Création d'outils pédagogiques
de sensibilisation au risque sismique

FICHES PÉDAGOGIQUES DE LA MALLETTE SISMIQUE

CRAterre

CRAterre, Centre international de la construction en terre
BP53, rue de la Buthière, Maison Levrat
38092 Villefontaine Cedex, France.
+33 4 76 69 83 90

www.craterre.org

Auteur: Jon de la Rica
En collaboration avec : Olivier Moles, Basile Cloquet, Philippe Garnier, Eugénie Crété et Vincent Trabaud

Décembre 2019

PIRAC, Plateforme d'Intervention Régionale Amériques Caraïbes
21 Immeuble Le Caducée, Morne Vergain
97139 Abymes, Guadeloupe, France
+590 590 83 37 50

www.pirac.croix-rouge.fr

FICHES PÉDAGOGIQUES

1 L'ORIGINE DU SÉISME

2 PROPAGATION DU SÉISME

3 RESSENTI DU SÉISME À LA SURFACE

4 EFFETS DIRECTS D'UN SÉISME

5 EFFETS INDUITS D'UN SÉISME

TABLE DES MATIÈRES

1. L'ORIGINE DU SÉISME.....4
2. PROPAGATION DU SÉISME.....8
3. RESSENTI DU SÉISME À LA SURFACE.....10
4. EFFETS DIRECTS D'UN SÉISME.....14
5. EFFETS INDUITS D'UN SÉISME.....18

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET SITES INTERNET.....21

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES SELON LE PUBLIC

Les objectifs pédagogiques des séances de sensibilisation vont varier sensiblement en fonction du public auquel elles s'adressent. En fonction du contexte d'intervention et, notamment, du temps disponible, et de l'âge des participants, l'animateur devra adapter les contenus pédagogiques.
Néanmoins, certaines **idées essentielles associées aux différents chapitres** peuvent être identifiés selon le public pour transmettre quelques **messages clés** :

Jeune Public

● Dans une région sismique, tel qu'en Guadeloupe, il y a régulièrement des séismes violents. Nous ne pouvons pas prédire le moment du tremblement de terre, par contre nous pouvons nous préparer pour minimiser ses effets.

● Lors d'un séisme, tous les bâtiments sont susceptibles de bouger, pouvant s'endommager sévèrement et même s'effondrer. Avec les secousses, des dangereuses chutes d'objets peuvent se produire autant à l'intérieur comme à l'extérieur du bâtiment.

● Un séisme peut aussi engendrer d'autres phénomènes à l'échelle du territoire tel qu'un tsunami ou des glissements de terrain. Ces événements peuvent être dangereux et il faut être vigilant aussi après les secousses.

▶ Il existe des stratégies pour se protéger durant et juste après un séisme. Il faut savoir ranger les objets, savoir où se placer pour se protéger (dans un bâtiment ou à l'extérieur), savoir s'il faut sortir du bâtiment et comment le faire en sécurité.
Des mesures de protection individuelle peuvent s'apprendre et aident à sauver des vies.

Grand Public

● Dans une région sismique, tel qu'en Guadeloupe, il y a régulièrement des séismes violents. Nous ne pouvons pas prédire le moment du tremblement de terre, par contre nous pouvons nous préparer pour minimiser ses effets.

● Lors d'un séisme, tous les bâtiments sont susceptibles de bouger, pouvant s'endommager sévèrement et même s'effondrer. Avec les secousses, des dangereuses chutes d'objets peuvent se produire autant à l'intérieur comme à l'extérieur du bâtiment.

● Un séisme peut aussi engendrer d'autres phénomènes à l'échelle du territoire tel qu'un tsunami ou des glissements de terrain. Ces événements peuvent être dangereux et il faut être vigilant aussi après les secousses.

▶ Il existe des stratégies pour se protéger durant et juste après un séisme.
Des mesures de protection individuelle peuvent s'apprendre et aident à sauver des vies.

▶ Les codes de construction parasismique permettent d'édifier selon les normes pour les zones sismiques. Avec l'accompagnement de professionnels compétents, les bâtiments existants peuvent être renforcés au niveau parasismique si nécessaire.

▶ En Guadeloupe, les «Plans de Prévention des Risques Naturels» (PPRN) documents qui recensent les risques de chaque commune. Vous pouvez vous rapprocher des agents municipaux pour en prendre connaissance.

1 L'ORIGINE DU SÉISME

OBJECTIF

Comprendre qu'on ne peut pas prédire le prochain séisme mais qu'on connait les zones à risque.

CONTENUS

1. La croûte terrestre est constituée de plaques en mouvement les unes par rapport aux autres.
2. Le mouvement lent et continu des plaques déforme progressivement les roches avec des forces qui accumulent de l'énergie.
3. La rupture brutale de la roche libère soudainement l'énergie accumulée.
4. La plupart des séismes se produisent à l'encontre des plaques tectoniques.
5. La magitude d'un séisme est la quantité d'énergie libérée au foyer.

▶ **Nous ne pouvons pas prédire le prochain séisme mais nous connaissons les zones à risque.**

SUPPORTS

GRAPHIQUE « Les Couches de la Terre »
GRAPHIQUE « Les Plaques Tectoniques en Mouvement »
GRAPHIQUE « Plaques tectoniques et séismes »
GRAPHIQUE « Subduction dans l'Arc antillais »
GRAPHIQUE « Séismes Historiques des Petites Antilles »
GRAPHIQUE « La Magnitude d'un Séisme »
IDÉE MANIP' GRAPHIQUE « Le puzzle des plaques tectoniques »
IDÉE MANIP' Flipbook « La valse des continents »
IDÉE MANIP' « Moment Rupture »

MOTS CLÉS

- Plaques tectoniques
- Croûte terrestre
- Rupture sismique
- Foyer
- Magnitude
- Période de retours
- Subduction
- Zones à risque sismique

MÉTHODE

- Présentation semi-directive avec des supports graphiques invitant à la participation du public pour un partage de connaissances.
- Contenus à adapter par l'animateur en fonction du public et du temps disponible pour la séance.

CONTROLE DES ACQUIS

- Où sont localisés les séismes ?
- Quelle est l'origine de la secousse ?
- Comment mesurer la puissance d'un séisme ?
- Comment détecter un séisme ?

L'ORIGINE DU SÉISME

CONTENUS

Sous la fine écorce, épaisse de quelques kilomètres, il n'y a pas un océan de magma en fusion mais de la roche compacte et chaude : c'est le manteau terrestre. À l'échelle des temps géologiques (des millions d'années) cette matière se déforme. Elle est remuée lentement en raison des hautes températures du noyau, comme les volutes formée par l'eau qui chauffe : c'est le phénomène de convection thermique. Ce long brassage des roches chaudes est responsable de la création et du mouvement permanent des plaques tectoniques à la surface du globe. 1

La **croûte terrestre**, cette « mince » couche mobile à la surface du manteau, est rigide, cassante mais aussi légèrement élastique, et se déforme imperceptiblement sous l'effort et les frottements. La roche est maintenue en tension croissante durant des années, voire des siècles, en raison du mouvement lent et continus des **plaques tectoniques**. 2

Les roches vont ainsi accumuler de l'énergie jusqu'au moment de la rupture brutale du massif rocheux qui engendre un tremblement de terre. Cette **rupture sismique** ne dure que quelques secondes (ou quelques minutes, au maximum, pour les plus forts séismes) mais elle dégage une gigantesque quantité d'énergie. 3

La formation des chaînes de montagnes et les phénomènes sismiques (et volcaniques) sont dûs aux mouvements de plaques tectoniques à la surface de la terre. En raison de leur origine, la plupart des séismes se déclenchent le long des bords de plaques tectoniques. 4

Les spécialistes sont actuellement capables d'identifier des zones faillées propices aux séismes ; ils sont aussi capables de mettre en évidence des déformations importantes qui peuvent être l'indice que des contraintes tectoniques s'exercent de façon dangereuse. En revanche, les sismologues ne peuvent prévoir ni l'instant ni le lieu précis de la rupture.

Un **séisme**, ou tremblement de terre, résulte du déplacement instantané qui se produit lorsque les efforts créés par les mouvements des plaques téctoniques divergents (extension), convergents (compression) ou en coulissage (cisaillement) deviennent supérieurs aux efforts résistants admissibles par les matériaux constituant les plaques.
Le lieu où cette libération brusque d'énergie provoque la rupture des roches en profondeur, se nomme le **foyer**. La rupture des roches en surface s'appelle une **faille**.
Le séisme est superficiel ou profond en fonction de la profondeur du foyer ; faible (quelques kms) ou à grande profondeur (plusieurs dizaines ou centaines de kms).

La violence du séisme dépend de la quantité d'énergie stockée au niveau de la faille avant le séisme et de la profondeur du foyer par rapport à la surface.

Les cycles sismiques

Les mouvements et les forces tectoniques sont lents et continus. La roche comprimée et cisaillée finit par se rompre brutalement lors d'un séisme. Mais une fois que cet événement, très bref dans le temps, est achevé, les forces motrices poursuivent leur action et remettent lentement la roche sous contrainte… jusqu'au prochain séisme. C'est un éternel recommencement, une alternance entre le « chargement intersismique » et une rupture brève et brutale, le séisme.

On appelle cette répétition le « **cycle sismique** » ou « **période de retour** ».

Bien que le phénomène ne soit pas totalement régulier (sauf statistiquement et sur le long terme) l'une des approches de la prévision sismique est d'essayer de suivre et d'évaluer à quel stade on se trouve dans le cycle d'une faille.

La magnitude d'un séisme

Lorsqu'on parle d'un séisme, on le décrit d'abord par sa « **magnitude** » avec l'échelle dite de Richter qui correspond à l'évaluation de l'énergie dégagée par un séisme à sa source lors de la rupture. 5
C'est ainsi une mesure de sa « puissance » qui peut être reliée directement à la taille de la rupture qui a produit le séisme (dimension de la faille). Il existe donc une relation proportionnelle entre l'énergie du séisme et les caractéristiques physiques de la rupture sismique : la surface de la faille et la longueur du glissement. C'est une mesure recentrée sur l'objet géologique à la source même du séisme et sur les principes physiques fondamentaux.

Mesurer la magnitude : l'échelle Richter

En 1935, Charles Richter, sismologue américain qui étudiait les séismes de Californie, se rendant compte qu'il lui fallait classifier les séismes autrement que par les dénominations « gros séisme » ou « petit séisme », a établi l'échelle de magnitude qui porte son nom et traduit la puissance d'un séisme.
Cette échelle n'est pas linéaire mais logarithmique. Un séisme de magnitude 6 sera environ 30 fois plus énergétique qu'un séisme de magnitude 5, et près de 1000 fois plus qu'un séisme de magnitude 4.
La magnitude d'un séisme est le résultat d'un calcul réalisé à partir de mesures sismologiques. Elle n'a de limite inférieure que les performances instrumentales. Il n'y a pas non plus, en théorie, de magnitude maximale. Cependant, le séisme le plus fort jamais enregistré dans l'histoire est de magnitude 9,5 (Chili, 1960). Le seisme de 2004 ayant engendré un dévastateur tsunamie en Indonésie, était de 9,2 pour une faille de 1200km.
Une magnitude supérieure à 10 est peu crédible sur Terre puisqu'elle correspondrait à une rupture de plusieurs milliers de kilomètres.

Dans une région sismique donnée, si l'on compte le nombre de séismes par tranches de magnitude, on observe qu'il y a plus de petits séismes que de gros, et ce suivant une répartition très simple : si l'on augmente la magnitude d'une unité, on divise le nombre de séismes par 10.
Cette loi, dite de « puissance », fut découverte par Beno Gutemberg et Charles Richter en 1954. Elle est étonnamment reproductible car elle traduit des principes physiques fondamentaux liés à la libération d'énergie. Elle s'applique à toutes les échelles spatiales et à toutes les périodes de temps, que la région soit fortement sismique ou non : la Terre entière, la région des Petites Antilles ou la zone de réplique des Saintes par exemple.

2 PROPAGATION DU SÉISME

OBJECTIF

Comprendre qu'un séisme libère de l'énergie qui se propage sous forme d'ondes dans toutes les directions

CONTENUS

1. L'énergie libérée se propage de manière concentrique dans toutes les directions.
2. L'énergie se propage dans le sol sous forme d'ondes de différentes nature.
3. Selon le type d'onde, elles se propagent à différentes vitesses.
4. Les ondes provoquent des mouvements du sol

▶ **Un séisme libère de l'énergie qui se propage sous forme d'ondes dans toutes les directions.**

SUPPORTS

GRAPHIQUE « LES DIFFÉRENTES ONDES SISMIQUES »
IDÉE MANIP' GRAPHIQUE « Le ressort »
IDÉE MANIP' GRAPHIQUE « Les rides de sable dans l'eau »

MOTS CLÉS

- Ondes sismiques
- Ondes de volume
- Vibrations
- Mouvement
- Compression
- Cissaillement

MÉTHODE

- Présentation semi-directive avec supports graphiques invitant à la participation du public pour un partage de connaissances.
- Contenus à adapter par l'animateur en fonction du public et du temps disponible pour la séance.

CONTROLE DES ACQUIS

- Comment l'énergie libérée par un séisme se propage-t-elle ?
- Qu'est-ce qu'une onde ?
- Quels sont les types d'ondes sismiques ?
- À quelles vitesses se propagent les ondes ?
- Quels mouvements génèrent les différentes ondes sismiques ?

2 PROPAGATION DU SÉISME

CONTENUS

Lors du déplacement de la roche le long d'une faille, l'énergie libérée se propage dans toutes les directions à partir du foyer. 1

Avec la rupture, des **ondes sismiques** sont émises : elles se propagent dans le sol jusqu'à la surface de la Terre. Comme un caillou choquant la surface d'un lac, le choc sismique entraine la propagation d'ondes dans le sol. 2
La rupture sismique est un phénomène complexe qui, lorsqu'il se produit, provoque simultanément plusieurs types d'ondes dont les principales sont les **ondes P** et les **ondes S**. Les ondes P et S se propagent à l'intérieur de la Terre (on les appelle « **ondes de volume** »).

Il existe aussi des ondes dites « de surface » qui se propagent à la surface du globe.

Ces ondes, selon leur nature se déplacent à différentes vitesses. 3
L'ordre de grandeur des vitesses des ondes sismiques dans la Terre est de quelques kilomètres par seconde. Pour l'onde P : 6 km/s dans la croûte, avec un maximum de 14 km/s dans le manteau inférieur. L'onde S est plus lente que l'onde P.
Les ondes dites de surface se propagent plus lentement que les ondes P et S, à des vitesses de l'ordre de 4 km/s.
La vitesse de propagation des ondes dépend aussi du milieu : de la matière (solide, liquide, gazeuse) qu'elles traversent et de leur densité du sol (plus ou moins dur).

L'énergie libérée se propageant sous la forme d'ondes provoque des **vibrations** qui génèrent des **mouvements** du sol. 4
L'onde P (onde de **compression**) comprime et dilate le milieu lors de son passage. Une onde sonore (le son produit par une guitarre ou une station radio, par exemple) est un type particulier d'onde de compression qui se propage dans l'air en comprimant et dilatant les tranches d'air qui se trouvent sur son passage.)

L'onde S (onde de **cisaillement**) cisaille le milieu lors de son passage.

Les ondes P - « Primaires »

- dilatation-compression
- haute fréquence
- vibrations rapides
- faible amplitude
- peu d'énergie
- plus rapides (environ 6 km/seconde soit plus de 20 000 km/h)
- Ondes « Primaires » car ce sont les premières que l'on perçoit.

> IDÉE MANIP' GRAPHIQUE « Le ressort »

Ondes S - « secondaires »

- cisaillement
- basse fréquence vibrations lentes
- vibrations lentes
- grande amplitude
- beaucoup d'énergie
- plus lentes (environ 3 km/seconde)
- Ondes « Secondaires » car ce sont les secondes que l'on perçoit.

> IDÉE MANIP' GRAPHIQUE « Les rides de sable dans l'eau »

3 RESSENTI DU SÉISME À LA SURFACE

OBJECTIFS

Comprendre que les ondes sismiques arrivent en surface et des vibrations peuvent être ressenties par la population.

CONTENUS

1. Quelques secondes après le séisme, les ondes arrivent sur la surface terrestre
2. Les ondes sismiques arrivent à la surface en deux temps
3. Sur la surface terrestre, l'intensité d'un séisme est inégalement ressentie par la population
4. Plus on s'éloigne de l'épicentre, plus l'intensité est faible (généralement)
5. L'intensité d'un séisme est une évaluation de ces effets à la surface terrestre

▶ **Les vibrations peuvent être ressenties par la population.**

SUPPORTS

GRAPHIQUE « Intensité d'un Séisme »
GRAPHIQUE « Effets de Site »
IDÉE MANIP' GRAPHIQUE « Les ondes à la surface de l'eau »

MOTS CLÉS

- Sismomètre
- Intensité
- Épicentre
- Effets de site

MÉTHODE

- Présentation semi-directive avec supports graphiques invitant à la participation du public pour un partage de connaissances.
- Contenus à adapter par l'animateur en fonction du public et du temps disponible pour la séance.

CONTROLE DES ACQUIS

- Comment les différentes ondes sismiques (P et S) sont-elles ressenties à la surface ?
- Qu'est-ce que l'intensité d'un séisme ?
- Comment peut-on mesurer l'intensité d'un séisme ?
- Quels sont les effets de site ? Où se produisent-ils ? Pourquoi sont-ils dangereux ?

3 RESSENTI DU SÉISME À LA SURFACE

CONTENUS

Quelques secondes après le séisme, les ondes arrivent sur la surface terrestre. 1
Les ondes sismiques et les vibrations du sol engendrées par les séismes peuvent être détectées par des capteurs appelés **sismomètres** et enregistrées par des appareils appelés **sismographes**. Le sismomètre fournit l'amplitude de la vibration visible dans le sismogramme qu'il restitue. C'est grâce à ces enregistrements que l'on peut localiser le séisme avec précision et en déterminer sa magnitude.

Les ondes sismiques arrivent à la surface en deux temps. 2
La différence entre les ondes P et S explique le ressenti généralement en deux temps d'un fort séisme. Les ondes P arrivent en premier, souvent modérées en amplitude, et se traduisent par des vibrations ou simplement un grondement sonore. Si le séisme est de magnitude moyenne ou très éloigné, elles peuvent passer inaperçues. Les ondes S arrivent quelques secondes plus tard. Elles sont plus fortes, plus amples, plus énergiques et plus destructrices.
Le délai entre l'arrivée des deux trains d'ondes dépend de la distance du foyer sismique : à 200km, il sera de 25 secondes alors qu'à 15 km il devient inférieur à 2 secondes.

Sur la surface terrestre, « l'**intensité** » d'un séisme varie principalement selon la distance au foyer. Ainsi, le même événement peut être inégalement ressenti par la population. 3
Généralement, « **l'épicentre** » (point de la surface de la Terre situé à la verticale du foyer) est l'endroit plus touché par le tremblement. 4 La profondeur du foyer aura aussi une grande influence sur l'intensité.

Si le séisme est suffisamment fort et si la région est habitée, ces ondes peuvent aussi être ressenties par l'homme et provoquer des dégâts. L'analyse des dégâts et des modifications apportées à l'environnement en un endroit donné permet d'attribuer à cet endroit une « **intensité** » qui varie donc d'un point à un autre. L'intensité d'un séisme est estimée par observation des désordres sur les bâtiments et les infrastructures, ainsi que par la perception de l'événement par la population. 5

Pour la mesure de l'intensité, les populations jouent donc un rôle déterminant en tant que « capteurs » des événements puisque, même sans dommages, un séisme est généralement perceptible. Ainsi, le Bureau Central Sismologique Français (BCSF) met à disposition un formulaire sur la « perception de l'intensité sismique ». Cette « enquête macrosismique » consiste à traduire en termes « concrets » ou qualitatifs, les dommages occasionnés et la perception de l'événement de façon à établir une « intensité ressentie ».

L'Échelle Macrosismique Européenne (EMS 98), gradée de I à XII, en vigueur actuellement, est relativement équivalente à l'échelle Mercalli Modifiée (MMS) qui est utilisée dans le reste du monde.
Pour les séismes dits historiques (ceux qui se sont produits avant 1960 environ), les observations et les descriptions des dégâts sont les seules informations disponibles pour déterminer l'échelle de l'événement et estimer une magnitude approximative.

Intensité ≠ Magnitude

L'intensité d'un séisme n'a pas une relation directe avec la magnitude : un séisme de forte magnitude se propageant à partir d'un foyer profond et dans une région peu peuplée sera peu destructeur et donc de faible intensité ; à l'inverse, un séisme de faible magnitude dont le foyer est proche de la surface, pourra être très destructeur et donc qualifié de forte intensité.

Aux Petites Antilles, les deux derniers grands séismes de la région peuvent être évoqués pour illustrer l'influence de la profondeur dans l'intensité. Le séisme des Saintes (2004) d'une magnitude de 6.3 à une profondeur d'environ 10 km, a eu une intensité maximale de VIII. Le séisme de Martinique (2007) d'une magnitude de 7,2 à une profondeur de 150km a eu une intensité maximale de VI.

Amplification des ondes par les « effets de site »

Pour un séisme de magnitude donnée, le mouvement du sol est généralement maximal à l'aplomb de la faille et décroît avec la distance. Cependant, le mouvement du sol peut varier localement en fonction de la topographie du site et/ou de la constitution du sous-sol. Ainsi, les désordres sont amplifiés pour des sites présentant des reliefs importants ou dont le sous-sol comporte des couches d'alluvions de grande épaisseur.

Suivant la géologie du terrain et la topographie, les ondes sismiques seront modifiées en fréquence, en amplitude et en durée. Si un sol est dur (typiquement du rocher) il réagit « normalement » aux ondes sismiques, un sol meuble (typiquement des alluvions ou du sable) ou une vallée encaissée peut les amplifier localement. Cette amplification peut parfois être d'un facteur 5 à 10 dans les cas plus défavorables. C'est ce que l'on appelle les « effets de site ».

On appelle **effets de site**, l'amplification des ondes sismiques qui se produisent principalement dans deux cas :

- au sommet des collines et des montagnes ;
- lorsqu'une vallée a été l'objet d'une importante sédimentation peu consolidée comme par exemple une vallée remplie par des alluvions non consolidés, des marais ou des tourbières.

Dans les deux cas, les ondes sismiques se trouvent piégées dans la structure.

- Dans la montagne, les ondes se réfléchissent d'un flanc à un autre.
- Dans la vallée, une fois qu'elles ont pénétré dans la zone d'alluvions meubles, elles ne peuvent s'en échapper et se réfléchissent sur les flancs et sur le fond de la vallée.

Contrairement à ce que l'on pourrait donc croire, il est mieux, dans une zone sismique, de construire sur la roche plutôt qu'en plein milieu d'une plaine alluviale si l'on veut éviter les effets de site. Mais il ne faut bien sûr pas monter trop haut sur le flanc de la vallée, car on se rapprocherait alors de l'autre cas de figure qui donne lui aussi des amplifications du mouvement du sol.

4 EFFETS DIRECTS D'UN SÉISME

OBJECTIF

Comprendre que les caractéristiques physiques de construction et la nature du sol ont une grande influence sur le risque sismique.

CONTENUS

1. Les ondes sismiques génèrent des mouvements du sol dans différentes directions.
2. Les mouvements du sol sont transmis aux bâtiments au niveau des fondations.
3. Le bâtiment est sollicité avec des forces verticales, horizontales et de torsion.
4. Les forces horizontales et de torsion sont les plus destructrices.
5. En fonction des matériaux, la capacité du bâtiment à se déformer sera plus ou moins grande.
6. Il faut éviter que le bâtiment entre en résonance avec le sol.

SUPPORTS

MANIP' « Les pendule simple »
MANIP' « Les rythmes des pendules »
MANIP' « La résonance des pendules »
MANIP' « Les portiques - Masses »
MANIP' « Les portiques - Hauteurs »
MANIP' « Les portiques - Matériaux »
MANIP' « Les Kaplas »
GRAPHIQUE « Les Pendules »
GRAPHIQUE « Les Portiques »
IDÉE MANIP' « Le Pendule Inversé »
IDÉE MANIP' « Les Diapasons »

MOTS CLÉS

- Ondes de surface
- Accélerations du sol
- Sollicitations mécaniques
- Oscillation
- Raideur
- Fréquence propre
- Résonance

MÉTHODE

- Apprentissage à travers la manipulation des expériences par les participants.
- Les différents exercices apportent une compréhension du sujet à travers l'action.
- Le discours est construit collectivement en théorisant les pratiques.
- Contenus à adapter par l'animateur en fonction du public et du temps disponible pour la séance.

CONTRÔLE DES ACQUIS

- Comment bougent les bâtiments lors d'un séisme ?
- Quelles sont les paramètres qui influencent sur la fréquence propre d'une structure ?
- Comment éviter que le bâtiment entre en résonance avec les mouvements du sol ?

EFFETS DIRECTS D'UN SÉISME

CONTENUS

Les séismes se manifestent à la surface du sol par un mouvement de « va-et-vient », amplifié par les « **ondes de surface** » et notamment par les ondes de Love. Ces mouvements sont caractérisés par le déplacement et l'accélération du sol. Lors d'un séisme, c'est le sol qui est moteur. 1

Les constructions sont liées au sol au moins par leurs fondations et éventuellement par des parties enterrées en sous-sol. Ainsi, les éléments de construction solidaires du sol suivent les déplacements du sol. Les mouvements du sol sont transmis aux bâtiments au niveau des fondations. 2

Les « **sollicitations mécaniques** » que le séisme engendre sont diverses. Les vibrations du sol vont solliciter le bâtiment avec des forces verticales, horizontales et de torsion. Les effets d'un tremblement de terre sur les constructions sont principalement liés aux forces verticales (ondes de Rayleigh) et aux forces horizontales (ondes de Love). 3

Les bâtiments sont toujours construits pour supporter le poids des matériaux attirés par la force de gravité qui exerce une force verticale vers le bas. Les variations verticales de l'accélération sismique ont pour effet de modifier momentanément le poids des matériaux (les alléger ou les alourdir).
Les structures se comportent généralement bien aux sollicitations verticales de compression.

Ce sont des sollicitations latérales et de torsion auxquelles le bâti n'est généralement pas préparé. Les forces latérales et de torsion peuvent être très destructrices. 4

Du fait de leur masse, par inertie, les parties en élévation du bâtiment ne suivent pas instantanément le mouvement et il s'ensuit une déformation de la structure. Ancré au sol, le bâtiment bascule, il se balance ; on dit qu'il entre en « **oscillation** ».

Durant le séisme, un ouvrage est sollicité en « **oscillation forcée** » (par les mouvements engendrés par les ondes sismiques) puis, après les secousses, en « **oscillation libre** » jusqu'à revenir à sa position d'équilibre. Les variations horizontales produisent un effet équivalent à une inclinaison (comme si le bâtiment était penché). À cela s'ajoutent des forces de torsion, de compression et d'étirement.

En fonction de la **masse** du bâtiment, les sollicitations latérales seront plus ou moins grandes. Les ondes sismiques vont secouer les bâtiments dans des proportions d'accélération de 20%, 50%... parfois plus de 100% de la valeur de la pesanteur et ce dans toutes les directions.

- Si les constructions ont été conçues et réalisées en considérant les efforts sismiques, avec un tremblement elles oscilleront sans dommage majeur.
- Si le bâtiment n'a pas été conçu pour résister à ces mouvements oscillatoires, il risque de se briser, de perdre sa stabilité et de s'effondrer.

Absorber les déformations du bâtiment 5

Les normes parasismiques ont pour objectif de proposer des constructions qui résistent aux déplacements verticaux, aux accélérations horizontales et aux mouvements de torsion. Cette résistance dépendra du type de matériaux et de leur agencement dans la structure du bâtiment. En fonction des **matériaux**, la capacité du bâtiment à se déformer sera plus ou moins grande.

Un bâtiment **souple** est plus déformable
- Il a une grande amplitude d'oscillation
- Il revient à sa position initiale sans casser
- Il absorbe les déformations

Un bâtiment **rigide** est moins déformable
- Il a une petite amplitude d'oscillation
- Il peut se fissurer
- Il résiste aux déformations

La rigidité n'est pas synonyme de solidité. En fonction de la **raideur** du bâtiment, les sollicitations latérales seront plus ou moins grandes. La raideur est la caractéristique qui indique la résistance à la déformation élastique d'un corps. Les raideurs d'un bâtiment et de ses masses constituantes vont permettre d'obtenir les « périodes propres » de l'ouvrage.

Parfois, une bonne solution est d'absorber les déformations plutôt que de tenter de leur résister (tel un roseau qui plie et ne se rompt pas). La **ductilité** du bâtiment sera sa capacité à absorber les déformations.

Ainsi, la structure d'un bâtiment peut être composée d'un assemblage d'éléments rigides reliés par des éléments plus souples et déformables.

Limiter les oscillations du bâtiment 6

La fréquence propre du bâtiment dépend de sa **masse**, de ses **dimensions** et de ses **matériaux**.
Les normes parasismiques vont viser à limiter les vibrations liées à ce que l'on appelle la « fréquence propre » des bâtiments.
Une structure, comme tout objet, soumis à une impulsion latérale, vibre à un rythme régulier, selon sa « **fréquence propre** ». Chaque objet physique a une fréquence particulière de vibration qui peut le faire entrer en résonance. Selon la forme, la masse et les matériaux dont il est constitué, un bâtiment aura tendance à vibrer sur sa fréquence propre.

Si la fréquence propre du bâtiment est proche à la fréquence des vibrations sismiques, le bâtiment entre en résonance avec les vibrations du sol. Dans ce cas, l'amplitude des oscillations de la structure augmenteront ainsi que le risque de rupture et d'effondrement.
Il faut donc éviter que les bâtiments entrent en résonance avec les vibrations sismiques transmises.
Un ouvrage parasismique sera par conséquent conçu pour ne pas contenir des fréquences propres dans la gamme de celles des séismes et surtout du terrain sur lequel on le construit.
La construction parasismique révèle d'un savoir-faire spécifique qui intègre l'étude du terrain d'implantation. Aujourd'hui, les professionnels de la construction ont les connaissances scientifiques et techniques nécessaires pour concevoir et réaliser des bâtiments pouvant supporter les séismes plus violents, sur pratiquement tous les types de sols. Cependant, pour des questions de coûts, les normes parasismiques sont le résultat d'un compromis qui est d'assurer la sécurité maximum des occupants et non de préserver parfaitement le bâtiment lui-même. Ainsi, on va déclarer inconstructibles certains terrains difficiles.

5 EFFETS INDUITS D'UN SÉISME

OBJECTIFS

La construction parasismique doit prendre en considération l'environnement du bâti.

CONTENUS

1. Un séisme peut avoir plusieurs « effets induits » à l'échelle territoriale
2. Liquéfaction des sols
3. Glissements de terrain
4. Tsunamis

SUPPORTS

MANIP' « La Dilatance »

FICHE GRAPHIQUE « Liquéfaction des Sols »

FICHE GRAPHIQUE « Glissements de Terrain »

FICHE GRAPHIQUE « Tsunamis »

MOTS CLÉS

- Effets induits d'un séisme
- Liquéfaction des sols
- Glissements de terrain
- Tsunamis

MÉTHODE

- Apprentissage à travers la manipulation des expériences par les participants.
- Les différents exercices apportent une compréhension du sujet à travers l'action.
- Le discours est construit collectivement en théorisant les pratiques.
- Présentation semi-directive avec supports graphiques invitant à la participation du public pour un partage de connaissances.
- Contenus à adapter par l'animateur en fonction du public et du temps disponible pour la séance.

CONTRÔLE DES ACQUIS

- Qu'est-ce que l'effet induit d'un séisme ?
- Quels peuvent être les effets induits d'un séisme ?
- Comment peut-on réduire les risques de ces effets induits ?

5 EFFETS INDUITS D'UN SÉISME

CONTENUS

Au-delà des vibrations du sol qui génèrent des forces et sollicitent les bâtiments, un séisme peut avoir aussi d'autres conséquences à l'échelle territoriale et qui peuvent avoir aussi un impact sur le bâti. C'est ce que l'on nomme les « **effets induits** » d'un séisme. 1
Sous certaines conditions, plusieurs phénomènes peuvent se déclencher avec la libération d'énergie sismique :

Les vibrations d'un séisme peuvent modifier la consistance du sol ; c'est la **liquéfaction des sols.** 2
Le passage d'une onde sismique peut provoquer dans certaines formations géologiques la perte de résistance mécanique d'un sol sableux saturé en eau. Ainsi, un sol « mou » et humide peut devenir liquide en perdant ses capacités pour charger du poids (caractéristique propre des solides).
La déconsolidation soudaine du matériau se traduit par la déstructuration du sol, rendant particulièrement instables les constructions reposant sur ces formations. Les objets lourds tels que les bâtiments vont alors s'enfoncer irrégulièrement dans le sol avec le risque de basculement.
Le phénomène de liquéfaction se produit sous sollicitation sismique et concerne certaines formations géologiques (sables, limons, argiles,...) peu compactes et avec une granulométrie uniforme (comprise entre 0,05 et 1,5 mm). De plus, le sol doit se trouver saturé en eau.
En Guadeloupe, de nombreuses zones côtières et marécageuses (mangroves) sont susceptibles de se liquéfier. Il est très important de faire des études de sol pour connaître la nature du terrain d'implantation. Pour cela, on peut faire appel à des professionnels et se référer aux études préalables (PLU, PPRN,..)

Dans les zones au relief accentué, la secousse sismique peut déclencher des **glissements de terrain** plus ou moins importants entraînant la chute de matériaux rocheux. 3
En Guadeloupe, le séisme des Saintes en novembre 2004 a provoqué de nombreux glissements de terrain aux Saintes et au sud de la Basse-Terre. Après une saison particulièrement pluvieuse, au moment du tremblement, le sol se trouvait gorgé d'eau. Ainsi, les secousses ont déstabilisé des terrains déjà fragilisés par les intempéries. Les conditions climatiques ont favorisé un phénomène induit.

L'aléa mouvement de terrain est très présent en Guadeloupe avec des conséquences non négligeables en cas de séisme tels que des perturbations des voies de communication empêchant l'intervention de secours et des pertes humaines et matérielles. Les études à l'échelle régionale et communale sont essentielles à considérer dans la prévention du risque sismique.

Quelques minutes après un séisme, un **tsunami** (ou raz-de-marée) peut atteindre les côtes. 4
Un séisme sous-marin d'une forte magnitude peut provoquer un décrochement du plancher océanique. Cela peut arriver aussi avec d'autres corps d'eau tels que des grands lacs.
Un mouvement brusque de la faille immergée provoque un soudain déplacement d'une grande masse d'eau qui va se déplacer sous forme d'onde en se propageant dans toutes les directions et pouvant parcourir des centaines, voire des milliers de kilomètres.
À l'approche des côtes, l'onde va ralentir et s'amplifier en large vague (plus la profondeur diminue, plus la vague augmente) et s'abattre contre le littoral en inondant les zones côtières plus basses. Les dégâts causés par le tsunami peuvent être très importants, parfois même plus conséquents que ceux directement causés par les secousses.
Pour se prémunir, il est important de vigiler la côte : le retrait de la mer doit être interprété comme un signe de danger. Dans ce cas, il faut rejoindre des zones élevées par rapport au niveau de la mer et suivant les routes d'évacuation. Le déphasage entre le séisme et l'arrivée du tsunami permet de créer des systèmes d'alerte. Parfois, un tsunami peut arriver sur les côtes même quand le séisme s'est produit à des centaines ou des milliers de kilomètres.

En Guadeloupe, par sa nature insulaire, le risque tsunami est présent. Les experts pensent que le Séisme de Point-à-Pitre de 1843 ait été suivi d'un raz-de-marée.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AFPS - Le séisme des Saintes (Guadeloupe) du 21 novembre 2004, Rapport de mission, janvier 2005

AFPS - Construction parasismique des maisons individuelles aux Antilles, Guide CP-MI Antilles, 2004

AMACO - Fiche Manip' Retrait et fissuration de la terre argileuse, Atelier Matières à construire, 2015

BALANDIER, Patricia - Sismologie appliquée : Cours de construction parasismique. Volume 1, DDE Martinique, SECQUIP, 2001

BALADIER, Patricia - Sismologie appliquée : Cours de construction parasismique. Volume 2, DDE Martinique, SECQUIP, 2001

BALADIER, Patricia - Documents d'information à l'usage des constructeurs, DDE-Diren Guadeloupe, 2003

BALADIER, Patricia - Module pédagogique pour les responsables de réalisation des bâtiments. Programme de formation en construction parasismique, Plan Séisme Antilles, Direction Régionale de l'Environnement de Guadeloupe, 2009

BEAUDUCEL, François ; FEUILLET, Nathalie - Séismes des Antilles, IPGP, MdF Editions - SCITEP, 2015, 88 p.

BRGM - Scénarios Départementaux de Risques Sismique en Guadeloupe, Rapport final, septembre 2009

BRGM - Le risque sismique en France, coll. « Les enjeux des géosciences », 2009

CANAL, Patrice ; BAUQUIS, Pierre-René – Les ondes et la Terre, éditions Hirlé, 2008. 165 p.

CAÏMI, Annalisa ; MOLES, Olivier - Local Building Cultures for sustainable & resilient habitats. An illustrated catalogue of local good practices & technical solutions, CRAterre, 2018, 180 p.

CARAZAS AEDO, Wilfredo - Adobe : Guide de construction parasismique, éditions CRAterre

CARAZAS AEDO, Wilfredo - Réhabilitation : Guide de construction parasismique, éditions CRAterre

CRATERRE - Mallette pédagogique pour l'amélioration des architectures rurales en structure porteuse en bois dans le département du sud est d'Haïti

DIREN Martinique - C'est pas sorcier ! Spécial Séismes aux Antilles, 26 min, Sorcier productions, 2006

DE LA RICA, Jon - Méthodes et outils pédagogiques pour la valorisation des cultures constructives parasismiques, Mémoire DSA-Architecture de Terre, CRAterre-ENSAG, 2018

DUPONT DE DINECHIN, Matthieu ; MOLES, Olivier - Technical guide for master trainers: Earthquake resistant buildings using local materials in Kafal Ghar (Kashmir, Pakistan), editions CRAterre, 2006

FERREIRA MENDES, Miguel ; HOSTA, Julien ; LE GALL, Olivier - Technical guide for master trainers: Earthquake resistant buildings using local materials in Dolakha, Ramechhap and Sindhuli – Nepal, CRAterre-ENSAG, 2015

FRANCE 3 - C'est pas sorcier ! Risque sismique aux Antilles : des iles sous la menace d'une catastrophe, 26 min, Sorciers Production, 2010

HEDOUIN Stéphane - Comment réagis un ouvrage face à un séisme ? Forum des pédagogies

MAZARS, Jacky - Le risque sismique. Les séismes et leurs effets. La construction parasismique, Institut Polytechnique de Grenoble, 2011

PALAIS DE LA DÉCOUVERTE - Dossier enseignants de l'exposition : Séismes et volcans, vivre avec le risque, Unité Géosciences du groupe départemental sciences des Yvelines et Education-formation d'Universcience, 2015

ZACEK, Milan - Construire parasismique, éd. Parenthèses, 1996, 340 p.

ZACEK, Milan - Conception parasismique. Cahier 1 : Niveau avant-projet, Les Grands Ateliers, 2003

ZACEK, Milan - Conception parasismique. Cahier 2 : Vulnérabilité et renforcement, Les Grands Ateliers, 2004

SITES INTERNET

Cité des sciences - « Quand la Terre gronde »

Fondation La Main à la pâte - « Quand la Terre gronde »

Institut français des formateurs aux risques majeurs

L'esprit sorcier

Lycée Marie Curie d'Echirolles (38) - Séismes et constructions humaines

Musée de Sismologie - EOST Université de Strasbourg

Universcience.tv

Éduscol – Séismes et risques pour les populations