des méthodes plus précises, même si la presse continue à utiliser le terme d'échelle « de Richter ». Les séismes destructeurs ont des magnitudes généralement supérieures à 5.5 (Magnitude suffisante pour détruire si la source est proche des constructions et superficielle). Magnitude maximum connue ≈ 9.

Chaque faille « sismogène » a un cycle sismique qui lui est propre et qui dépend de son mécanisme, de la vitesse de progression des contraintes, de la nature des roches et de ses dimensions.
Le cycle de retour des séismes de différentes magnitudes obéit à des lois physiques. L'identification de ces lois fait partie des outils de la prévention.

2. Pourquoi des séismes ? Et où ?



LA PLANETE EST VIVANTE.
ON LE VOIT A LA SURFACE, MAIS ELLE VIT AUSSI SOUS NOS PIEDS.

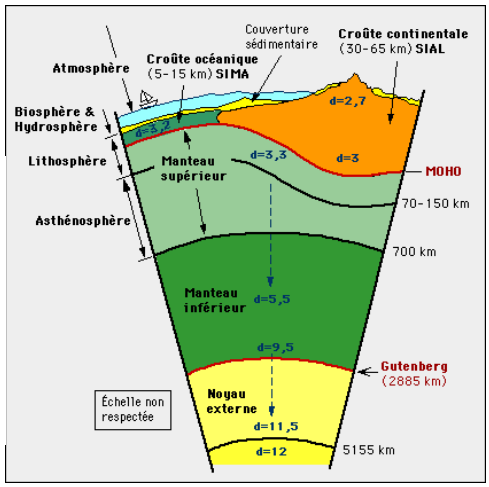


Figure 3 - *Coupes schématiques sur le globe terrestre (documents Université de Laval, Québec)*

A l'échelle de la planète l'écorce rigide (**lithosphère**) est comme une coquille d'œuf à la surface d'une grande épaisseur de **magma** visqueux dans le **manteau supérieur**.
Le **noyau**, au centre de la planète est extrêmement chaud (plus de 4000°C !). Sous l'effet de cette chaleur le magma est agité de mouvements lents comme un fluide dans une casserole sur le feu. Il provoque des poussées sous la croûte qui se déforme. On le voit parfois sortir des volcans. La croûte est divisée en « **plaques tectoniques** », les continents et les fonds marins, qui se déplacent très lentement les unes par rapport aux autres sous l'effet des mouvements du magma. Quelques centimètres par an… qui sont accumulés pendant des années : la roche se déforme lentement et… un jour…

Ce sont ces poussées du magma sous les plaques qui font « craquer la planète » lorsque la roche arrive au point de rupture: les séismes.

Aussi, les séismes n'ont pas une répartition aléatoire à la surface de la planète, mais sont localisés pour leur immense majorité sur les frontières des plaques, là où les contraintes sont les plus élevées. Ce sont ces zones qu'il faut étudier et surveiller plus particulièrement, car c'est là que le risque est le plus élevé.

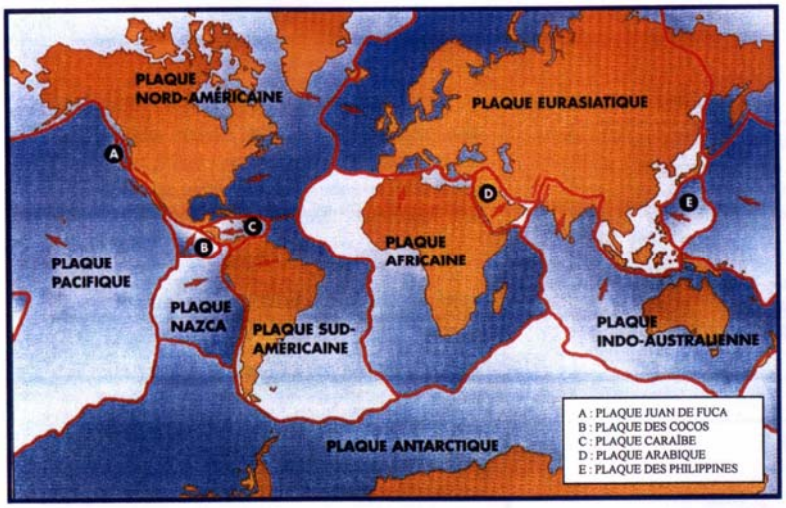


Figure 4 - Répartition des plaques tectoniques à la surface du globe et localisation des frontières entre plaques, (Document X)

3. Tous les séismes se ressemblent-ils ?

Les sources sismiques ont des mécanismes et des magnitudes maximum possibles très variables. **Il convient de les étudier avec précision pour savoir contre quoi on se protège. Trop se protéger est inutile et coûte cher. Trop peu se protéger coûte des vies humaines et des pertes économiques inacceptables, puisqu'on sait faire !**

Exemples :

EXEMPLE DE DEFINITION DES SEISMES POSSIBLES SUR UNE REGION:
LA ZONE DE « SUBDUCTION » DE L'ATLANTIQUE SOUS LA CARAÏBE

Une partie océanique de la **plaque Amérique** (qui se déplace d'Est en Ouest) passe sous la **plaque Caraïbes** (qui se déplace d'Ouest en Est) et va fondre dans le magma. Ce qui provoque des séismes sur le plan de friction entre les deux plaques (plan de « subduction »), mais aussi dans les plaques elles-mêmes qui subissent des déformations dues aux poussées opposées.

Localiser et bien distinguer ces différents « domaines » sources de séismes et leur associer des magnitudes possibles et des cycles de retour pour ces séismes possibles permet d'adopter une politique de prévention adaptée à la réalité.

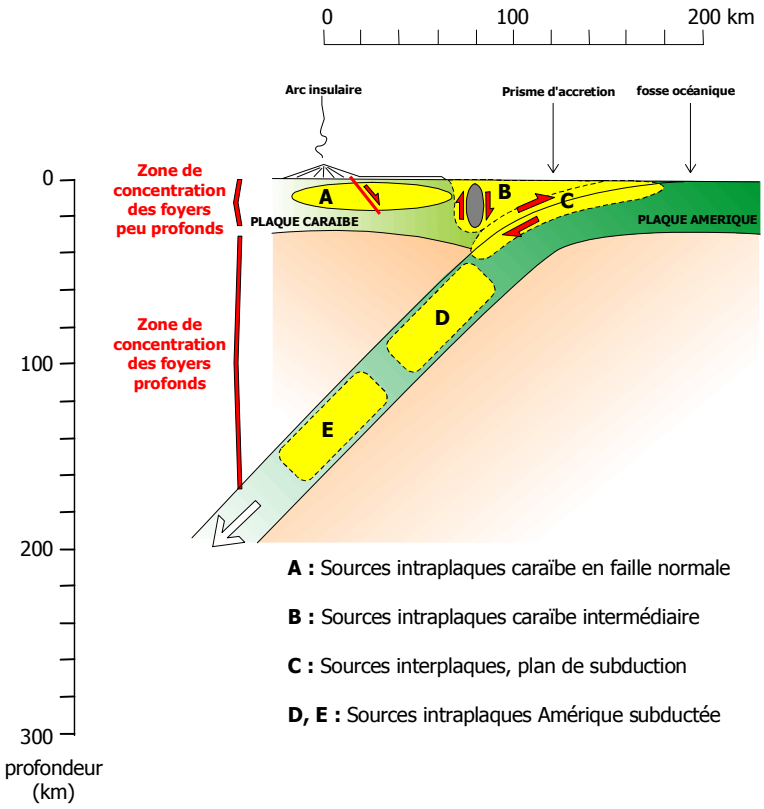


Figure 5 - Coupe sur la subduction Antillaise (Documents Géo-Ter)

Cette coupe schématique représente les différents domaines sismogènes associés à la subduction.

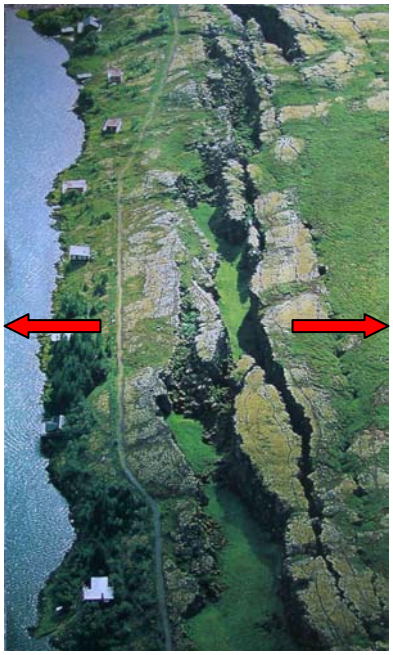
***En C, le plan de subduction** lui-même, où sont attendues les magnitudes les plus élevées, possiblement proches de 8 (longueurs de ruptures possibles de plus de 100 km). Ces séismes se produisent en mer, à quelques dizaines de km des terres habitées ce qui en atténue un peu les effets. Les sismologues évaluent la nature de cette atténuation.*

***En A et B les séismes générés par les contraintes en bordure de la plaque Caraïbe**, de magnitudes possibles moins élevées, inférieures ou égales à 6 (dimensions des failles de quelques km), mais pouvant être (zone A) très proches des constructions et finalement aussi violents sur les terres émergées... mais ne produisant pas la même « nature de secousses ». Les sismologues décrivent ces différences pour que les architectes et ingénieurs en tiennent compte dans leurs projets.*

***En D et E, les séismes profonds** dus aux ruptures de la plaque dans le magma sous son propre poids. Les secousses de ces séismes sont très amorties lorsqu'elles arrivent à la surface et ne présentent pas de grand danger pour les constructions.*

AUTRES EXEMPLES DE FRONTIERES ENTRE PLAQUES DANS LE MONDE

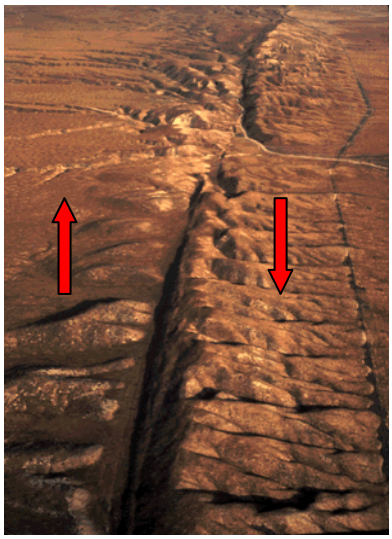
Dans tous les cas, les sismologues étudient le cycle des failles et décrivent les secousses possibles pour aider les constructeurs à réaliser des bâtiments qui « répondent » bien aux séismes.



« L'expansion »

Dans ce cas, **les plaques d'éloignent l'une de l'autre**. Au début le phénomène commence sur un continent qui se sépare en deux. On appelle le fossé qui se crée « un rift ». « Un jour » l'eau de mer s'engouffre dans le rift et si l'expansion continue on a un océan comme l'Atlantique. Il y a fort longtemps l'Afrique et l'Europe d'une part, et l'Amérique d'autre part ne formaient qu'un seul continent. D'où la coïncidence des formes côtières entre l'Afrique de l'Ouest et l'Est de l'Amérique du Sud.

Figure 6 - Faille de Pingvellir en Islande (Document Yann Arthus-Bertrand)
La zone où se produit l'expansion de l'océan est en général située au fond de l'eau et s'appelle une dorsale. En Islande, la dorsale Atlantique est émergée. On peut voir des failles qui travaillent en expansion comme celle-ci.



« Le décrochement »

Dans ce cas, **les plaques (ou les parties d'une même plaque) coulissent l'une par rapport à l'autre**. Soit qu'elles se déplacent dans la même direction, mais pas à la même vitesse, soit qu'elles se déplacent dans des directions opposées.

Figure 7 - Faille de San Andréa en Californie (Document USGS)
La terre coulisse de part et d'autre de cette célèbre faille. La partie située à droite sur le cliché se rapproche de nous et la partie située à gauche s'éloigne. Elle est très étudiée car elle concerne des millions d'habitants. Au rythme actuel du déplacement (~ 5,5 cm/an), la ville de Los Angeles sera au droit de San Francisco dans 10 Millions d'années.
La route qui traverse la faille donne l'échelle des reliefs associés au travail de la faille sur les roches.

« La surrection »

Lorsque deux plaques se rapprochent, il n'y en a pas toujours une qui est plus « lourde » que l'autre pour passer en dessous et retourner dans le magma. Lorsque deux continents s'affrontent, ils ont la même densité. Alors **les deux plaques se compriment et s'épaississent en formant des chaînes de montagnes.**

Figure 8 – L'Hymalaya *(Photographie Gimmy Park Li.)*
Collision entre l'Inde et l'Eurasie

4. Les ondes sismiques, comment secouent-elles les constructions ?

LE SEISME GENERE DIFFERENTS TYPES D'ONDES, AUX EFFETS DIFFERENTS SUR LES SOLS ET LES CONSTRUCTIONS

Générées par la rupture sur la faille, des ondes sismiques se propagent dans toutes les directions. Plusieurs types d'ondes aux effets différents sur les sols et les structures sont générés par le séisme.

La connaissance des caractéristiques des différents types d'ondes (et de leurs conditions de propagation) permet de prévoir leur action sur un bâtiment en fonction du site géologique où se situe la construction et de sa distance au foyer. On distingue les ondes de volume et les ondes de surface.

Les ondes sismiques qui détruisent les bâtiments sont « les ondes de volume »
Lorsqu'elles arrivent sous les bâtiments, leurs accélérations provoquent des déformations des constructions sous l'effet des **forces d'inertie** (forces qui s'appliquent à une masse qui subit une accélération, comme en subit le passager d'un véhicule qui démarre ou freine brutalement ou qui passe sur des bosses et des trous. Voir question 7).

- **Les ondes P (Primaires car, plus rapides, elles arrivent en premier) progressent en animant les particules des sols traversés en compression/dilatation comme les mouvements des spires d'un ressort. Elles secouent essentiellement les bâtiments verticalement. Elles se propagent dans tous les milieux.**

- **Les ondes S (Secondaires) qui progressent en cisaillant le sol perpendiculairement à leur sens de cheminement. Elles secouent essentiellement les bâtiments horizontalement… dans tous les sens. Elles ne se propagent pas dans les milieux liquides.**

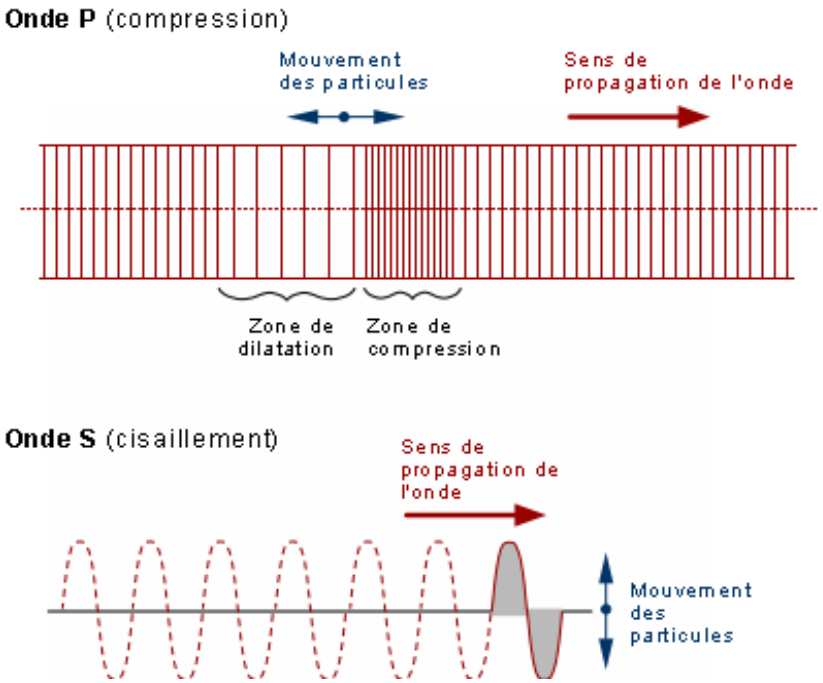


Figure 9 – Représentation schématique du mouvement des ondes P et des ondes S (Document Université de Laval – Québec)

5. Les secousses sismiques ne se ressemblent pas d'un site à l'autre. Pourquoi est-ce important de connaître « à l'avance » leurs « mouvements » ?

L'architecte et l'ingénieur doivent savoir « à l'avance » « quelles » secousses pourront se produire sur le site à construire afin de concevoir des bâtiments qui résistent à ces secousses là, qui ne seront pas les mêmes au même moment sur un site voisin. IL FAUT EVITER LA MISE EN RESONANCE DU BATIMENT PAR LES SECOUSSES.

MAIS QU'EST-CE QUE LA « MISE EN RESONANCE » ? Exemples :

Exemple de la balançoire : un pendule

Lorsqu'on déplace une balançoire de sa position d'origine et qu'on la lâche, elle oscille à une certaine période qui dépend notamment de la longueur de ses cordes. **Si on vient pousser la balançoire « en cadence », avec très peu de force on va la faire monter très haut. On la met en résonance avec la cadence de nos poussées.** Si on fait le même mouvement « n'importe comment », c'est-à-dire que l'on exerce des poussées à une cadence qui n'est pas celle de la balançoire, non seulement on ne va pas amplifier le mouvement, mais on va le freiner !

Exemple du punching-ball : un oscillateur

De même, si on tire sur un punching-ball et qu'on le lâche, il va osciller à une certaine cadence. **Cette cadence s'appelle sa période propre d'oscillation, c'est à dire le temps mis par « l'oscillateur » pour faire un aller-retour. Ce temps est constant, même si l'amplitude du mouvement décroît avec le temps**. La période propre de chaque punching-ball dépend notamment de sa hauteur, de la section de sa barre et du poids de sa boule. Si on vient le percuter en cadence, on amplifie ses déformations avec peu d'énergie, on le met en résonance.

Et le bâtiment ? C'est seulement un oscillateur un peu plus complexe !

Chaque bâtiment a aussi des périodes propres d'oscillation qui dépendent aussi de ses matériaux et de sa géométrie. Mais… il ne supporte pas les déformations importantes. **Si les secousses sismiques viennent le secouer « en cadence » avec une de ses périodes propres d'oscillation il se met en résonance avec le sol, amplifie des secousses, se déforme de plus en plus… et casse**.
(N-B : Il a plusieurs périodes propres car il est plus complexe que le « punching-ball » !).

Et le sol ? C'est une sorte d'oscillateur filtrant.

La nature même d'une secousse sismique est complexe et aléatoire.
Elle est en fait une **superposition d'ondes** (des différents types) de **périodes variées** (plusieurs cadences d'oscillation simultanées) et dont **l'amplitude** (la violence) est **plus ou moins importante**. Un certain nombre de paramètres conditionnent la nature de la secousse sismique en un lieu. C'est cela que l'on cherche à identifier.
Chaque site oscille sous l'effet du séisme en « filtrant » les périodes des secousses : il va amplifier nettement une période (sa période propre) et amplifier ou atténuer plus ou moins les autres.

ALORS ?
ON CHERCHE A CONSTRUIRE UN BATIMENT DONT LES PERIODES PROPRES SONT DIFFERENTES DE CELLE(S) DU SITE. AINSI ON EVITERA SA MISE EN RESONANCE AVEC LES SECOUSSES. Le sismologue et le géotechnicien étudient les périodes du site. L'architecte peut concevoir dans certains cas un bâtiment dont les périodes propres seront très différentes de celles du sol. **ET SI ON NE PEUT PAS ETRE SUR D'EVITER LA MISE EN RESONANCE DU BATIMENT ?** En le sachant, on calculera la résistance du bâtiment en tenant compte de ce problème. C'est le travail de l'ingénieur.

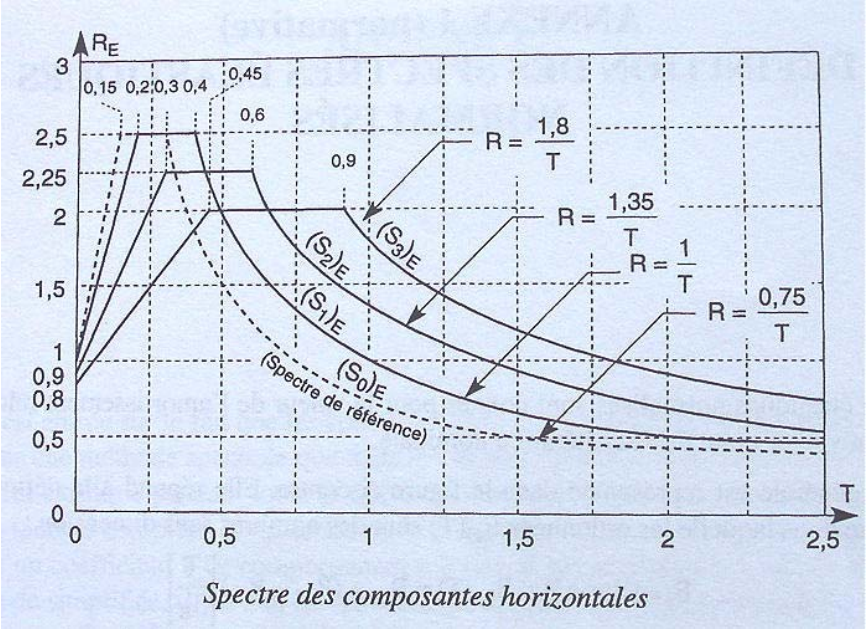
6. Alors, quel outil donner à l'architecte et à l'ingénieur pour évaluer la possibilité de mise en résonance de la construction avec le sol?

Le spectre de réponse des structures

L'un des objets de la sismologie appliquée est d'associer à chaque site un « outil de travail », appelé « spectre de réponse », qui permet à l'architecte et à l'ingénieur d'évaluer la possible amplification des ondes arrivant sur le site par le bâtiment, en raison d'une mise en résonance de la structure.

Il en existe plusieurs formes. Nous n'allons pas expliquer ici « comment ça marche », ni « comment ça se conçoit », etc. C'est pour les spécialistes. Mais regardons à quoi ressemble un spectre de réponse réglementaire, c'est-à-dire celui avec lequel le bureau d'études techniques va calculer la structure pour qu'elle résiste au séisme selon les règles en vigueur.

Spectre de réponse réglementaire



Il permet au BET de déterminer le niveau d'accélération, l'action sismique, pour calculer la résistance nécessaire au le bâtiment selon les règles PS-92. Connaissant le type de sol grâce aux études géotechniques et les périodes propres du bâtiment, il va lire la « réponse » du bâtiment, c'est-à-dire le niveau d'amplification possible des secousses du sol par mise en résonance.

Et alors ?

Le plan de coffrage et de ferraillage réalisé par le BET est un document adapté à la situation : à ce bâtiment là sur ce site là. Il donne des prescriptions techniques, on les respecte. Ce serait dommage que tant de connaissances destinées à sauver les vies ne servent à rien parce qu'on n'en tient pas compte sur le chantier, non ?

7. Pourquoi calcule-t-on les bâtiments « avec des accélérations »?

D'abord, quels sont les paramètres des déformations du sol ?

Sous l'effet des oscillations du séisme, le sol où le bâtiment est implanté subit des **déplacements** dans toutes les directions : à l'horizontale, mais aussi à la verticale.
Ces déplacements se mesurent en mètres (m), même s'il s'agit en fait de centimètres.
Ces déplacements se font à des **vitesses**, qui varient. On les mesure en mètres par seconde (m/s) et pas en km par heure comme pour les véhicules, mais ce n'est que l'unité de mesure qui change.
Les variations de la vitesse de déformation du sol pendant le séisme sont des accélérations qui se mesurent en mètre par seconde « au carré » **(m/s2).**

La pesanteur est une accélération

La pesanteur, qui attire au sol tout ce qui se trouve sur la planète, est une accélération. La preuve : ça fait plus mal de tomber du 1° étage que de la hauteur d'une chaise. La vitesse de chute augmente avec le temps qui s'écoule. Il y a bien accélération.
Au sol, la pesanteur exerce sur nous une force qui nous empêche de « flotter dans les airs », mais nous n'avons pas conscience qu'il s'agit d'une accélération. Si nous voulons sauter de bas en haut, l'accélération est contraire à notre impulsion. C'est « plus facile » sur la Lune (pesanteur plus faible).

Pourquoi parler de la pesanteur à propos de séismes?

Parce que c'est une action que le bâtiment subit avant, pendant et après le séisme :

- **Avant le séisme**: le BET calcule le bâtiment pour qu'il résiste à la pesanteur sans s'écraser au sol. Sur la Lune on n'aurait pas besoin des mêmes sections pour que ça tienne !
- **Pendant le séisme** : le BET calcule le bâtiment pour qu'il résiste aux déformations horizontales et aux variations d'accélérations verticales. Les accélérations que la structure subit vers le bas et vers le haut s'ajoutent et se soustraient à la pesanteur alternativement. Les accélérations horizontales se combinent avec les accélérations verticales.
- **Après le séisme** : la pesanteur est toujours là. Est-ce que le bâtiment est encore en état de s'y opposer pour rester « debout » ?

Ainsi, si l'unité de mesure de l'accélération est le m/s^2, les spécialistes du génie parasismique l'expriment souvent en pourcentage (%) de la gravité (g), donc de la pesanteur. ($g = 9{,}81 m/s^2$).

Oui, mais POURQUOI DES ACCELERATIONS ?

L'enjeu d'une construction parasismique est de résister (par différents moyens possibles) aux forces d'inertie. Les forces d'inertie sont des forces qui tendent à « retenir » sur sa position d'origine une masse qui subit une accélération.
Si nous sommes debout dans un bus et que le chauffeur accélère ou freine, nos pieds suivent les déplacements du sol du bus, mais notre corps « résiste » d'autant plus à ces déplacements que l'accélération ou la décélération est forte … et que nous sommes lourds.

Les forces d'inertie nous déforment sous l'effet des accélérations du véhicule comme elles déforment un bâtiment soumis aux accélérations d'un séisme.
Le conducteur qui conduit en souplesse, accélère peu, « déforme » moins ses passagers.

Forces d'inertie = Masse(s) de la structure x Accélération(s).
Le BET peut facilement calculer la masse du bâtiment. Les études de sismologie visent à pré-estimer l'accélération maximum que subira le bâtiment.

8. Oui, mais comment connaître « à l'avance » les accélérations possibles dans un bâtiment pendant un séisme?

C'est simple en théorie, mais ça demande beaucoup d'études préalables. Grosso-modo :

1) Il faut identifier toutes les failles actives de la région et leur associer des magnitudes de séismes possibles et des cycles de retour.

C'est le travail des sismologues et des géophysiciens.

2) Il faut établir des « Lois d'atténuation »

Les lois d'atténuation du mouvement sismique par les sols traversés établissent la **perte d'énergie des ondes en fonction de la distance parcourue depuis la source jusqu'au site étudié**, sa profondeur et la nature des sols traversés. C'est le travail des sismologues et des géophysiciens.

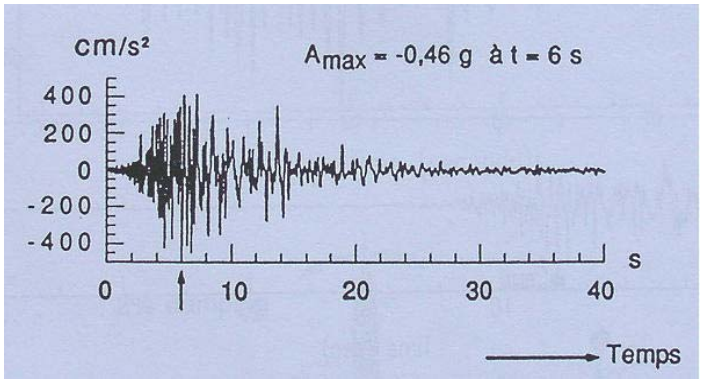
3) Il faut établir le « spectre de réponse » pour le site à construire

Pour savoir quels bâtiments peuvent se mettre en résonance, c'est-à-dire s'ils vont amplifier les accélérations du sol. Afin que l'architecte essaie de concevoir un bâtiment qui ne présente pas ce problème. C'est le travail des sismologues et des géotechniciens.

4) Encore quelques paramètres que l'on trouve dans les règles…

Comme le coefficient topographique et le taux d'amortissement de la structure. Ca c'est le travail du BET, il peut alors calculer les accélérations de la structure, donc les forces d'inertie, donc la résistance nécessaire au bâtiment pendant le séisme possible de référence.
Mais qu'aurait-il pu faire sans les sismologues et les géophysiciens ?

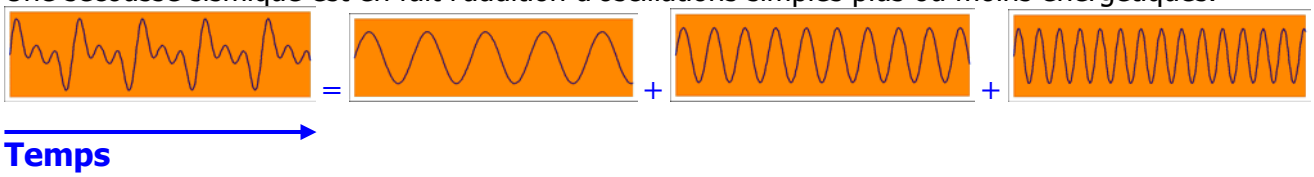
Exemple d'enregistrement des accélérations du sol pendant un séisme



Que voit-on ?

En abscisse (à l'horizontale), le temps qui s'écoule en secondes.
En ordonnée (à la verticale), les accélérations en cm/s². Si l'enregistrement est fait sur un appareil orienté Est-Ouest, on pourra repérer vers le haut les accélérations pendant les déplacements vers l'Est et vers le bas les déplacements vers l'ouest.
Sur cet enregistrement une accélération maximale du sol (ou pic) de 4,6 m/s² (0,46g) est repérée après 6 secondes.

Une secousse sismique est en fait l'addition d'oscillations simples plus ou moins énergétiques.



Dans la pratique on utilise des paramètres forfaitaires réglementaires propres à chaque canton et chaque type de sol et de site. Ces données sont des arbitrages issus de la recherche en sismologie à grande échelle. On peut aussi utiliser des données propres au site si elles existent. Dans les régions très sismiques comme les Antilles, des paramètres propres aux sites sont à l'étude.

9. La magnitude c'est la mesure de l'énergie libérée à la source. Et l'intensité, c'est quoi ?

Mercalli a établi une échelle de **mesure des effets locaux d'un séisme** en 1902.
A cette époque on ne pouvait pas mesurer les accélérations du sol, seulement les déplacements. Et Richter n'avait pas encore « inventé la magnitude ». Les observations permettaient de comparer les effets du séisme d'un endroit à l'autre. Ca donnait une idée de l'emplacement de l'épicentre. L'échelle de Mercalli a été modifiée en 1931. Puis par d'autres chercheurs comme Medvedev, Sponheuer et Karnik en 1964 (Echelle MSK). L'European Macroseismic Scale (EMS) est actuellement utilisée en Europe.

Intensité de l'échelle de Mercalli	Effets ressentis
I	Aucun mouvement n'est perçu, sauf par des appareils sensibles.
II	Quelques personnes peuvent sentir un mouvement si elles sont au repos et/ou dans les étages élevés de grands immeubles.
III	A l'intérieur de bâtisses, beaucoup de gens sentent un léger mouvement. Les objets suspendus bougent. En revanche, à l'extérieur, rien est ressenti.
IV	A l'intérieur, la plupart des gens ressentent un mouvement. Les objets suspendus bougent, mais aussi les fenêtres, plats, assiettes, loquets de porte.
V	La plupart des gens ressentent le mouvement. Les personnes sommeillant sont réveillées. Les portes claquent, la vaisselle se casse, les tableaux bougent, les petits objets se déplacent, les arbres oscillent, les liquides peuvent déborder de récipients ouverts.
VI	Tout le monde sent le tremblement de terre. Les gens ont la marche troublée, les objets, tableaux, tombent, le plâtre des murs peut se fendre, les arbres et les buissons sont secoués. Des dommages légers peuvent se produire dans des bâtiments mal construits, mais aucun dommage structural.
VII	Les gens ont du mal à tenir debout. Les conducteurs sentent leur voiture secouée. Quelques meubles peuvent se briser. Des briques peuvent tomber des immeubles. Les dommages sont modérés dans les bâtiments bien construits, mais peuvent être considérable dans les autres.
VIII	Les chauffeurs ont du mal à conduire. Les maisons avec de faibles fondations bougent. De grandes structures telles que des cheminées ou des immeubles, peuvent se tordent et se briser. Les bâtiments bien construits subissent de légers dommages, contrairement aux autres qui en subissent de sévères. Les branches des arbres se cassent. Les collines peuvent se fissurer si la terre est humide. Le niveau de l'eau dans les puits peut changer.
IX	Tous les immeubles subissent de gros dommages. Les maisons sans fondations se déplacent. Quelques conduits souterrains se brisent. La terre se fissure.
X	La plupart des bâtiments et leurs fondations sont détruits. Il en est de même pour quelques ponts. Des barrages sont sérieusement endommagés. Des éboulements se produisent. L'eau est détournée de son lit. De larges fissurent apparaissent sur le sol. Les rails de chemin de fer se courbent.
XI	La plupart des constructions s'effondrent. Des pont sont détruits. Les conduits souterrains sont détruits.
XII	Presque tout est détruit. Le sol bouge en ondulant. De grands pans de roches peuvent se déplacer.

Donc l'intensité est une estimation locale des effets du séisme. Si un séisme n'a qu'une seule magnitude, il a une intensité locale pour chaque lieu.
1 DEGRE D'INTENSITE SUPPLEMENTAIRE ≈ 2 FOIS PLUS D'ENERGIE

10. Quels documents nous donnent les niveaux d'accélérations possibles dans une région ?

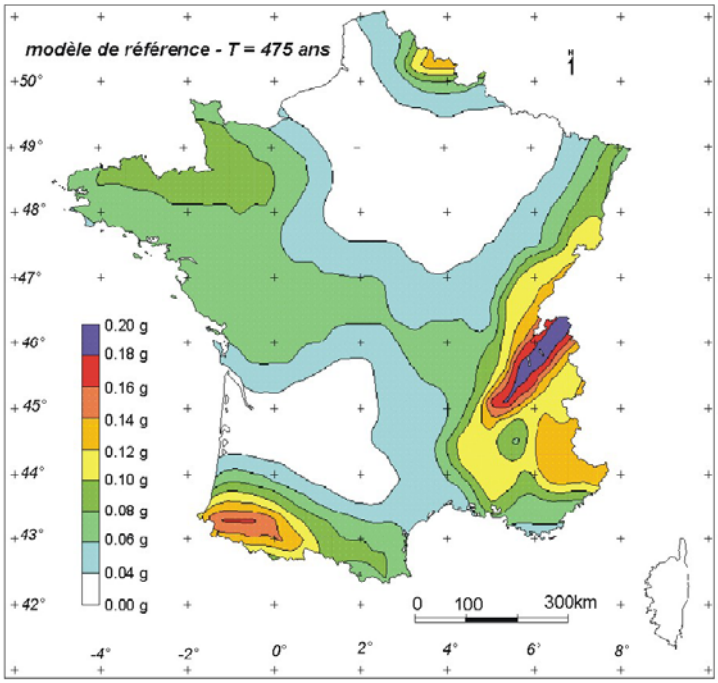
L'aléa sismique régional d'un site est la probabilité pour qu'une accélération (ou une intensité) d'un niveau donné se produise au niveau du « rocher horizontal » sur ce site (rocher affleurant ou sous une couche de sol meuble).

C'est-à-dire indépendamment des possibles amplifications locales dues aux sites, constatées par les spectres de réponse (voir questions 13, 14 et 15).

On établit les cartes de l'aléa sismique régional en fonction des failles, de leurs magnitudes possibles sur des périodes de temps données, et des lois d'atténuation.
La précision de ce type de document est de l'ordre du 1/1 000 000.

Pour les constructions ordinaires on établit des cartes dites « probabilistes ».
Ces cartes nous indiquent, en pourcentage de la pesanteur (0,20g = 20% de l'accélération de la pesanteur), les niveaux d'accélération possibles, au niveau du sol rocheux horizontal, dans les différentes régions, pour les séismes qui ont une période de retour de 475 ans.

Pourquoi 475 ans ? C'est un choix « politique ». On pourrait prendre « 10 000 ans », on serait sûr de ne pas oublier les séismes les plus violents qui reviennent après des périodes très longues. C'est ce qu'on fait en quelque sorte pour les centrales nucléaires et l'industrie chimique (que la réglementation appelle « ouvrages à risque spécial ») parce qu'on ne peut pas se permettre la moindre erreur. Mais ça coûte très cher pour un événement qui risque de ne jamais arriver pendant la durée de vie de la construction. Alors, pour les constructions ordinaires, que la réglementation appelle « Ouvrages à risque normal », on calcule les bâtiments pour ce qui est probable pendant leur durée de vie. On accepte une « petite » marge d'erreur pour des raisons économiques.



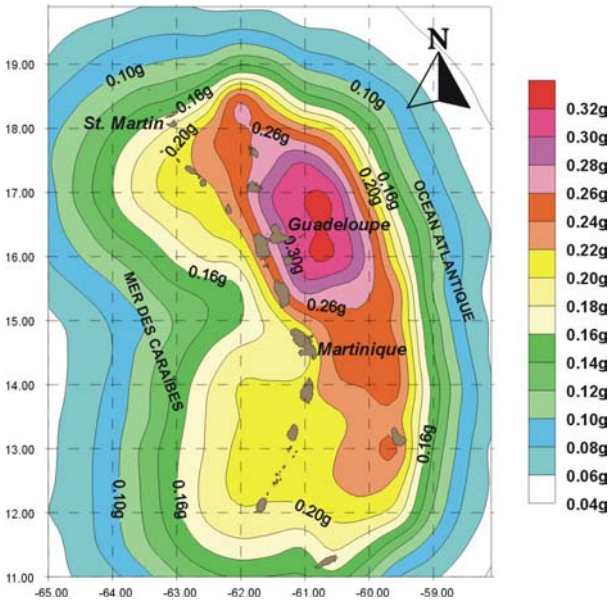


Figure 10 - Cartes de l'aléa sismique régional probabiliste de la France métropolitaine et des Antilles pour une période de retour de 475 ans (Document BRGM)
En métropole, on observe bien que l'aléa le plus élevé est situé près des montagnes jeunes (zones de convergence avec surrection).
Aux Antilles, on observe bien que l'aléa le plus élevé est situé sur la zone de subduction (en mer à l'Est).

11. L'aléa sismique local : un séisme ne fait pas que secouer les bâtiments, malheureusement !

L'aléa sismique régional nous donne les accélérations possibles des secousses « au rocher horizontal », cela signifie-t-il que pour les autres types d'implantation on peut avoir d'autres effets que ces « simples secousses » ? Hélas oui. Et parfois des effets très graves. Si on sait se protéger des secousses, on ne sait pas toujours se protéger des autres problèmes. Il faudra donc éviter de construire sur certains sites. Un séisme génère :

- **Des effets directs :** actions du sol sur les ouvrages, des oscillations, mais aussi le jeu de la faille jusqu'en surface (même sur le rocher horizontal).
- **Des effets de site :** modification sensible du « signal sismique » par un site, pouvant amplifier les accélérations du sol pour certaines fréquences : provoquer des résonances propres à ce site là.
- **Des effets induits :** grands déplacements de sol ou d'eau pouvant agir sur les ouvrages.

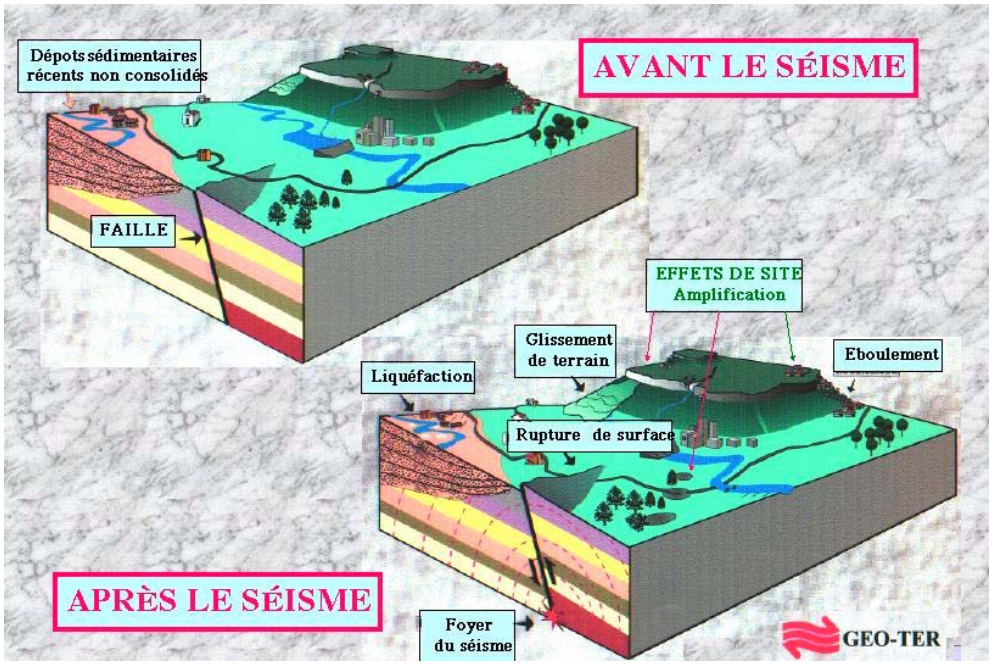


Figure 11 - Localisation schématique des effets possibles d'un séisme (Document Géo-Ter)

Les effets du séisme peuvent être plus ou moins destructeurs d'un lieu à l'autre, pour une même construction, parfois à quelques mètres près. L'étude de l'aléa sismique local permet ainsi de préciser la part du risque liée au site d'implantation.

Certains problèmes de sol d'implantation ne peuvent être identifiés qu'à la suite d'études géotechniques. D'autres peuvent être détectés par une simple observation du site sur place et/ou la lecture des cartes géologiques régionales. Il faut néanmoins prendre l'avis de spécialistes compétents afin de préciser l'aléa local.

LES PLANS DE PREVENTION DES RISQUES MAJEURS (PPR) EN COURS D'ELABORATION DANS LES COMMUNES DE FRANCE DOIVENT CARTOGRAPHIER LES ELEMENTS DE L'ALEA SISMIQUE LOCAL DANS LES REGIONS CONCERNEES.

12. Le rejet d'une faille en surface : redoutable, mais a priori pas dramatique en France

Le phénomène

Le jeu de la faille peut être apparent en surface si:

- La Magnitude du séisme est élevée : supérieure à 5.5 (sinon le déplacement est trop faible)
- Son foyer est superficiel : profondeur inférieure à 5km (sinon le déplacement n'atteint pas la surface.

Tableau de corrélation entre la magnitude et le rejet possible :

MAGNITUDE	LONGUEUR DE RUPTURE	REJET EN SURFACE	
5.0	3 - 4 km	--	
6.0	10 - 15 km	~ 20 cm	(Maximum des terres émergées aux Antilles)
7.0	40 - 50 km	1 -2 m	
8.0	200 - 300 km	4 - 6 m	
9.0	800 - 1000 km	15 - 20 m	

Le problème

Il est bien illustré par les exemples dramatiques ci-après :

Figure 12 - Séisme de Taiwan, 1999, rejet de faille de plus de trois mètres de haut dans un bâtiment (Document USGS)

Figure 13 - Séisme d'Izmit (Turquie, 1999), décrochement en surface de 3,70m sur un collecteur (Document AFPS)

Les solutions :

Etudier les failles pouvant jouer en surface sur les zones aménagées et urbanisées. Actuellement ce risque, bien que faible en France métropolitaine et aux Antilles, est évalué aux Antilles. On n'attend pas de grands déplacements puisque les failles superficielles des zones urbanisées ne devraient pas avoir des magnitudes supérieures à 6. Cet aléa est transcrit sur les cartes des Plans de Prévention des Risques Majeurs par des bandes de neutralisation (inconstructibles), larges pour tenir compte de l'incertitude si les études précises de localisation des failles n'ont pas encore été entreprises. (Voir exemple sur la question n°20)

13. Les effets de site : amplification locale des secousses à cause de la configuration du site.

Le phénomène

Comme nous l'avons vu, chaque site, même à équidistance du foyer sismique, a une « réponse » qui lui est propre aux différents séismes et il modifie les ondes qui parviennent au « rocher horizontal » sous-jacent.

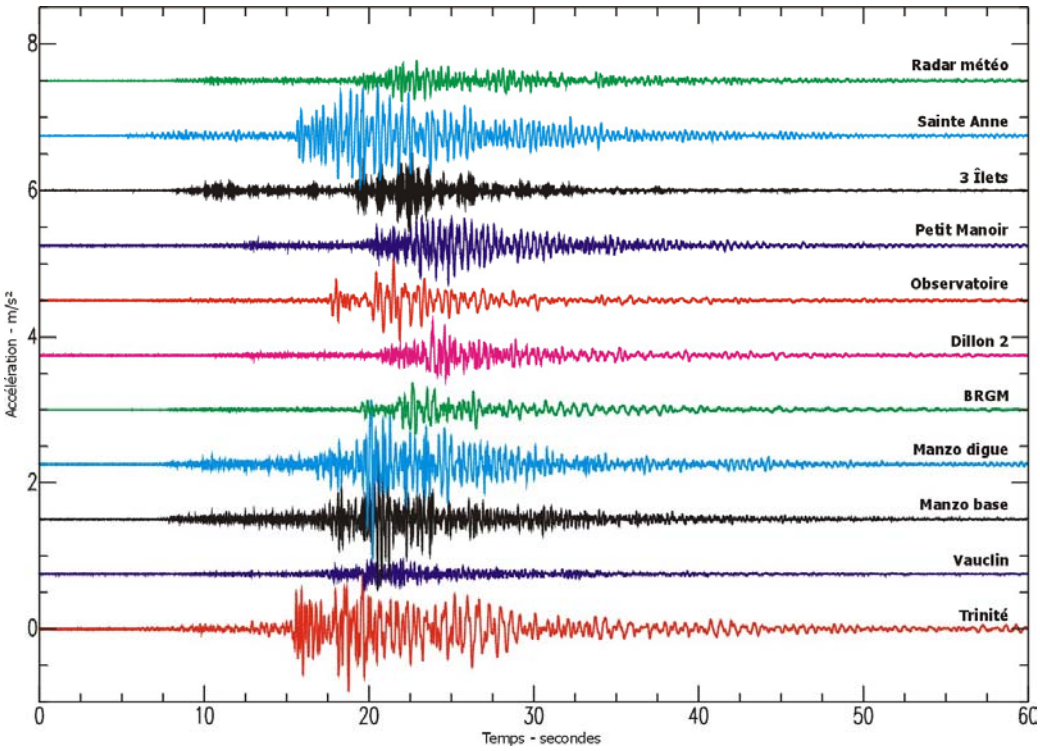


Figure 14 - Séisme du 8 juin 1999 en Martinique (Document Géo-Ter)

Les différents enregistrements du séisme indiquent un comportement dynamique très différent pour les différents sites d'enregistrement. On voit que la valeur des accélérations est très sensiblement différente d'un site à l'autre, ainsi que la durée du séisme.

Le problème

Sans être un grand spécialiste, on voit bien que les secousses, et donc les précautions à prendre pour éviter la ruine d'un bâtiment, ne sont pas de la même nature ni de la même importance sur le site du premier enregistrement (en vert en haut) que sur le site suivant (en bleu clair). En étant un spécialiste, on sait quoi faire, si on a les bons outils. Ce sont les « spectres de réponse » précis des différents sites urbanisés ou à urbaniser.

Les solutions :

Les études permettant de qualifier les effets de site possibles avant l'arrivée d'un séisme majeur passent par la définition de leurs caractéristiques géométriques, géomécaniques et géodynamiques et l'analyse des petits séismes qui y sont ressentis. Elles ont pour but la production de « spectres de réponse » qui permettront à l'architecte d'identifier les structures plus vulnérables aux mouvements locaux et à l'ingénieur de calculer l'action sismique propre au « couple site-structure ».

On utilise les spectres des règles PS-92, mais il sera souhaitable que les PPR proposent des spectres spécifiques pour les zones urbanisées (c'est en cours). (Voir exemple sur la question n°20)

14. Effet de site topographique : les reliefs amplifient les secousses (butte, crête, bord de falaise)

Le phénomène

La réflexion des ondes sismiques « prisonnières » à l'intérieur de ces reliefs peut amplifier les secousses qui y parviennent (effet de site).

Le problème

Les constructions implantées sur ce type de reliefs pourront subir une action sismique beaucoup plus importante que sur un site voisin non accidenté s'il y a concordance des fréquences du sol et du bâtiment. Exemples :

Figure 15 - Séisme de Lambesc, 1909, destruction des constructions situées sur la butte de Rognes par effet de site. (Document X)
Toutes les constructions de pierres hourdées au mortier de chaux étaient peu résistantes. Pour ce séisme modéré, seules celles qui étaient situées sur la butte ont subi des accélérations assez élevées, par effet de site, pour s'effondrer.

Figure 16 ***Séisme de Lambesc, 1909***
Le caractère sélectif de l'amplification des ondes sismiques sur un site est mis en évidence par cet exemple. L'église se trouvait sur une butte comme à Rognes. Le corps de l'église de période propre plus courte que celle du clocher a été mis en résonance par les périodes courtes du site et s'est effondré. Alors que les faibles caractéristiques mécaniques du clocher ont « suffi » à assurer sa résistance puisque sa « réponse » au séisme était faible en raison de la non-concordance de sa période avec celles du sol.

Les solutions :

S'il n'est pas envisageable de changer d'implantation d'un bâtiment en projet, il convient de prendre les dispositions architecturales nécessaires (par exemple modification de la fréquence propre du bâtiment) et/ou des dispositions constructives appropriées (résistance mécanique accrue, isolateurs, amortisseurs…) pour assurer sa résistance. Dans bien des cas, un peu plus de résistance mécanique suffit… mais n'oublions pas que, même si le bâtiment est plus « solide » les meubles et les occupants vont être secoués très fort.
Les règles PS-92 et la cartographie des PPR prennent le problème en considération.

15. Effet de site sur sol meuble : Les alluvions de forte épaisseur amplifient l'action sismique

Le phénomène

La réflexion des ondes sismiques « prisonnières » à l'intérieur d'une couche de sol meuble entre la surface et le sous-sol rocheux a pour conséquence d'amplifier les oscillations de période longue. Ainsi, les constructions de période propre plutôt élevée sur les sols meubles peuvent subir une action sismique beaucoup plus importante que sur le sol rocheux: éventuelle mise en résonance…

Le problème

Il a été remarquablement illustré à Mexico en 1985, ville implantée à près de 400 km de l'épicentre, sur 50m de dépôts limoneux. Les immeubles dont la période propre d'oscillation correspondait à celle du sol se sont mis en résonance et se sont effondrés.

Figure 17 - Mexico 1985. (Document EQIIS – USA)
Coup de fouet sur les étages supérieurs par mise en résonance du bâtiment et du sol.

Figure 18 - Mexico 1985 (Document NISEE-USA)
Le bâtiment du premier plan, dont les périodes propres d'oscillation (courtes) ne sont pas entrées en résonance avec le sol, n'a pas subi de dommages bien qu'il soit apparemment très vulnérable. A l'arrière plan on devine un immeuble plus élancé qui a lui subi des dommages importants par « coup de fouet dans les étages » bien qu'étant vraisemblablement « mieux construit ». Il a « répondu » au séisme par des accélérations et des déformations importantes de sa structure en raison d'une mise en résonance.

Les solutions :

S'il n'est pas envisageable de changer d'implantation, il convient d'éviter absolument la mise en résonance du bâtiment par concordance entre la période propre du site et celle du bâtiment en modifiant sa structure. On peut aussi disposer un système d'amortisseur pour éviter l'amplification. Il faut en outre prendre toutes les dispositions constructives liées à ces sites sensibles, notamment des fondations descendues au bon sol.
Il existe des méthodes simplifiées ou élaborées pour estimer la période des sols meubles.

16. Effets induits : les glissements de terrains, chutes de pierres (purge des versants)

Le phénomène

Sous l'effet des secousses, tout ce qui se trouve en situation d'instabilité sur les versants glisse vers l'aval : la terre, les roches, et les bâtiments sur les sols instables.

Le problème

Il n'y a pas de solution constructive sauf pour les petites pentes qui peuvent avoir un soutènement. Ce n'est plus une question de résistance du bâtiment.

Figure 19 - Séisme de Kobé, 1995, (Document NISEE -USA)
Glissement de terrain ayant entraîné la perte totale de d'un bâtiment « parasismique » situé en bord de talus instable.

Figure 20 - Séisme du Salvador, 2001 (Document Associated Press)
Glissement de terrain à Santa Tecla ayant entraîné la perte d'un quartier (300 habitations ensevelies) dont les constructions n'ont pas souffert des oscillations. Des centaines de constructions voisines sans dommages ont du être évacuées.

Figure 21 - Chute de blocs (Document P. Balandier)
Ce logement situé en Guadeloupe (zone sismique III) a été traversé par des blocs rocheux, situés à l'origine en amont de la pente, sans séisme… Le séisme est un « puissant » facteur déclenchant de purge de pentes et falaises. Il convient de procéder à cette purge avant de construire ou d'éviter certaines implantations si la prévention ne peut être assurée par la destruction de quelques blocs.

Les solutions :

Il convient d'éviter absolument l'implantation sur les sols potentiellement instables en raison de la trop grande présomption de sinistre en cas de séisme car il n'existe pas de solution constructive pour se protéger d'un glissement de terrain important.
Les cartes de PPR nous indiquent les sites instables.

17. Effet induit : La liquéfaction des terrains granulaires (sables, limons) saturés d'eau

Le phénomène

En cas de présence de couches de sables ou limons non cohérents à grains de faibles dimensions (0.05 à 2 mm) et de granulométrie « déterminée » à proximité de la surface, la présence d'eau à saturation est un facteur déterminant du phénomène de « liquéfaction » en cas de secousse sismique. La violence et la durée élevées du séisme en sont des facteurs déclencheurs.

Sous l'action des ondes P, la pression d'eau interstitielle des sols granulaires augmente et leur fait perdre leur cohésion. Des jets d'eau et de sable remontent à la surface sous l'effet de cette pression et sont projetés en l'air avant de retomber sous forme de cônes de sable. Des tassements localisés de la couche de sable, dont les grains se « réorganisent », se produisent.

Le problème

Dans ce cas, la « déstructuration » totale du sol peut entraîner la perte des constructions dont la superstructure est réputée parasismique. Il faut soit descendre les fondations au bon sol, soit traiter le sol pour lui donner les caractéristiques souhaitées, soit éviter ces sites pour l'implantation des constructions.

Figure 22 - *Séisme de Caracas, 1967, (Document USGS)*
« Enfoncement » d'un bâtiment dans le sol sous l'effet d'un tassement localisé dû au phénomène de liquéfaction.

Voir un autre exemple en 1° page

Les solutions

Les études géotechniques permettent d'identifier les critères de susceptibilité à la liquéfaction des sols et de détecter les zones où le phénomène pourrait se produire en cas de séisme majeur. A cet égard, âge du dépôt, granulométrie, saturation d'eau, et taux de contrainte cyclique des sols sont déterminants et bien précisés par les règles PS-92.
Pour résoudre le problème on peut traiter les sols avant de construire et/ou adopter des fondations profondes.
Les cartes des PPR nous indiquent les zones qui demandent une étude spécifique.

18. Le tsunami : un raz-de-marée d'origine sismique qui peut tuer à des milliers de kilomètres de l'épicentre.

Le phénomène

Un choc sismique violent au fond de la mer provoque un raz-de-marée (nom japonais : "tsunami") Ce phénomène peut être particulièrement destructeur. Il peut survenir plusieurs heures après le séisme sur des sites se trouvant des milliers de kilomètres de l'épicentre. Les Tsunamis qui traversent le pacifique sont observés par satellite par les japonais qui lancent le cas échéant une alerte d'évacuation des rivages.

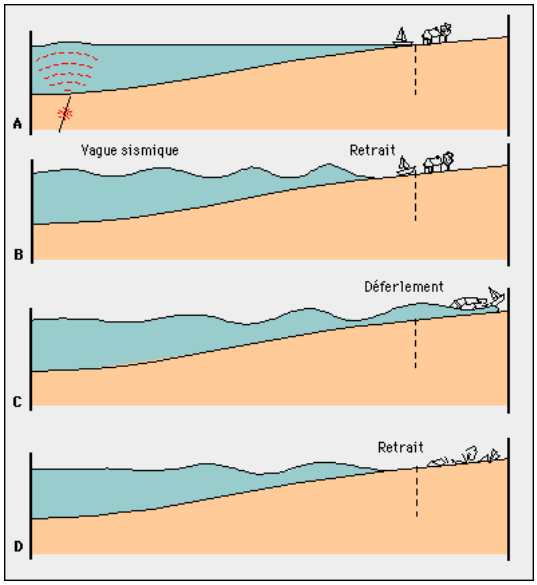


Figure 23 - Document Université de Laval *(A) Un fort séisme déclenché dans la croûte océanique engendre un mouvement oscillatoire de l'eau (vagues). Ces vagues sont à peine perceptibles en eau profonde (moins d'un mètre d'amplitude), mais s'enflent en eau peu profonde pour atteindre des amplitudes allant jusqu'à 30 m. La vitesse de propagation de ces vagues est de 500 à 800 km/heure et leur périodicité est de l'ordre de 15 à 60 minutes. Ainsi, un raz de marée initié par un séisme qui se sera produit à 1000 km des côtes viendra frapper ces côtes 2 heures plus tard. On peut aisément imaginer l'effet destructeur de telles vagues sur les côtes habitées. (B) A l'approche du raz de marée, il se produit d'abord un retrait de la Mer (ce qui est de nature à attirer les curieux). (C) Vient ensuite la première vague. (D) Celle-ci peut être suivie d'un second retrait, puis d'une autre vague.*

Le problème

Tous les tsunamis potentiels ne peuvent pas être identifiés et surveillés comme ceux qui viennent des côtes américaines vers le Japon en traversant le Pacifique. Tous ne viennent pas d'assez loin pour qu'on ait le temps de donner l'alerte.

Figure 24 - Effets d'un tsunami lors du séisme chilien de 1960 (cliché Rodolfo Schild)

Les solutions :

En général, éviter de construire au ras de la mer sur les zones possiblement atteintes. Faire des études pour déterminer ces zones et l'amplitude des vagues possibles. En ce qui concerne les Antilles, on retient actuellement que l'amplitude d'une houle cyclonique et celle d'un possible tsunami seraient comparables.
On retiendra a priori les mêmes cartes de zones littorales inondables dans les PPR.

19. Effets d'origine humaine, problèmes urbains

Le phénomène, le problème

D'autres effets induits par la secousse sismique sont susceptibles de provoquer des désordres ou la ruine des bâtiments : propagation des incendies post-sismiques, inondations par rupture de retenue d'eau, action de remblais lourds sur sols instables, purge des terrassements sans soutènement …

Figure 25 - Séisme de Kobé, 1995, (Document NISEE – USA)
Propagation à grande échelle d'un incendie post-sismique ayant entraîné des pertes colossales sur des bâtiments parasismiques.

Figure 26 – Séisme de Taiwan, 1999 (Document NISEE – USA)
La rupture d'un barrage peut provoquer des pertes considérables à l'aval et des pertes de production empêchant le retour de l'activité économique.

Figure 27 - Séisme d'Izmit, 1999 (Document NISEE-USA) *Un bâtiment résistant peut être gravement endommagé par les bâtiments voisins qui ne sont pas parasismiques.*

Figure 28 – Séisme d'Izmit, 1999 (Document EQE –USA) *Outre la pollution provoquée par le gigantesque incendie qui a ravagé la plus grande raffinerie de Turquie, c'est une part de l'activité économique du pays qui est partie en fumées.*

Les solutions :

Il est difficile de prétendre maîtriser tous les facteurs d'effets induits de ce type. Cependant une discipline d'observation du site, d'investigations sur documents, et d'études géologiques ou géotechniques en rapport avec les enjeux de la construction en projet … et la prise de décisions politiques permettent de réduire sensiblement l'aléa lié aux effets induits anthropiques.

20. Quels documents nous donnent les éléments de l'aléa local ?

Les études de microzonage sismique, réalisées par des sismologues, et des géotechniciens sont désormais généralisées dans les régions sismiques très peuplées… A une échelle permettant de distinguer les résultats à une dizaine de mètres près: 1/10 000
Pour l'urbanisme parasismique, il conviendrait d'ajouter à cette cartographie les possibles effets induits urbains : encombrements de voirie par la ruine des édifices très vulnérables, propagation d'incendies en tissu continu, pollutions diverses…

Exemples de cartographie à Fort-de-France (Martinique):

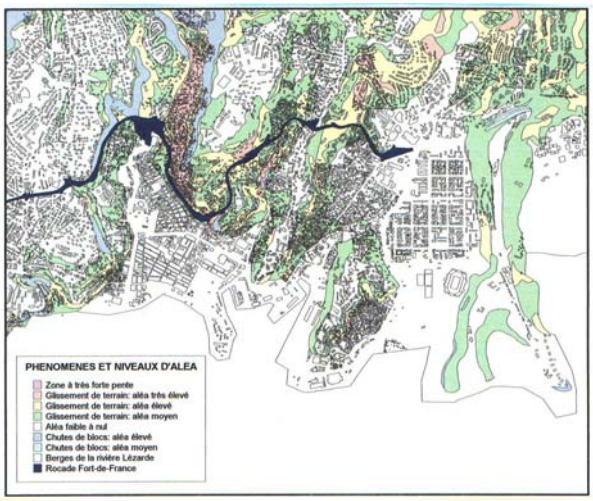


Figure 29 - ***Cartographie de aléa de glissement de terrain et de chutes de blocs induits par le séisme à Fort de France (Document BRGM)***

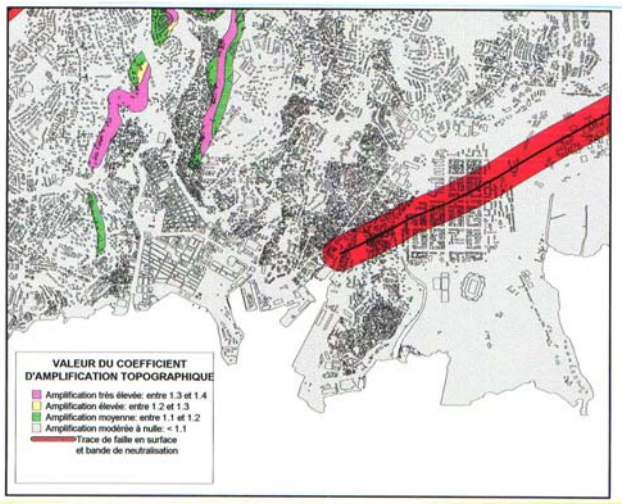


Figure 30 - ***Cartographie de l'amplification topographique et de la bande de neutralisation de faille de Dillon à Fort de France (Document BRGM)***

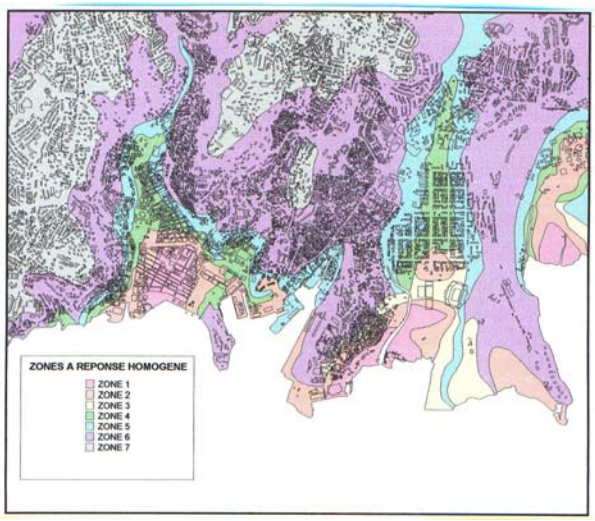


Figure 31 - ***Microzonage des zones à réponse dynamique homogène à Fort-de-France. Un spectre de réponse des structures est associé à chaque zone. (Document BRGM)***

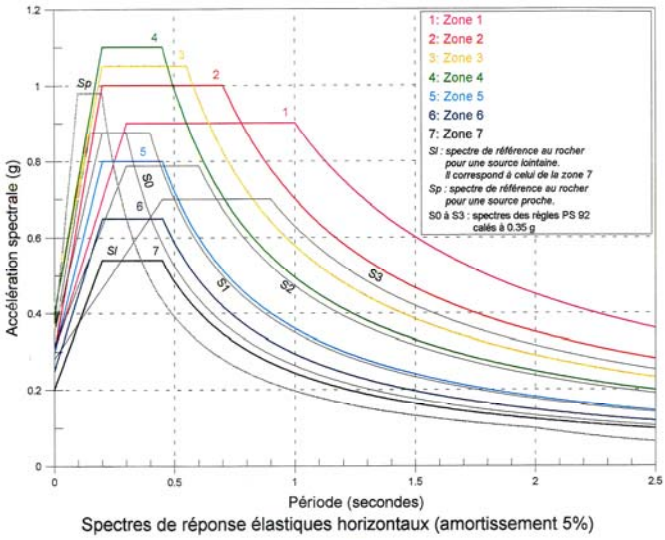


Figure 32 - ***Spectres de réponse associés au microzonage spectral de Fort-de-France (Document BRGM)***
On voit également sur ce document les spectres S_0 à S_3 des PS-92.

21. Le contexte légal et réglementaire français

I- TEXTES OFFICIELS :

La politique de l'Etat en matière de séisme vise à sauvegarder le maximum de vie humaine. Elle se fonde sur :

- Code de l'Environnement.
- Loi n°2003-699 du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages.
- Loi n° 87-565 du 22 juillet 1987 relative à l'organisation de la sécurité civile, la protection de la forêt contre l'incendie et à la protection des risques majeurs.
- Décret n° 90-918 du 11 juillet 1990 relatif au droit d'information sur les risques majeurs.
- Décret n° 81-181 du 14 mai 1991 relatif à la prévention du risque sismique (modifié par le décret n° 2000-892 du 13 septembre 2000).
- Arrêté du 16 juillet 1992 (remplacé par l'arrêté du 29 mai 1997) relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la catégorie dite "à risque normal" (J.O. du 6 août 1992).
- Arrêté du 28 août 1992 portant approbation des modèles d'affiches relatives aux consignes de sécurité devant être portées à la connaissance du public (J.O. du 5 septembre 1992.
- Arrêté du 10 mai 1993 fixant les règles parasismiques applicables aux installations soumises à la législation sur les installations classées (J.O. du 17 juillet 1993).
- Arrêté du 29 mai 1997 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la catégorie dite "à risque normal" (J.O. du 3 juin 1997).
- Code de l'environnement : art. L. 563-1.
- Code de la construction et de l'habitation (livre I, titre I, chapitre II) : dispositions relatives aux immeubles de grande hauteur.

Les textes ci-dessus prévoient la mise en place du «zonage sismique de la France» et de règles de construction parasismiques étendues progressivement à différents types de bâtiments et marchés de travaux.

Par ailleurs, les plans de prévention des risques concernant les zones sismiques ont la spécificité de pouvoir contenir des règles plus sévères que les règles de construction prévues par le décret 14 mai 1991(art. L. 563-1, C. de l'Env.).

II- ZONAGE ET PROTECTION

A. Les zones territoriales de sismicité

Pour l'application des mesures de prévention, le décret du 14 mai 1991 a divisé le territoire national en cinq zones de sismicité. Le « zonage sismique de la France » établit une hiérarchie entre les diverses zones géographiques et quantifie l'action sismique à prendre en compte dans chacune de ces zones. La carte obtenue traduit la **prise en compte de l'aléa sismique dans l'objectif de protection parasismique dans des limites économiques supportables par la collectivité** et non une cartographie de l'aléa proprement dit.

Le décret prévoit les zones suivantes :

- **Zone 0** de « sismicité négligeable mais non nulle » où il n'y a pas de prescription parasismique particulière;
- **Zone I** de « sismicité faible » subdivisée en :
- **I a** : « sismicité très faible mais non négligeable »
- **I b** : « sismicité faible » (qui est le reste de la zone I) ;
- **Zone II** de « sismicité moyenne » ;
- **Zone III de « forte sismicité »,** limitée aux départements de la Guadeloupe et de la Martinique, où la sismicité relève d'un contexte différent : celui d'une frontière de plaques tectoniques.

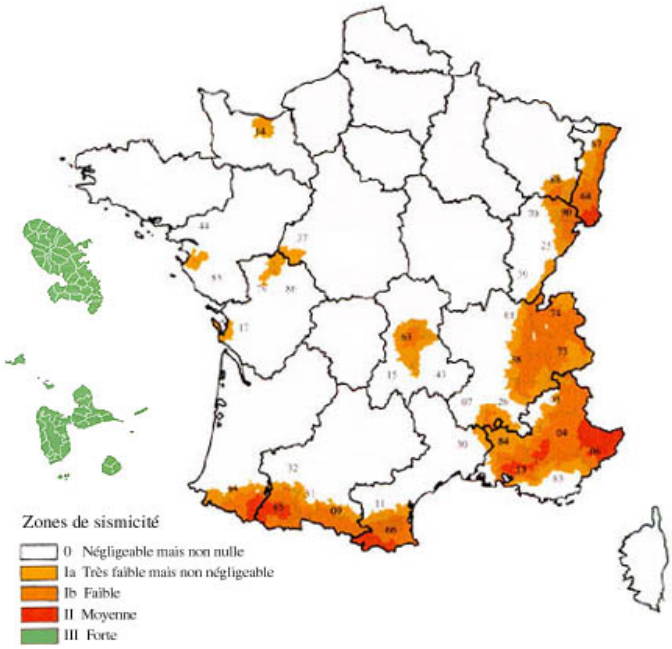


Figure 33 - Zonage sismique réglementaire de la France

En France métropolitaine, 37 départements sont classés, tout ou partie, en zone de sismicité **Ia**, **Ib**, ou **II**. Huit sont concernés dans leur intégralité: Alpes de Hautes Provence, Alpes Maritimes, Pyrénées Orientales, Haut-Rhin, Savoie, Haute-Savoie, Vaucluse, Territoire de Belfort.

B. La classification des bâtiments, équipements et installations (décret du 14 mai 1991)

Pour la prise en compte du risque sismique, le décret du 14 mai 1991 répartit en deux catégories les bâtiments, les équipements et les installations.

a. La catégorie dite « à risque normal »

Cette catégorie vise les bâtiments, équipements et installations qui présentent un risque seulement pour leurs occupants et leur voisinage immédiat. Les incidences socio-économiques sont également prises en compte. L'article 3 du décret divise cette partie en quatre classes selon l'importance du risque :

- **classe A** : la défaillance des bâtiments, équipements et installations, présente un risque minime pour les personnes ou l'activité économique ;
- **classe B** : le risque est dit « moyen » pour les personnes ;
- **classe C** : le risque est « élevé » pour les personnes et la défaillance présente le même risque pour les bâtiments en raison de leur importance socio-économique ;
- **classe D** : bâtiments, équipements et installations dont l'importance est primordiale pour la sécurité civile, la défense et le maintien de l'ordre public.

b. La catégorie dite à « risque spécial »

L'article 7 du décret de 1991 vise les bâtiments, équipements et installations dont les effets résultants d'un séisme peuvent ne pas être circonscrits dans leurs voisinages immédiats. L'arrêté du 10 mai 1993 fixe les règles sismiques applicables aux installations soumises à la législation sur les installations classées.

III – PREVENTION ET REGLES DE CONSTRUCTION

A. Les P.P.R.

La loi n° 95-101 du 2 février 1995 préconise la mise en place des P.P.R. dans les zones sismiques. Ils ont néanmoins une spécificité dans leur contenu.

En effet, selon l'article L. 563-1 du C. Env., les P.P.R. approuvés dans les zones sismiques peuvent édicter des **règles plus sévères** que celles prévues par les arrêtés du 15 septembre 1995 et du 29 mai 1997 décrits ci-dessous.

B. Les règles spécifiques de construction

Des règles préventives de constructions, d'aménagement et d'exploitation parasismiques sont appliquées aux bâtiments, équipements et installations dits « à risque normal ». Elles sont édictées par :

- l'arrêté du 15 septembre 1995 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux ponts
- l'arrêté du 29 mai 1997 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments.

Elles concernent les zones de sismicité I, II et III et s'appliquent en vertu du décret n° 2000-892 du 13 septembre 2000 :

- aux bâtiments, équipements et installations nouveaux,
- aux additions par juxtaposition, surélévation ou création de surfaces nouvelles,
- aux modifications importantes des structures.

a. Les ponts

a-1. Champ d'application :

Les ponts nouveaux (même utilisant des fondations antérieures), publics et privés, ainsi que les murs de soutènement, sont visés par les règles de classement et de construction suivantes.

a-2. Classement :

Un classement permet d'établir des règles en fonction de l'appartenance d'un pont à une catégorie.

Classe et Type de pont

- **A** - pont privé et ne desservant pas d'établissement recevant du public
- **B** - pont privé et desservant un établissement recevant du public
- **C** - pont public et longeant, portant, franchissant au moins une autoroute, une route express, une liaison autoroutière, une grande liaison d'aménagement, une voie à grande circulation, une liaison ferroviaire
  - les ponts canaux n'appartenant pas à la catégorie « risque spécial »
- **D** - les ponts de piste d'avion
  - les ponts dont l'utilisation est primordiale pour les besoins de la sécurité civile, de la défense nationale et le maintien de l'ordre public

Reclassement : si le bâtiment d'une catégorie endommage un autre bâtiment de classe supérieure, il prend ce même classement.

a-3. Règles de construction :

Selon l'article 4 de l'arrêté du 15 septembre 1995, il convient de se reporter au guide A.F.P.S. publié par l'association française du génie parasismique (presse de l'E.N.P.C.).

Ces règles donne l'action sismique à prendre en compte dont la valeur résulte de la situation du pont au regard de la zone de sismicité et de sa classe.

b. Les bâtiments :

b-1. Champ d'application :

Les bâtiments visés se situent dans les zones de sismicité I, II, III. Il s'agit de bâtiments nouveaux ou existant si ils font l'objet :

- de remplacement total des planchers en superstructure,

- de juxtaposition à des locaux de type B, C ou D,

- d'addition par surélévation, juxtaposition à des locaux de type C ou D.

NB : la définition la plus contraignante des travaux est retenue.

b-2. Classement :

Classe et Type de bâtiment

- **A** - les bâtiments sans activité humaine
- **B** - les habitations individuelles
  - les établissements recevant du public de 4ème et 5ème catégorie.
  - les bâtiments dont la hauteur est inférieure à 28 mètres : habitations collectives ou à usage de bureaux (ne recevant pas du public et accueillant au maximum 300 personnes) (cf. Art. R. 123-2 C. construction).
  - les parcs de stationnement
- **C** - les établissements recevant du public de 1ère , 2ème et 3ème catégorie
  - les bâtiments dont la hauteur dépasse 28 mètres : habitations ou bureaux
  - les bâtiments pouvant accueillir plus de 300 personnes (Bureaux, industrie)
  - les établissements sanitaires et sociaux (sauf ceux mentionnés en classe D)
  - les centres de production collective d'énergie
- **D** - les bâtiments dont la protection est primordiale pour la sécurité civile, la défense et le maintien de l'ordre public
  - les bâtiments contribuant au maintien des communications
  - les bâtiments assurant le contrôle aérien
  - les bâtiments de stockage de l'eau potable et de distribution publique d'énergie

3. Règles de construction

Selon l'article 4- I de l'arrêté du 29 mai 1997, les règles de construction sont celles de la norme NF P 06-013, référence DTU, règles PS 92 « Règles de construction parasismique, règles applicables aux bâtiments dites règles PS 92 ».

Les règles PS-92 sont applicables à partir **du 1er janvier 1998** pour les clases de bâtiment **C** et D, et le 1er juillet 1998 pour les bâtiments de classe B.

Accélérations de calcul (au rocher, en mètres par seconde²) :

ZONES	CLASSE B	CLASSE C	CLASSE D
Ia	**1,0**	**1,5**	**2,0**
Ib	**1,5**	**2,0**	**2,5**
II	**2,5**	**3,0**	**3,5**
III (Antilles)	**3,5**	**4,0**	**4,5**

Pour les bâtiments appartenant à la classe B, situés en zone de sismicité Ia, Ib ou II, il est possible d'appliquer la norme simplifiée NF P 06-014, «Construction parasismique des maisons individuelles et des bâtiments assimilés, règles PS-MI 89, révisées 92»

C. Responsabilité du maître d'ouvrage

En vertu des articles 40 et 41 de la loi du 22 juillet 1987, les maîtres d'ouvrage qui construisent dans les zones sismiques peuvent être soumis à des règles particulières de construction parasismique.

La circulaire n° 2000-77 du 31 octobre 2000 du ministère de l'équipement, des transports et du logement rappelle notamment que les maîtres d'ouvrage et les gestionnaires de bâtiments sont responsables des dispositions et précautions prises pour respecter lesdites règles.

Par ailleurs, la circulaire précise que les contrôleurs techniques agréés ne doivent pas être sollicités seulement pour des missions de vérification de la solidité des ouvrages et pour s'assurer de la sécurité des personnes, mais également pour effectuer une mission relative à la sécurité des personnes dans les constructions en cas de séisme.

En effet, le champ du contrôle technique s'étend au respect des règles de construction parasismique.

En cas de non respect, l'article R. 111-42 du code de la construction et de l'habitation prévoit une amende pour le maître d'ouvrage ou son mandataire.