



*Liberté • Égalité • Fraternité*

**RÉPUBLIQUE FRANÇAISE**



**PPRN**  
**MARTINIQUE**

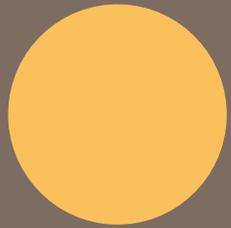
Plan de Prévention  
des Risques Naturels

PROJET

**ANNEXE 1**

# LES PHÉNOMÈNES NATURELS OBSERVÉS

PROJET



**PPRN**  
MARTINIQUE

Plan de Prévention  
des Risques Naturels

# SOMMAIRE

## ANNEXE 1 : Les phénomènes naturels observés

<b>I. Les Inondations</b>	
I.1 Les inondations dites « pluviales »	5
I.2 Le débordement des principaux cours d'eau	6
I.3 Les crues torrentielles	6
I.4 Les embâcles et ruptures d'embâcles	7
I.5 Historique	7
<b>II. Cyclones</b>	
II.1 Définition d'un cyclone	8
II.2 Les phénomènes cycloniques	9
II.2.1. La pression	9
II.2.2. Les vents	9
II.2.3. La houle cyclonique	9
II.2.4. La surcote cyclonique	10
II.2.5. Conséquences et phénomènes littoraux	13
II.3 Historique des principaux événements cycloniques	15
<b>III. Les Mouvements de terrain</b>	
III.1 Les chutes de blocs et éboulements	17
III.2 Les glissements de terrain	18
III.2.1. Caractéristiques d'un glissement de terrain	18
III.2.2. Types de glissements	18
III.2.3. Le phénomène en Martinique	19
III.2.4. Techniques de protection courante	20
III.3 Les coulées de boues	20
III.4 Historique non exhaustif des phénomènes naturels à Rivière Salée	21

# SOMMAIRE

<b>IV. Les Séismes</b>	
IV.1 Tectonique des plaques et répartition de la sismicité	22
IV.2 Qu'est-ce qu'un séisme ?	24
IV.3 le zonage sismique	26
IV.4 L'aléa sismique régional	27
IV.5 L'aléa sismique local	31
IV.6 Quels sont les phénomènes associés aux séismes ?	34
IV.7 Notion de vulnérabilité	36
IV.7.1. Quelques exemples d'effets de site	38
IV.7.2. Aléa liquéfaction	39
IV.7.3. Les effets de la liquéfaction	41
IV.7.4. Les failles actives	43
IV.7.5. Les conséquences des effets des failles actives	45
IV.8 Prise en compte des phénomènes sismiques dans le PPR	46
IV.9 Historique	47
<b>V. Les Eruptions volcaniques</b>	
V.1 Les tephra (retombées aériennes)	48
V.2 Les coulées pyroclastiques	49
V.3 Les intrusions et coulées de lave	49
V.4 Les émanations de gaz	49
V.5 Les lahars	50
V.6 Les mouvements de terrain	50
V.7 Historique	51
<b>VI. Les tsunamis</b>	
VI.1 définition d'un tsunami	52
VI.2 les trois phases d'un tsunami	52
VI.3 historique	53

Une inondation correspond au débordement des eaux hors du lit mineur à la suite d'une crue. Les eaux occupent alors tout ou partie du lit majeur du cours d'eau et empruntent d'autres chemins privilégiés.

Différents types d'inondations sont susceptibles d'affecter la Martinique, avec par ordre croissant de gravité :

- Les inondations dites « pluviales »,
- Le débordement des principaux cours d'eau,
- Les crues torrentielles,
- Les laves torrentielles et les ruptures d'embâcles.

Le phénomène inondation est essentiellement lié en Martinique au phénomène cyclonique. En effet, lors de dépressions tropicales ou d'ouragans, les vents s'accompagnent de pluies diluviennes de grande intensité et s'étendant sur une période assez étendue. Toutefois il faut noter que les petits cours d'eau peuvent entrer en crue rapidement en dehors des phénomènes cycloniques avec de simples pluies de forte intensité.

## I.1 LES INONDATIONS DITES « PLUVIALES »

Elles peuvent concerner :

- les zones de stagnation des eaux de pluies, en particulier en zone urbaine, où l'état et la capacité du réseau d'évacuation pluviale est souvent le facteur déterminant des inondations des quartiers les plus bas.
- les zones de dépression qui ne peuvent offrir aux eaux de pluies d'autres exutoires que l'infiltration dans le sous-sol ou l'évaporation ; celles-ci peuvent se trouver inondées sans qu'il existe de relation avec un cours d'eau. Il en est de même pour les zones à pente très faible où l'évacuation ne peut se faire que très lentement.

Le niveau et la vitesse de l'eau sont faibles. Il y a stagnation des eaux pluviales due à une capacité d'infiltration ou d'évacuation insuffisante ; lorsque ce type d'inondation intéresse des secteurs étendus, on parle d'inondation de plaine.

Ce type d'inondation n'est, en général, pas dangereux pour la vie humaine, mais peut engendrer des dégâts matériels lourds.

## I.2 LE DEBORDEMENT DES PRINCIPAUX COURS D'EAU

Suite à des pluies violentes ou durables, l'augmentation du débit des cours d'eau peut être telle que ceux-ci peuvent gonfler au point de déborder de leur lit, pour envahir des zones généralement de faible altitude et de faible pente (cours aval des rivières). Les dégâts peuvent être très élevés, et surtout, le risque de noyade existe (en particulier, lors de franchissement de gués lors de l'arrivée de l'onde de crue). Il s'agit généralement de débordement direct d'un cours d'eau : par submersion de berges ou par contournement d'un système d'endiguements limités. Le débordement indirect d'un cours d'eau peut se produire : par remontée de l'eau dans les réseaux d'assainissement ou eaux pluviales ; par remontée de nappes alluviales ; par la rupture d'un système d'endiguement ou autres ouvrages de protection.

## I.3 LES CRUES TORRENTIELLES

La crue torrentielle se forme par enrichissement du débit d'un torrent en matériaux solides qui accroissent très fortement son pouvoir érosif. L'enrichissement en matériaux peut provenir de leur arrachement des berges ou la mise en mouvement de blocs ou galets du fond du lit en raison du débit exceptionnel du cours d'eau ou à un ruissellement important sur le bassin versant amenant une importante charge solide. Le volume des matériaux transportés au cours d'une seule crue peut être considérable

Les laves torrentielles :

La lave torrentielle est un phénomène de crue particulier, qui consiste en la propagation d'un volume considérable de boue dense charriant des blocs, le tout provenant de dépôts volcaniques superficiels. Des écoulements de type lave torrentielle ont un pouvoir destructeur plus important qu'une crue torrentielle de débit équivalent, en raison, essentiellement, de la quantité de matériaux charriés ainsi que de la densité du fluide qui les transporte.

La lave torrentielle peut survenir le long d'une rivière lorsque :

- son bassin versant présente une partie sommitale vaste, dans des zones à fortes pentes,
- elle traverse des zones présentant un aléa mouvement de terrain affectant des formations géologiques particulières, peu cohérentes et présentant une quantité importante de matériaux fins.



Inondation pluviale à Fort-de-France  
Lors du cyclone Luis, 1995 - (Photo Météo)



Exemple d'inondation par débordement des cours d'eau,  
Lamentin lors des pluies de nov. 1984 - (France Antilles)



Crue torrentielle au niveau de la rivière aux herbes  
(Basse-Terre)

## I.4 LES EMBACLES ET RUPTURES D'EMBACLES

Un embâcle consiste en l'obstruction d'un cours d'eau par la constitution d'une digue naturelle entraînant une retenue d'eau importante. La digue peut être constituée soit par des éléments solides arrachés à l'amont et charriés par le cours d'eau, soit par l'obstruction du cours d'eau provoqué par un glissement de terrain.

En Martinique, il s'agit généralement d'embâcles de bambous et de bananiers. Ceux-ci obstruent les ponts ce qui inonde tous les terrains en amont du pont.

Les ruptures d'embâcles sont une rupture brutale de la digue ainsi que la propagation d'une onde de crue destructrice.

**Toutes les communes de la Martinique sont exposées au phénomène inondation. Par ailleurs, en Martinique, malgré le caractère saisonnier des pluies (maximum de pluviométrie en période cyclonique), aucune période ne peut être considérée comme sans risque d'inondation.**

## I.5 HISTORIQUE

Se référer à l'historique des cyclones du chapitre suivant.

A noter que des inondations peuvent également avoir lieu en dehors des périodes cycloniques, lors de phénomènes pluviométriques intenses, tels début mai 2009, juin et décembre 2010, avril 2011.



Exemple de lavetorrentielle, rivière du Prêcheur, janvier 1998.



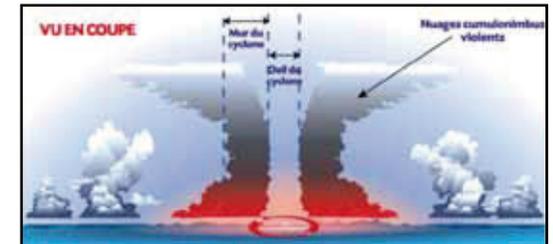
Pont Vert au Lamentin lors des pluies de novembre 1966.  
[France Antilles]

## II.1 DEFINITION D'UN CYCLONE

Le cyclone est une perturbation tourbillonnaire, de grande échelle, due à une chute importante de la pression atmosphérique prenant naissance au-dessus des eaux chaudes des océans de la zone intertropicale.

Sa structure se compose d'une énorme masse nuageuse, de forme quasi circulaire, d'un rayon compris entre 500 et 1 000 km, organisée en bande spiralée, avec en son centre l'œil du cyclone (possédant un diamètre de l'ordre de 30 km), et à sa périphérie le mur du cyclone

Les cyclones s'accompagnent généralement de pluies diluviennes, de fortes houles (houles cycloniques) et bien entendu de vents très violents. C'est d'ailleurs par la force du vent maximum qu'il engendre que l'intensité du cyclone est déterminée. Plusieurs échelles existent, notamment celle de Saffir-Simpson qui est utilisée dans l'Atlantique Nord pour classer les ouragans de 1 à 5.



Vue en coupe d'un cyclone.



Trajectoire des cyclones ayant intéressé la Martinique.

Dépression tropicale	Vents moyens $\leftarrow$ 63km/h	
Tempête tropicale	63 $\leftarrow$ vents (km/h) $\leftarrow$ 117	Pluies très abondantes, forte houle.
Ouragan de classe 1	118 $\leftarrow$ vents (km/h) $\leftarrow$ 153 Pœil $\rightarrow$ 980 hPa	Pluies diluviennes, très forte houle, marée de tempête encore faible.
Ouragan de classe 2	154 $\leftarrow$ vents (km/h) $\leftarrow$ 177 965 $\leftarrow$ Pœil (hPa) $\leftarrow$ 980	Pluies diluviennes, très forte houle, marée de tempête $\leftarrow$ 2,5 m.
Ouragan de classe 3	178 $\leftarrow$ vents (km/h) $\leftarrow$ 209 945 $\leftarrow$ Pœil (hPa) $\leftarrow$ 964	Pluies torrentielles, très forte houle, marée de tempête de plusieurs mètres par endroits.
Ouragan de classe 4	210 $\leftarrow$ vents (km/h) $\leftarrow$ 248 920 $\leftarrow$ Pœil (hPa) $\leftarrow$ 944	Pluies torrentielles, très forte houle, marée de tempête allant jusqu'à 4 m par endroits.
Ouragan de classe 5	249 km/h $\leftarrow$ vents Pœil $\leftarrow$ 920 hPa	Pluies torrentielles, houle énorme, marée de tempête $\rightarrow$ 4 m.

Echelle de Saffir-Simpson pour la classification des cyclones

Les cyclones se déplacent généralement selon une trajectoire parabolique allant, pour l'hémisphère Nord, en direction du nord-ouest, pour dévier aux latitudes plus élevées vers le nord-est

## II.2 LES PHENOMENES CYCLONIQUES

La puissance dévastatrice d'un cyclone s'exerce dans plusieurs domaines :

### II.2.1. La pression

Une baisse considérable de la pression atmosphérique peut être associée au passage d'un cyclone. Des bords du cyclone vers son centre, la pression tombe brutalement pour atteindre son minimum dans l'œil.

### II.2.2. Les vents

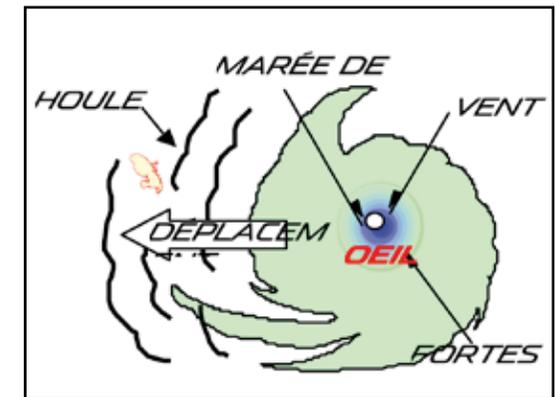
Les vents soufflent très forts (jusqu'à 350 km/h en rafale) en s'enroulant autour de l'œil, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre pour l'hémisphère Nord (inversement pour l'hémisphère Sud) et atteignent une force maximale lorsqu'ils sont proches du point de pression minimale.

La force du vent et les changements de direction peuvent occasionner des dégâts considérables. Son pouvoir destructeur n'est pas proportionnel à sa vitesse mais au carré de celle-ci.

### II.2.3. La houle cyclonique

Au cœur du cyclone, les vents très forts génèrent, par frottement avec la surface de la mer des vagues énormes (de l'ordre de la dizaine de mètres).

Ces vagues se déplaçant plus rapidement que le cyclone qui les a engendrées, elles peuvent être un signe annonciateur de son arrivée.



Formation des houles cycloniques

#### II.2.4. La surcote cyclonique

Le terme de surcote est employé pour désigner l'élévation du niveau de la mer due à l'onde de tempête.

La surcote dite « cyclonique » calculée dans le cadre du présent PPR Littoral, correspond à une différence entre 2 niveaux d'eau :

- Le niveau de la mer en temps normal, qui est le niveau de référence (il faut y ajouter la marée astronomique),
- Le niveau d'eau susceptible d'être relevé à l'occasion du passage d'un cyclone de référence.

La surcote cyclonique au large est principalement due à la baisse de pression. En s'approchant du rivage, se rajoutent les effets conjugués du vent (basculement du plan d'eau), du courant, et du déferlement des vagues (set-up). L'onde de tempête (storm-surge en anglais) peut être considérée comme une onde solitaire qui diffuse en permanence. Quand elle aborde des rivages, son énergie lui permet d'être amplifiée en fond de baie, là où l'accumulation d'eau est possible, ou bien, comme les vagues, par effet de remontée des fonds.

#### Les causes de la surcote cyclonique :

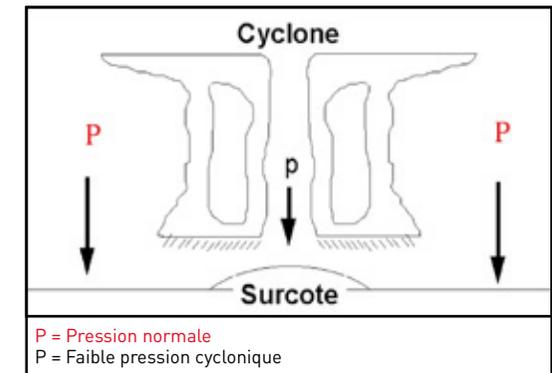
- Influence de la pression

La pression atmosphérique agit sur le niveau de la mer par l'effet de baromètre inverse. C'est à dire que le niveau d'eau varie de façon proportionnelle et inverse par rapport à la variation de la pression atmosphérique.

Une diminution de la pression atmosphérique provoque par conséquent une surélévation du niveau de la mer.

Ce phénomène atteint son paroxysme au cœur du cyclone, c'est à dire là où la pression est la plus faible.

**Une baisse de 1hPa de pression atmosphérique suffit à provoquer une augmentation de 1cm du niveau de la mer.**



Phénomène de surcote.

Ainsi, lors du passage du cyclone HUGO sur la Guadeloupe, on a pu relever des pressions de 940 hPa au centre du cyclone. Ce niveau de basse pression peut correspondre à une élévation du niveau de la mer, dans l'œil du cyclone, d'environ 70 cm.

- Influence du vent et de la profondeur d'eau

Lorsqu'un vent souffle sur la mer, il fait naître des courants dans la masse d'eau.

L'influence des vents de surface se fait sentir jusqu'environ 90 mètres de profondeur dans ce qu'on appelle la zone d'Ekman.

En pleine mer, ces courants ne provoquent pas de surcote car ils peuvent s'écouler librement à toutes profondeurs.

Il en est de même près d'une côte bordée par des eaux très profondes.

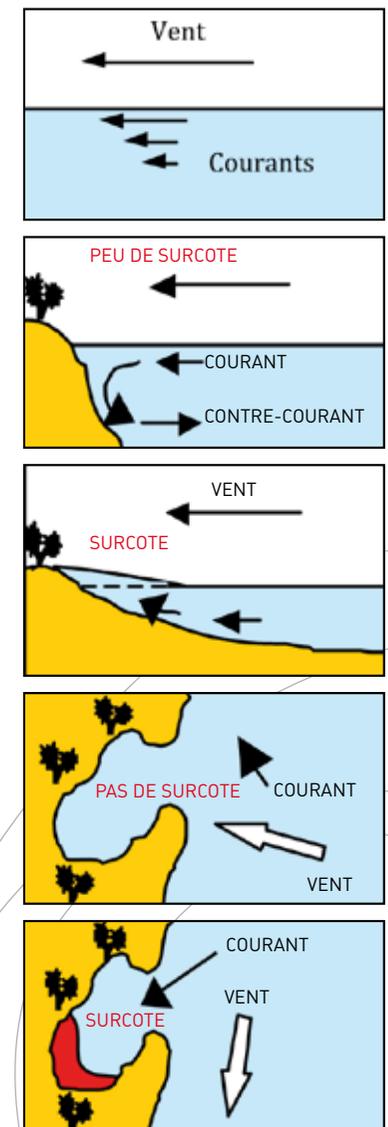
Par contre, dans les zones de faible profondeur, l'accumulation d'eau ne pourra être compensée efficacement ni par des contre-courants de profondeur, ni par des contre-courants de surface.

- Influence de la forme du rivage sur l'ampleur de la surcote cyclonique

Les phénomènes d'Ekman et de Coriolis modifient l'orientation du courant généré par le vent.

Conformément aux schémas ci-contre, l'orientation des vents et des courants par rapport au rivage influe sur l'ampleur de la surcote.

De manière générale, les côtes concaves favorisent les « marées de tempêtes », c'est le cas d'une baie, alors que les côtes convexes tentent à le réduire.



Influence du vent et du courant.

- Influence de l'agitation de la mer sur l'ampleur de la surcote cyclonique

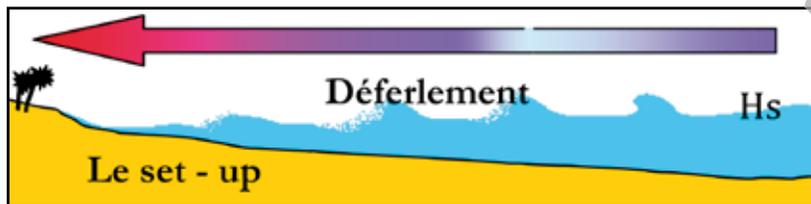
La **propagation de la houle** s'accompagne d'un courant en zone de déferlement.

A l'approche du rivage, ce courant provoque une accumulation d'eau qui est plus conséquente au fond des baies.

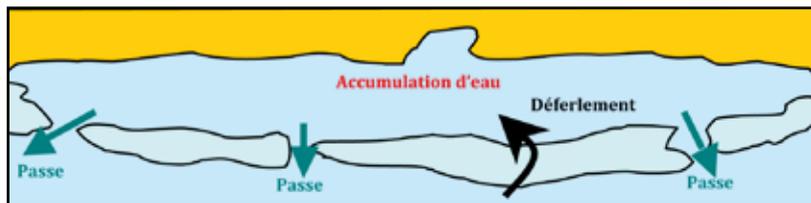
Cette accumulation d'eau provoque une surélévation du niveau de la mer.

Le **déferlement de la houle** à l'approche du rivage provoque deux phénomènes qui amplifient la surcote cyclonique. Ce sont le set - up et l'ensachage.

Le **set - up** correspond à une surélévation du niveau moyen de la mer due au déferlement des vagues au rivage. Son amplitude peut être estimée à environ 8% de la hauteur (  $H_s$  ) des vagues au large.



L'**ensachage** équivaut à une accumulation d'eau entre la barrière corallienne et le rivage. L'eau déversée par-dessus la barrière de corail par le déferlement des vagues est retenue par cette dernière.

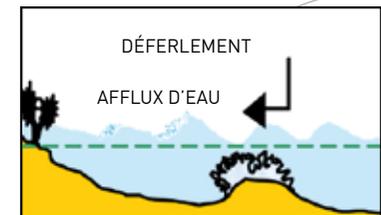
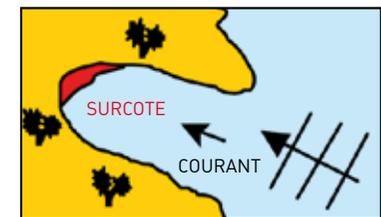


Phénomène d'ensachage.

$H_s$  : Hauteur significative. Cette valeur est statistique.

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

Recommandations de l'Association française du génie parasismique pour la rédaction de règles relatives aux ouvrages et installations à réaliser dans les régions sujettes à séismes, ou, en abrégé, Recommandations AFPS 92 : L'AFPS (Association Française du génie ParaSismique) a élaboré des recommandations pour les règles de construction.



### II.2.5. Conséquences et phénomènes littoraux

Les phénomènes cycloniques décrits ci-dessus ont, à l'approche des terres, des effets plus ou moins dévastateurs. Ils se traduisent de manière générale par :

#### A. L'EROSION MARINE

En conséquence de l'action du vent, du courant, des vagues et de la fluctuation du niveau de la mer, on constate une évolution du trait de côte parfois considérable :

- attaque des hauts de plage,
- rupture du cordon littoral,
- submersion de l'arrière plage.

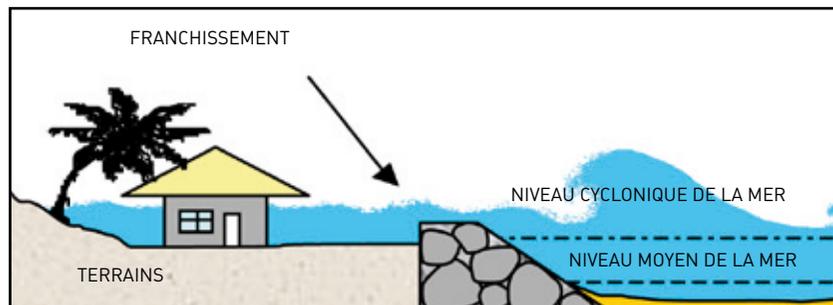


Exemple d'érosion côtière à Sainte-Marie

#### B. LA SUBMERSION MARINE

A l'occasion des marées de tempêtes, le niveau de la mer monte. Les terrains côtiers peuvent alors être temporairement inondés par la mer. C'est la submersion marine.

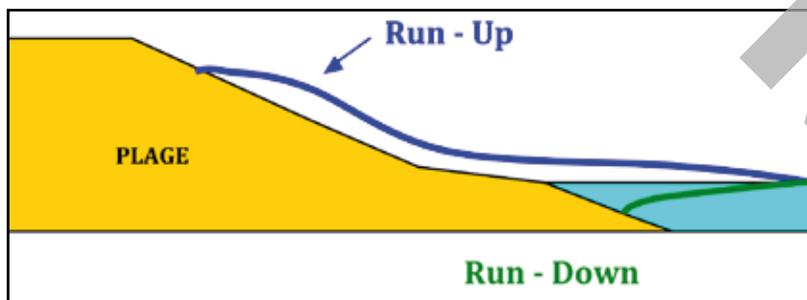
Les terrains submergés peuvent l'être par la montée du niveau de la mer et/ou par le déferlement des vagues :



### C. L'IMPACT DES VAGUES

Générées par une houle cyclonique de forte amplitude, les vagues peuvent provoquer d'énormes dégâts jusqu'à l'intérieur des terres.

L'impact des vagues peut concerner des terrains situés au-dessus du niveau de la mer au repos. Ce phénomène s'appelle le run-up. Il correspond à un affleurement des vagues sur un talus ou une plage :



Projection de galets suite aux houles cycloniques.



Dégâts suite au cyclone LENNY - GUADELOUPE - 1999.



Déferlement des vagues, Front de mer à Fort-de-France  
Cyclone Luis, le 06/09/95 - (Photo METEO-FRANCE)

### II.3 HISTORIQUE DES PRINCIPAUX EVENEMENTS CYCLONIQUES

Plusieurs phénomènes ont touché la Martinique au cours des siècles. Des témoignages ont été recensés sur les évènements les plus importants depuis la colonisation de l'île. Ainsi, on retrouve des traces écrites de catastrophes suite à des cyclones depuis 1635.

Le cyclone le plus marquant de l'histoire de la Martinique a eu lieu le 11 octobre 1780. Il aurait été responsable d'environ 9 000 morts.

Du début du XXème siècle jusqu'en 1960, 17 évènements cycloniques ont été répertoriés.

Les principaux évènements cycloniques et pluvieux depuis 1960 sont présentés ci-dessous.

S'il n'y a pas eu beaucoup de cyclones violents durant ces 100 dernières années, les 2 derniers en date sont EDITH qui a fait 10 victimes en 1963, et DAVID en 1979 qui était un ouragan de classe 4 lorsqu'il a sévi sur la moitié nord de l'île. Par contre plus nombreux sont les cyclones qui ont donné lieu à des inondations catastrophiques et meurtrières. DOROTHY en 1970, restera longtemps dans les mémoires, causant la mort de 44 personnes et établissant quelques records d'intensité pluvieuse pour les Antilles Françaises, dépassant ainsi les précédents records établis par BEULAH trois ans plus tôt.

Depuis, il y eut KLAUS en 1990 et CINDY en 1993 avec 147 mm en 1 heure au Prêcheur, tout proche du record d'intensité de DOROTHY.

Quant à IRIS en 1995, elle provoqua de nouvelles inondations, avec ses 325 mm de pluies en 24 heures à l'aéroport du Lamentin, ses 411 mm à Ducos pendant la même période et 449 mm en 2 jours.

Si on remarque que DEBBY en 1994 et HORTENSE le 8 septembre 1996 se sont manifestées aussi par de fortes pluies, ce sont donc les 4 années successives de 1993 à 1996 qui auront vu des phénomènes cycloniques fortement pluvieux sur l'île.

Evènement	Etat	Date	Commentaires
Edith	Ouragan classe II	25 septembre 1963	10 victimes
Beulah	Ouragan classe V	07 septembre 1967	Inondations catastrophiques
Dorothy	Tempête tropicale	20 août 1970	44 victimes - Inondations catastrophiques
David	Ouragan classe V	29 août 1979	Dégâts sur le littoral
Allen	Ouragan classe V	11 août 1981	
Dennis	Ouragan classe I	04 août 1980	Le sud très touché
Gilbert	Ouragan classe V	09 septembre 1988	1 noyé
Klaus	Ouragan classe I	03 octobre 1990	5 morts et 2 disparus Importantes inondations notamment dans le centre de l'île
Cindy	Tempête tropicale	14 août 1993	1 noyée - des fortes crues dévastatrices dans le Nord Atlantique (Grand Rivière) et le Nord Caraïbe (Prêcheur)
Debby	Tempête tropicale	10 septembre 1994	1 noyée
Iris	Ouragan classe II	26 août 1995	2 morts - Inondations dans le sud de l'île
Marylin	Ouragan classe III	14 septembre 1995	
Lenny	Ouragan classe V	15 novembre 1999	Houle catastrophique sur la côte caraïbe - 55 maisons détruites
Dean	Ouragan classe II	27 août 2007	Dégâts considérables

Tableau des principaux cyclones et événements pluvieux depuis 1960

Pour en revenir au dénombrement purement arithmétique, en 100 ans de statistiques cycloniques, on peut recenser 20 tempêtes tropicales et 8 ouragans, ce qui représente en moyenne :

- **1 phénomène cyclonique** (tempête ou ouragan) **tous les 3,6 ans** ;
- **1 ouragan de classe V tous les 12,5 ans.**

Ainsi, il semble bien que le risque de voir un **phénomène cyclonique**, sous forme de tempête ou ouragan, est très comparable sur l'ensemble de nos îles françaises des Antilles : environ **1 tous les 4 ans**. La différence se situe surtout au niveau de l'intensité : plus on monte vers le nord de l'arc antillais, **plus les phénomènes cycloniques se transforment en ouragans et non en dépression tropicale** (cf site internet de Météo France).

Un mouvement de terrain est un déplacement plus ou moins brutal du sol ou du sous-sol ; il est fonction de la nature et de la disposition des couches géologiques.

Sous l'expression générique « mouvements de terrain » sont regroupés plusieurs types de phénomènes d'instabilité des terrains, variables en fonction du mécanisme mis en jeu (évolution de l'instabilité, vitesse du mouvement durant la phase d'instabilité majeure, surface de rupture, désorganisation des terrains, etc.).

Ainsi, concernant la Martinique, les principaux types de phénomènes observés et dont l'apparition peut entraîner des effets dommageables graves, sont :

- les glissements de terrain
- les coulées de boue
- les chutes de blocs et les éboulements

### III.1 LES CHUTES DE BLOCS ET EBOULEMENTS

Les chutes de blocs et les éboulements rocheux sont des phénomènes rapides et événementiels mobilisant des blocs de roches plus ou moins homogènes et fragiles depuis un sommet ou une pente (avec l'air pour milieu principal de transport).

Ils produisent leur dépôt sur une aire plus ou moins large au pied de la pente, en fonction de la morphologie de surface d'appui, de la hauteur exacte de départ des blocs, de la dureté de la roche,...

Ces phénomènes se caractérisent par la chute libre ou le roulement au départ, après rupture, de blocs formés par fragmentation. Le mouvement peut ensuite se poursuivre par une série de rebonds de hauteur décroissante (dans le cas d'une pente régulière). Les dimensions des éléments mobilisés sont très variables.

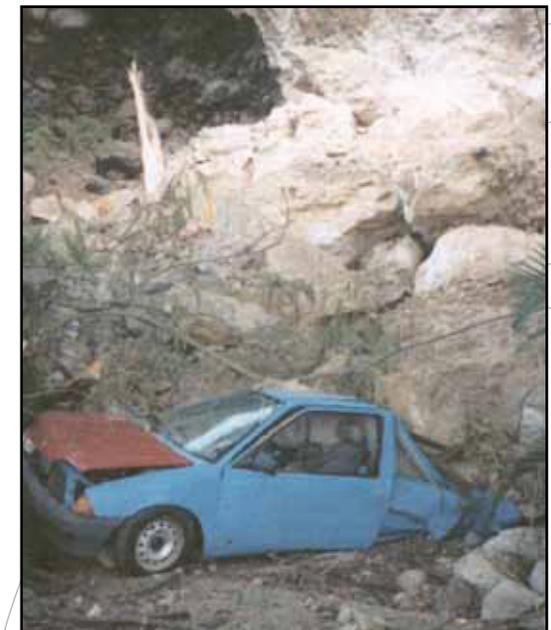
Les facteurs déclencheurs sont généralement les fortes pluviométries et les épisodes sismiques.

Le terme « chute de blocs » ne concerne qu'un nombre réduit d'éléments. Celui « d'éboulements » indique préférentiellement une masse instable beaucoup plus volumineuse.

Les conséquences des chutes de blocs sont fonction de la répartition des populations et des activités humaines. Dans certaines communes comme Saint-Pierre, Le Carbet ou Bellefontaine où les falaises bordent les habitations, les suites d'un éboulement seraient très dommageables.



Falaise avec chutes de blocs.



Eboulement au Carbet.

## III.2 LES GLISSEMENTS DE TERRAIN

Il s'agit d'un déplacement d'une masse de terrain meuble ou rocheux, caractérisé par l'existence d'une surface de discontinuité cinématique (plane, circulaire ou quelconque), séparant la partie stable du terrain de la partie en mouvement.

Ce déplacement est engendré par l'action de la gravité, de forces extérieures (hydrauliques ou sismiques) ou d'une modification des conditions limites.

### III.2.1. Caractéristiques d'un glissement de terrain :

- Dans sa partie amont, présence de niches d'arrachement ou crevasses, principales et latérales, avec brusques ruptures de pentes (pente concave).
- Dans sa partie aval, existence d'un bourrelet de pied (ou frontal) à pente convexe. La poussée exercée par le bourrelet de pied se marque fréquemment par un tracé anormal des cours d'eau.
- Dans sa partie médiane, formation d'une surface topographique bosselée (ondulations, dissémination de blocs de forte taille, ...).

### III.2.2. Types de glissements

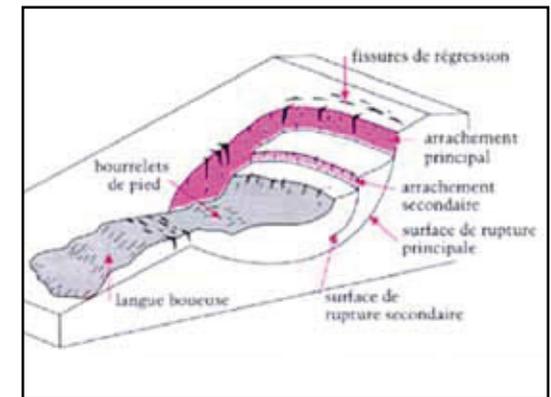
Suivant la géométrie de la surface de discontinuité, on peut distinguer trois principaux types de glissements :

#### 1. Glissement circulaire ou rotationnel :

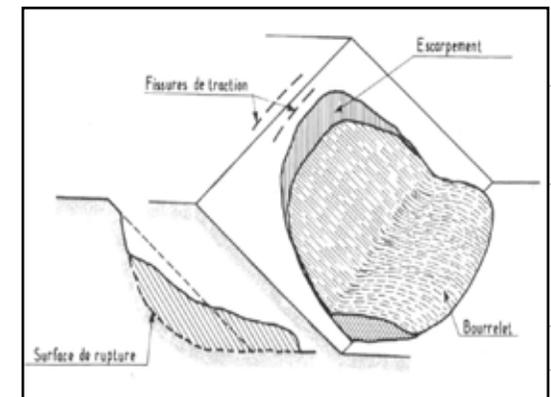
La surface de glissement est plus ou moins circulaire, le mouvement caractérisé en général par l'existence d'une zone de départ nette et par un bourrelet frontal plus ou moins marqué. Le remaniement interne dépend de la nature des terrains et de l'importance du déplacement. Il se produit en particulier en terrains meubles, dans les formations homogènes à faible cohésion ou très divisées.

#### 2. Glissement plan :

Le mouvement s'effectue le long d'une surface sensiblement plane (couche ou surface tectonique). Il se produit surtout en milieu rocheux.



Caractéristiques physiques d'un glissement de terrain



Glissement rotationnel.

a) Coupe longitudinale. b) Perspective.  
 (© « Fondations et ouvrages en terres » - Ed. Eyrolles).

### 3. Glissement quelconque :

Le mouvement est très semblable au précédent dans son allure externe, mais la section verticale de la surface de glissement est de forme irrégulière. Il s'agit d'une combinaison des deux cas précédents.

#### III.2.3. Le phénomène en Martinique :

Les dimensions des glissements de terrain sont variables, allant de niches de 2-3 mètres de largeur à des surfaces de rupture dépassant la centaine de mètres.

La présence d'eau (fréquente sous climat tropical) est un facteur supplémentaire important d'instabilité. Ceci à deux niveaux :

- l'eau contenue dans les couches superficielles alourdit considérablement celles-ci (pression interstitielle), favorisant ainsi un mouvement du massif vers l'aval,
- l'eau contenue dans les couches profondes réduit la cohésion du sol. Elle peut même, dans le cas d'une amorce de glissement, servir de lubrifiant permettant d'en accroître l'ampleur.

En Martinique, ce sont fréquemment les couches d'altération superficielles de la roche mère (correspondant essentiellement à des matériaux argileux), ainsi que les dépôts fins d'origine aérienne, qui sont susceptibles d'être concernés par des glissements de terrain. Et ce, sur des épaisseurs pouvant atteindre la dizaine de mètres.

Les conséquences des glissements de terrain sont similaires à celles des chutes de blocs. Elles dépendent des implantations des hommes et leurs activités, et de l'ampleur du phénomène naturel.

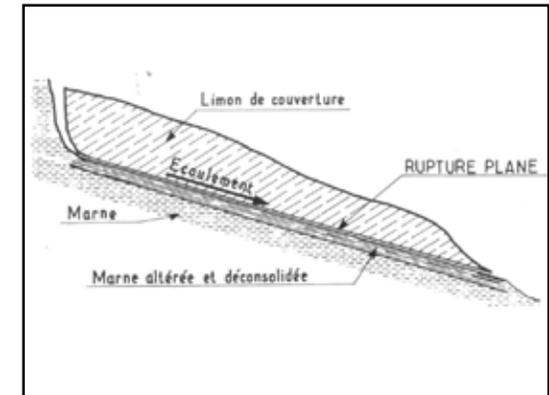
La plupart du temps superficiels, les glissements évoluent en coulée de boue, par perte totale de cohésion dans les terrains entraînés.

#### Facteurs déclencheurs :

Les facteurs d'instabilité peuvent être variables et multiples :

- Saturation des terrains en eau (suite à de fortes pluies, cyclones...),
- Séisme,
- Surcharge en partie amont (anthropique),
- Perte de butée (érosion de berge, terrassements...)
- ...

<sup>2</sup> LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.



Glissement Plan.  
(© « Fondations et ouvrages en terres » - Ed. Eyrolles).



Quartier Bezaudin, Ste Marie.

#### III.2.4. Techniques de protection courante :

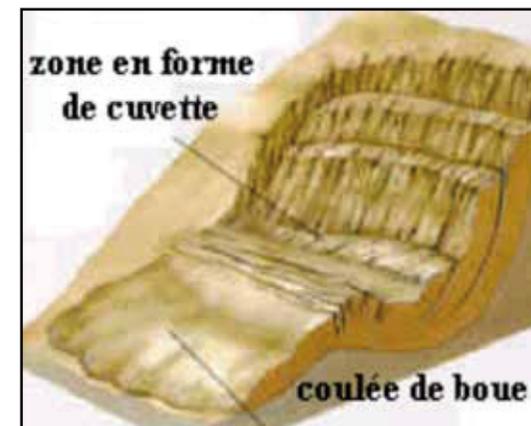
Elles varient selon l'ampleur et la qualité du phénomène.

Ces techniques de stabilisation sont nombreuses : maîtrise des rejets d'eau, confortement des sols, renforcement des structures, construction d'ouvrages de protection (merlons).

Les techniques les plus couramment utilisées restent en général les suivantes : allègement en tête, augmentation de la butée de pied, purge totale, re-profilage, substitution totale ou partielle, tranchées drainantes, drains, soutènements (clous, pieux, tirants d'ancrage), etc.

Ces méthodes sont développées et détaillées dans le « Guide technique sur la stabilisation des glissements de terrain » (Document LCPC ), et le « Guide Méthodologique des Plans de Prévention des risques naturels (PPR) – Risques de mouvements de terrain » (La documentation Française).

La prise en compte des sollicitations sismiques dans la déformation de ces techniques est aussi largement abordée dans les recommandations et les règles de construction AFPS 92<sup>3</sup>, où l'on distingue différentes classes de sol, de bâtiment, et de niveau de sismicité (définis par zonage).



Glissement de terrain, et coulée boueuse associée en fin de phénomène.

### III.3 LES COULEES DE BOUES

Elles apparaissent dans des matériaux meubles lorsque leurs teneurs en eau augmentent de manière importante et brusque. La mise en mouvement de ces matériaux a pour origine une perte brutale de cohésion.

Les matériaux susceptibles de perdre ainsi leur cohésion sont des argiles, des limons, des sols, des roches décompressées ou des éboulis fins. L'eau peut ainsi pénétrer par infiltration au sein des matériaux avant le déclenchement de la coulée ou au moment de la rupture par concentration des eaux de ruissellement.

La vitesse et la distance parcourue par une coulée boueuse sont très variables. Elles dépendent de nombreux facteurs comme la nature des matériaux, la quantité d'eau, la viscosité du mélange eau/matériau, la topographie, la saturation en eau des sols sur lesquels se déplace la coulée.

<sup>3</sup> Recommandations de l'Association française du génie parasismique pour la rédaction de règles relatives aux ouvrages et installations à réaliser dans les régions sujettes à séismes, ou, en abrégé, Recommandations AFPS 92 : L'AFPS (Association Française du génie ParaSismique) a élaboré des recommandations pour les règles de construction parasismiques aux ouvrages et installations à réaliser dans les régions sujettes à séismes. Ces recommandations complètent les règles PS 69 (D.T.U. : Documents Techniques Unifiés) actuellement en vigueur, et répondent aux dispositions de l'article 41 de la loi n° 87-567 du 22 juillet 1987 relative à la prévention des risques majeurs.

Dans le contexte martiniquais de climat tropical, les coulées boueuses prolongent quasi systématiquement les phénomènes de glissements de terrain. Les coulées représentent ainsi l'évolution normale de ces derniers, plutôt qu'un phénomène réellement indépendant et autonome. C'est pourquoi ces deux phénomènes naturels (glissements et coulées) ont été cartographiés sous le même aléa dans ce micro-zonage « mouvements de terrain ».

Les mouvements de terrain sont des phénomènes assez fréquents en Martinique. Ils ne représentent pas tous un gros volume de matériaux, cependant on rencontre presque toujours un mouvement de terrain de grande ampleur lors de pluies exceptionnelles (pluies diluviennes, cyclones, ...).

### III.4 HISTORIQUE NON EXHAUSTIF DES PHENOMENES NATURELS À RIVIÈRE SALÉE

Lieu	Date	Description du phénomène	Source
Petit bourg	05/1927	Crue de la Vasseuse, dégâts sur conduite d'eau	pont et chaussée
Route du qr Violon	12/1927	Erosion, débordement cours d'eau, chaussée endommagée	pont et chaussée
RN5	09/1958	Coupée de part et d'autre de grand bourg	l'Info 17/09/1958
Bourg	06/11/1966	Inondation, boue épaisse sur les voies de communication, 2 m d'eau sur le stade municipale	FA 09/11/1966
Desmarinières RD8	5-6/09/1967	Glissement important au dessous d'un réservoir de la société martiniquaise des eaux, route affaissée	FA 11/09/1967
Desmarinières, RD 8	1981	Glissement à l'endroit même de celui de 1967	DDE Rivière Salée
Petit bourg Débarcadère	01/1981	Glissement de berge, par affouillement des berges de la rivière des Coulisses, RN 7 menacée	DDE Rivière Salée
Petit bourg, RN 7	04/1981	Affaissement de chaussée hauteur du bureau de poste	FA 24/04/1981
Petite Calvette	01/1985	Glissement lent qui détériore la RN 8 et la RD 35a, sur RD 35a fissures de 20-35 cm	DDE Rivière Salée
Guinée Fleury	1995	Glissement de terrain, maison de Mme Mathé endommagée et inhabitable	service technique mairie
Fonds Masson	08/1995	Eboulement, glissement de terrain, chaussée abîmée	DDE Rivière Salée
Fond Masson	1997-1998?	Glissement a mis en mouvement tout un pan de colline; formation d'une fissure, chemin communal menacé	DDE Rivière Salée
Petit Bourg	08/2001	Glissement de berge	habitants du quartier
Guinée Fleury/RD 35a		Glissement de talus aval a provoqué l'affaissement de la chaussée	DDST Mme Clérec
falaise Dédé		Chute de blocs, route encombrée	DDE Rivière Salée
Ti-Coin/RD 8		Glissement, chaussée affaissée	DDE Rivière Salée

## IV.1 TECTONIQUE DES PLAQUES ET REPARTITION DE LA SISMICITE

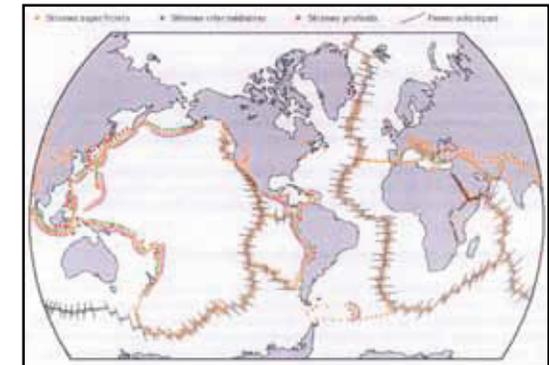
La croûte terrestre est constituée de plaques qui engendrent par leurs déplacements et leurs affrontements relatifs une activité sismique à la surface de la Terre.

Les courants thermiques qui animent le magma visqueux situé en profondeur sont à l'origine des déplacements des plaques lithosphériques comprenant la croûte continentales et/ou océaniques et la partie supérieure du manteau. Les déplacements relatifs de ces plaques (lithosphère sur l'asthénosphère) entraînent localement des accumulations de contraintes à l'intérieur des roches qui les constituent (traction, compression, cisaillement...). Au-delà d'un certain seuil de contrainte, il y a rupture du sous-sol rocheux ce qui induit **un séisme**.

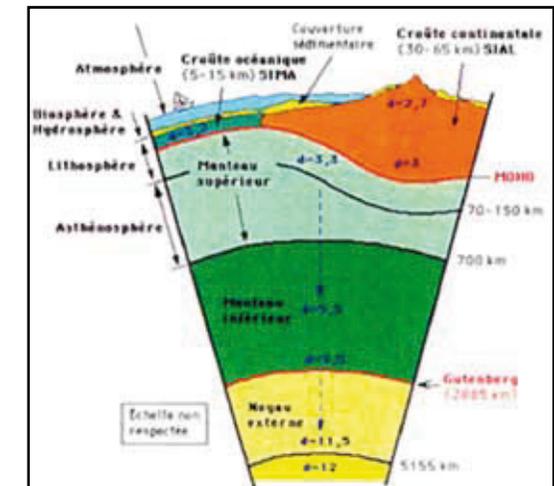
Cette fracturation, due à une importante accumulation d'énergie qui se libère, est à l'origine ou fait rejouer des failles, au moment où le seuil de rupture mécanique des roches est atteint.

Les séismes se produisent dans des zones particulières qui sont les suivantes :

- les zones divergentes, il s'agit de la zone le long de laquelle les plaques s'éloignent, elles sont représentées par :
  - les rifts continentaux précurseurs des océans ;
  - les dorsales médio-océaniques où se mettent en place les formations basaltiques qui constituent les fonds océaniques.



Localisation des séismes à la surface du globe. La majeure partie des séismes se produit sur les limites de plaques tectoniques [d'après document Université de Laval, Canada].



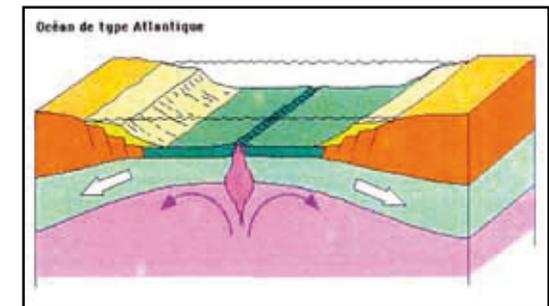
Coupe schématique de la Terre [d'après document Université de Laval, Canada]

- les zones convergentes, elles sont représentées par deux grands types :
  - zone de subduction des plaques. La plaque océanique plus dense s'ennoie sous la plaque continentale plus légère, c'est le cas au niveau des Petites Antilles où la plaque Nord Atlantique est subduquée sous la plaque caraïbe;
  - zone de collision entre les plaques continentales avec surrection des chaînes de montagnes (cas des Alpes et de l'Himalaya).
- les zones transformantes :

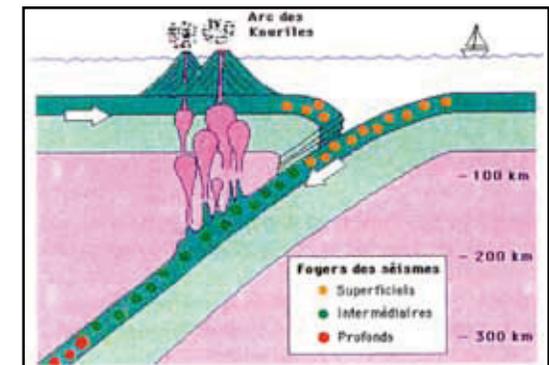
Elles se développent à l'intérieure des plaques, elles séparent des zones présentant des vitesses de déplacement différentes. Elles sont caractérisées par des failles en décrochement générées par le coulissement d'une plaque contre une autre, ou des différences de déplacement à l'intérieur d'une plaque.

- les zones intra-plaques :

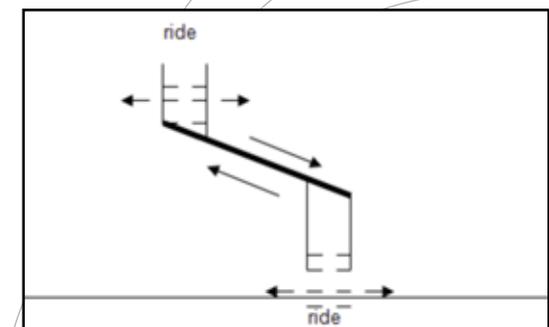
Elles sont éloignées des limites de plaques, elles se caractérisent par des faibles taux de déformation. La sismicité y est peu importante par le nombre de séismes. Toutefois, des séismes de forte intensité, peu nombreux peuvent parfois affecter ces zones.



Zones divergentes (d'après document Université de Laval, Canada)



Détail d'une zone de subduction (d'après document Université de Laval modifié, Canada)

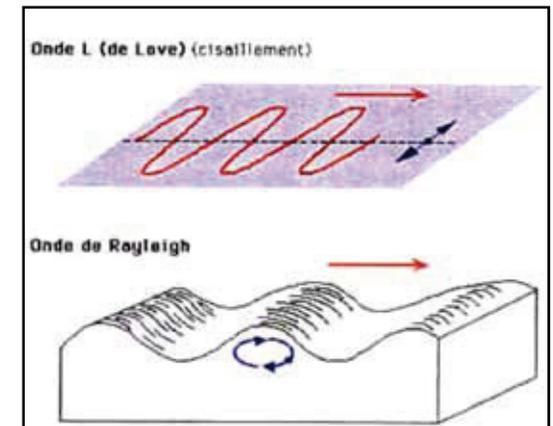


Détail d'une zone transformante

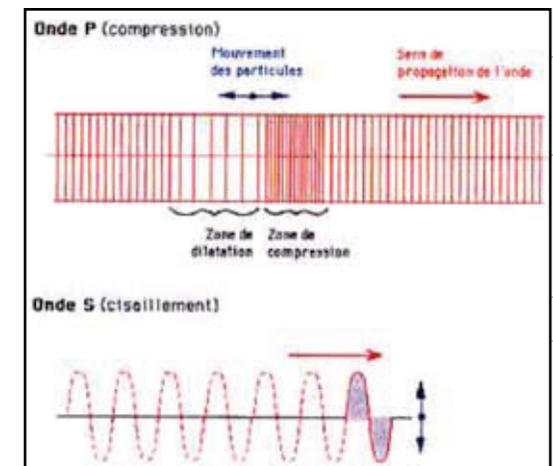
## IV.2 QU'EST-CE QU'UN SEISME ?

Un séisme se caractérise par :

- Une propagation d'ondes sismiques qui sont de deux types :
  - **Les ondes de surface**, Elles sont générées par l'arrivée des ondes de volume à la surface du globe, plus le séisme est profond moins elles sont puissantes. Leur influence sur les constructions courantes est négligeable.
  - **Les ondes de volume**, elles se propagent dans la masse terrestre depuis la source, elles sont réfléchies et/ou réfractées par les limites de couches du sol de densités différentes à la surface. Elles sont de deux types. Les ondes P qui progressent en compression/dilatation et les ondes S qui progressent en cisillant le sol perpendiculairement à leur sens de cheminement, elles ne se développent pas en milieu liquide.
- Un foyer, correspond au lieu d'origine de la rupture des roches en profondeur.
- Un épicentre, correspond à la surface terrestre située exactement à la verticale du foyer, où l'intensité est la plus importante.



les différents types d'ondes de surface.



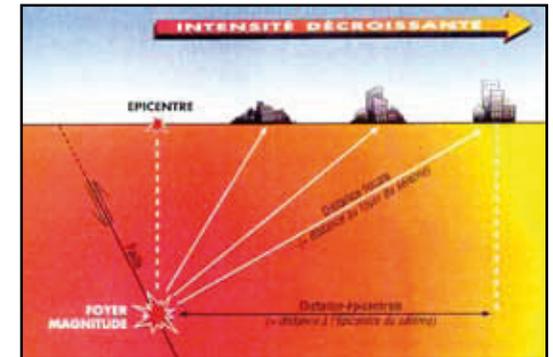
Coupe schématique de la Terre  
(d'après document Université de Laval, Canada)

- Une magnitude, elle indique l'énergie libérée au foyer du séisme. L'échelle de Richter l'échelle la plus utilisée pour la mesurer.

Elle est une grandeur logarithmique représentative de l'énergie rayonnée par la source sous forme d'onde élastique.

- Une intensité, elle correspond à l'évaluation des dégâts observés sur le terrain en un site donné. L'échelle la plus utilisée est l'échelle de M.S.K.

PROJET



Représentation schématique d'un séisme

**INTENSITÉ**  
échelle MSK (1964)

I	Séisme non perceptible	
II	Séisme à peine perceptible	
III	Séisme faiblement perceptible de façon localisée	
IV	Séisme faiblement perceptible	
V	Niveau des dommages	
VI	Progrès, perte d'équilibre	
VII	Dégâts aux constructions	
VIII	Destruction de bâtiments	
IX	Destruction générale des bâtiments	
X	Destruction générale des bâtiments	
XI	Catastrophe	
XII	Changement des paysages	

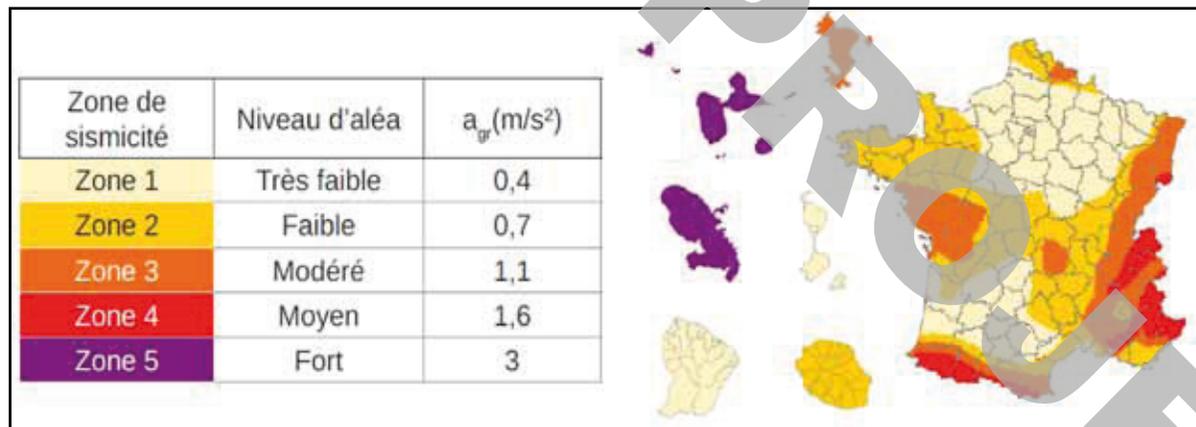
Source: [www.msc.gov.it](http://www.msc.gov.it)

Perception par la population (II à VI)  
Désordres des constructions (VI à X)  
Bouleversements sur l'environnement (X à XI)  
Echelle M.S.K. avec indication des dégâts occasionnés

### IV.3 LE ZONAGE SISMIQUE

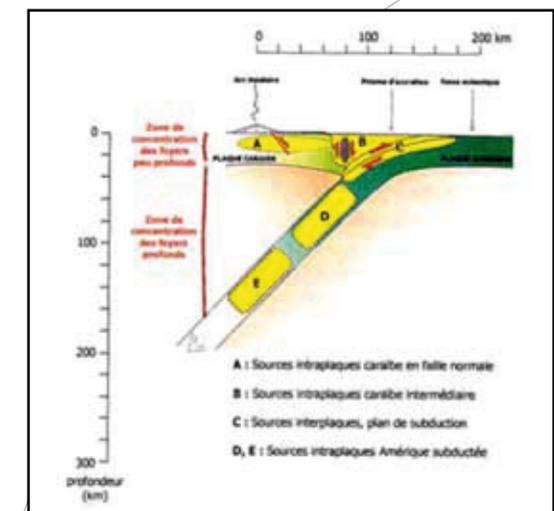
Le zonage sismique est défini par le décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010.

La zone 5, de sismicité forte, est la plus contraignante en France en termes d'exigences de résistance, et concerne la Guadeloupe et La Martinique.



Aux Antilles, l'aléa sismique élevé s'explique par les divers contextes qui peuvent donner naissance à des séismes :

- Les séismes de subduction qui se produisent sur le plan de frottement entre les deux plaques (zone C), pas très profonds, ils se produisent avec violence car les ruptures peuvent se produire sur des longueurs de plus d'une centaine de kilomètre d'un coup.
- Les séismes liés aux contraintes créées dans la plaque Caraïbes en raison de poussées inverses des deux plaques. Ils produisent des failles (zone A et B) et les ruptures sur des longueurs de quelques km.
- Les séismes profonds, dus à la rupture par gravité de la plaque Atlantique plongeant dans le magma. Ils peuvent être ressentis sur des aires très importantes, mais ne sont pas les plus pénalisants aux Antilles.



Les séismes dans le contexte géodynamique des Petites Antilles.

#### IV.4 L'ALEA SISMIQUE REGIONAL

La Martinique occupe une position centrale dans l'arc des Petites Antilles, sur une limite majeure de plaques tectoniques, dans un contexte géodynamique résultant de la subduction de la plaque Atlantique sous la plaque Caraïbe, ce qui lui confère une sismicité forte (zone 5), qui demeure la plus élevée du territoire national.

L'aléa sismique résulte du contexte géodynamique actif responsable des forts tremblements de terre. Plusieurs séismes de magnitude supérieure ou égale à 6 ont été recensés au voisinage de la Guadeloupe et de la Martinique ; certains d'entre eux ayant causé des dégâts importants (1839, 1843, 1851, 1897, 1946). Au cours des quatre derniers siècles, le séisme le plus destructeur en Martinique fut celui de 1839, les dégâts lors de ce séisme majeur ont été considérables, une grande partie de Fort-de-France ayant été rasée. Ce séisme a atteint l'intensité de VIII- IX M.S.K, faisant plus de 300 morts et conduisant à une destruction quasi totale des habitations.

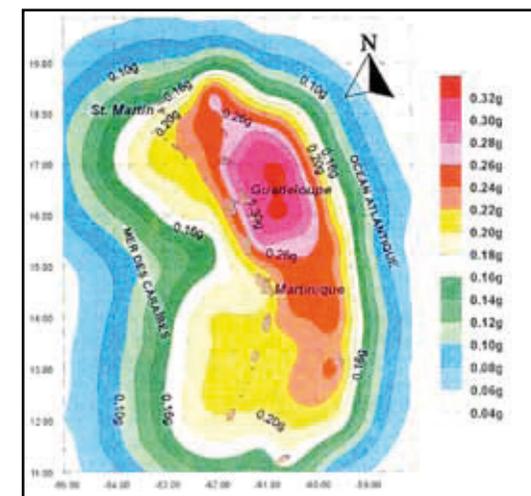
L'étude de l'aléa sismique régional par identification des mécanismes de différentes sources possibles donne la carte d'aléa probabiliste ci-dessous. Cette carte montre que les mouvements les plus violents sont attendus à l'extérieur de l'arc sur l'Atlantique. L'aléa est plus élevé au large de la Guadeloupe que de la Martinique ceci est dû à la nature du pendage de la subduction.

Les sources sismiques contre lesquelles il faut se prémunir sont de deux types, engendrant des mouvements sismiques dont les effets peuvent être différents sur les bâtiments.

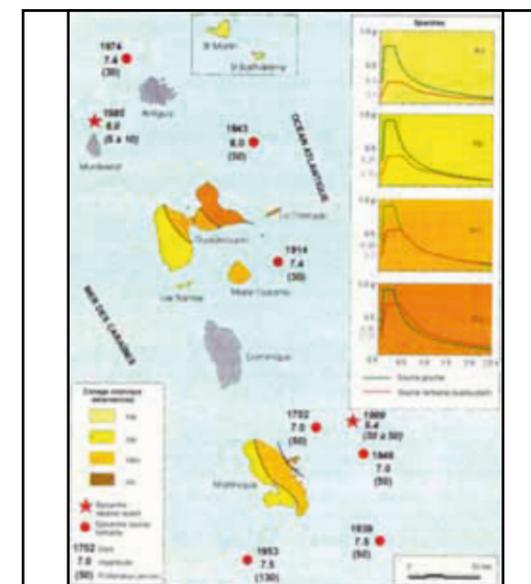
Les séismes proches (profondeur inférieure à 15km) et de courte durée (quelques secondes) sont de magnitude modérée ( $M \leq 6$ ). Ils sont riches en hautes fréquences, et plus dangereux pour les constructions de faible hauteur.

Les séismes lointains associés à la subduction peuvent être plus forts, avec des magnitudes maximales estimées à 8. La durée des secousses correspondantes est plus grande (de l'ordre de la minute), et le contenu plus riche en basses fréquences, pénalisant en particulier les constructions de grande hauteur.

Les études de la sismologie locale ont permis d'établir la carte d'aléa régional « déterministe » ci-dessous.



Carte de l'aléa probabiliste régional

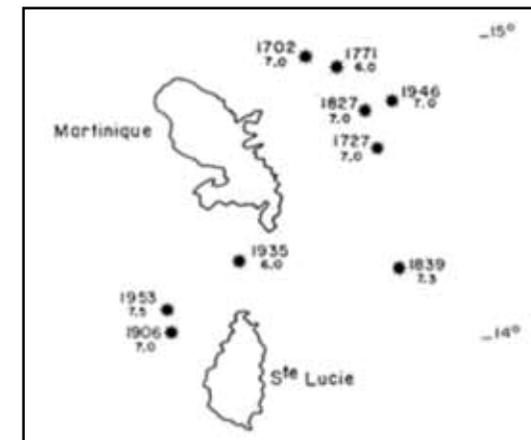


Carte de l'aléa probabiliste régional déterministe.

- Les réponses des différentes zones pour :
- les séismes lointains (en rouge, ceux de la zone de subduction)
  - pour les séismes proche (en vert, potentiellement proches des constructions.)

Plus de 550 séismes ont été ressentis en Martinique, au cours des trois derniers siècles, dont plusieurs répliques des tremblements majeurs du 11 janvier 1839 et 21 mai 1946, notamment ; il y a donc en moyenne une à deux secousses ressenties chaque année en Martinique. Les réévaluations des intensités atteintes ont été faites par FEUILLARD (1985) et, plus ponctuellement par le B.R.G.M.

Le séisme de 1839 (magnitude 7,5) aurait des conséquences particulièrement graves aujourd'hui. En effet, les derniers séismes destructeurs ont eu lieu à des époques où les grandes agglomérations actuelles étaient encore peu peuplées (1839, 1843, 1897), mais déjà avec des dégâts considérables comme en témoigne les archives du journal « Le Commerce » .



Localisation des aires épacentrales les plus vraisemblables des secousses historiques de plus forte magnitude estimée.



Extrait du courrier du matin dans le journal le Commerce.

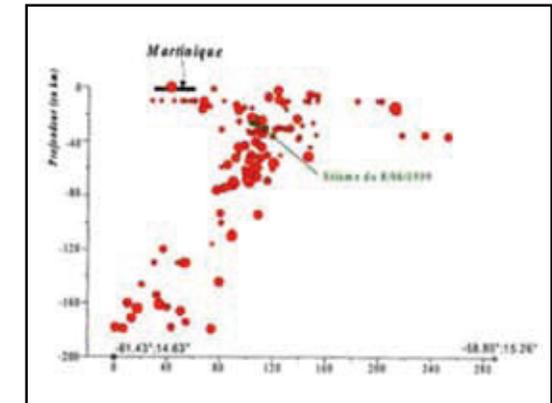
Le dernier séisme ressenti assez fortement par les habitants de la Martinique date du 8 juin 1999. Ce séisme de « subduction », de magnitude modérée (5,5 sur l'échelle de Richter) a été localisé à environ 50 km de la côte orientale de l'île et à 70 km de l'agglomération Foyolaise.

La secousse fut ressentie assez longuement : 20 à 40 secondes selon les témoignages. Elle a été ressentie plus longtemps dans la conurbation de Fort-de-France, d'après les effets et les dommages observés, les intensités macro-sismiques sur l'île ont atteint ponctuellement les niveaux compris entre III et VII de l'échelle MSK.

Quelques traces laissées par le séisme du 8 juin 1999 :

La vulnérabilité des constructions est en générale très grande, dans des contextes d'urbanisme et d'aménagement souvent défavorables, caractérisés par :

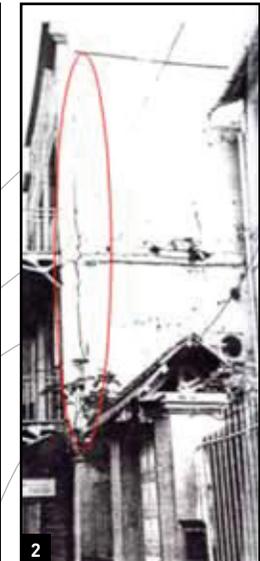
- une application récente des règles de construction parasismique (généralement postérieure à 1982) pour le bâti collectif ;
- une forte densité de population dans certains secteurs, et en particulier dans les agglomérations des capitales ;
- l'occupation des zones naturellement dangereuses, comme les versants raides et instables, les zones d'amplification des vibrations ou les zones liquéfiables ;



Coupe perpendiculaire à l'arc des Petites Antilles au niveau de la Martinique (fichier MIDAS-IPGH)



1 - Fracture ouverte dans un bassin à «kouassous», au lieu dit la Pirogue, au Morne Capot.



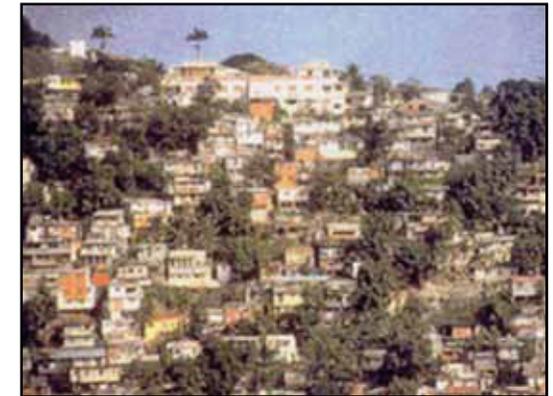
2 - Le percement d'ouvertures des rez-de-chaussée, pour l'implantation des commerces, a fragilisé les constructions de 2 à 4 niveaux.

- certaines pratiques constructives, surtout pour l'habitat individuel, contraires aux principes élémentaires de protection parasismique ;
- des agressions climatiques, accélérant le vieillissement des matériaux, et venant aggraver la vulnérabilité des ouvrages (corrosion des aciers, fissuration des bétons, pourrissement du bois, etc...).

La Martinique présente un niveau de sismicité relativement modéré, par comparaison à d'autres zones de subduction du monde. Cependant, les intensités maximales observées (VIII-IX M.S.K.) ainsi que la fréquence des secousses majeures, justifient pleinement une prise en compte du risque sismique, sur la base déterministe de l'aléa. Une à deux secousses sont ressenties chaque année, moyenne ou au moins deux secousses d'intensité supérieure ou égale à VII (dommages significatifs aux constructions) par siècle.

La plupart des séismes ressentis en Martinique sont des secousses lointaines. Toutefois, il existe aussi une sismicité locale (sources proches superficielles), assez significative en terme de fréquence des secousses au cours des dernières décennies, mais qui ne s'est pour l'instant manifestée que par des magnitudes mineures (magnitude inférieure à 4,5, intensité épiscopale inférieure à VI).

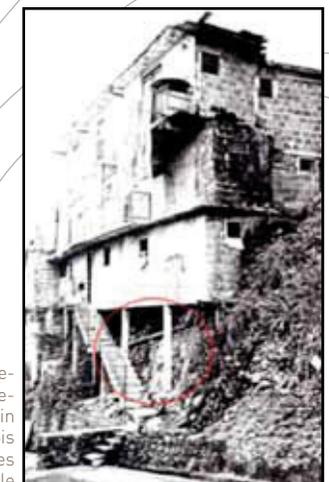
L'étude de la sismicité de la Martinique, replacée dans le contexte géodynamique, structural et néotectonique régional montre que les séismes associés à des sources locales pourraient survenir sur l'un des accidents actifs de l'île de la Martinique.



Quartier Trénelles à Fort-de-France, constructions vulnérables sur pentes instables.



Construction reposant sur pilotis.



Constructions en maçonnerie (en état de vieillissement) en secteur urbain en forte pente. Trois étages reposent sur des poteaux élancés de faible section.

## IV.5 L'ALEA SISMIQUE LOCAL

A l'échelle locale du 1/10 000, l'évaluation de l'aléa sismique, repose sur la réalisation d'un zonage qui vise à cartographier les différentes composantes de l'aléa sismique local, lesquelles concernent :

- les structures tectoniques actives (failles sismogènes) et la prise en compte des déformations tectoniques de surface qui peuvent leur être associées ;
- la modification du signal sismique par les conditions géomécaniques et géomorphologiques locales, soit la quantification des effets de site (d'origine structurale ou topographique) ;
- les phénomènes induits pour lesquels les sollicitations sismiques dynamiques agissent comme des facteurs déclenchant et particulièrement pour le phénomène de la liquéfaction.

Les méthodes mises en œuvre pour aboutir à cette évaluation peuvent être plus ou moins élaborées, suivant le degré de précision recherché. En France, on retient classiquement trois degrés de finesse : A, B, C en allant du plus rudimentaire au plus élaboré (AFPS, 1993) :

- pour le niveau A, le moins développé, la prise en compte des effets de site et effets induits se limite à la réglementation existante. Il s'agit alors de classer les sites de la zone d'étude en 4 catégories de sols S0 à S3, pour lesquels des mouvements sismiques forfaitaires ont été définis par la Puissance Publique, selon les PS 92.
- pour le niveau B, intermédiaire, ne sont mises en œuvre que des méthodes simplifiées;
- pour le niveau C, le plus détaillé, des techniques de calcul plus élaborées permettent de quantifier les effets locaux.

Le niveau retenu ici est le niveau A. Il nécessite que soit connue, avec le degré de précision compatible avec le niveau de l'étude, la structure géologique du site, et les caractéristiques géotechniques et dynamiques des différentes formations qui la composent. La connaissance géotechnique du sous-sol est en effet aussi importante que celle des mouvements sismiques à retenir pour la conception parasismique des bâtiments, car elle est déterminante pour le choix des types et modes de fondation.

Or, s'il est relativement aisé, sur un site ponctuel, de mettre en œuvre un minimum de reconnaissances géotechniques pour connaître ces propriétés, le problème est beaucoup plus ardu, à l'échelle de plusieurs km<sup>2</sup>, car les données disponibles ne permettent pas toujours d'avoir une connaissance globale et détaillée de l'ensemble de la zone d'étude.

Dans le cadre de cette étude, si aucune reconnaissance spécifique n'a pu être menée, les données existantes étaient néanmoins suffisamment nombreuses (elles proviennent soit de la banque de données du sous-sol du BRGM, soit d'études géotechniques menées par d'autres bureaux d'études (ANTEA, IMS et les rapports d'études géotechniques communaux), qui nous ont aimablement donné accès à leurs données, pour les secteurs à fort enjeu (concentration de l'urbanisme et de la population).

Les différents aléas sont déterminés selon le degré du risque sismique vis-à-vis de la zone concernée, on distinguera pour chaque aléa quatre niveaux :

1. l'aléa majeur :

si au cours des investigations le chargé d'étude met en évidence une (ou plusieurs) zone où l'aléa présente un risque de dommage de gravité extrême et immédiat (cas du quartier Bezaudin à Sainte-Marie par exemple) qui nécessiteraient la prise de mesures de sauvegarde urgentes, il qualifiera cet aléa de majeur. Ce niveau d'aléa ne pourra être que très exceptionnel.

Il ne concerne pas l'aléa sismique

2. l'aléa fort :

les zones concernées sont estimées très exposées et les risques de dommages y sont particulièrement redoutables.

Il n'existe pas, pour ces zones, dans l'état actuel des connaissances des mesures habituelles de protection efficaces et économiquement opportunes pour y permettre, l'implantation de nouvelles constructions ou de nouveaux aménagements.

Il concerne l'aléa sismique sur l'ensemble du territoire.

3. l'aléa moyen :

il concerne des zones qui peuvent globalement être le siège de manifestations physiques encore très dommageables notamment en raison de leur situation topographique ou de la constitution de leur sous-sol ou encore de leur exposition particulière aux intempéries. Il existe cependant des mesures de nature à prévenir les conséquences du risque ou à les rendre supportables tant à l'égard des biens et des activités existantes que futures.

Il concerne les phénomènes associés au séisme de la liquéfaction et de la présence de faille supposée active.

4. aléa faible :

Dans les zones concernées les conséquences de l'aléa peuvent encore se faire sentir, sans créer de dégâts notables. Tout pétitionnaire devra en être informé.

Cet aléa n'existe malheureusement pas en terme sismique puisque l'effet direct concerne tout le territoire. Il existe simplement pour des phénomènes associés : ex : aléa faible de liquéfaction.

**Remarque :**

La détermination du risque sismique passe avant tout par une connaissance de l'aléa sismique et des éléments qui permettent de le caractériser. Le risque sismique est le résultat de la combinaison de l'aléa sismique et des règles de construction parasismique.

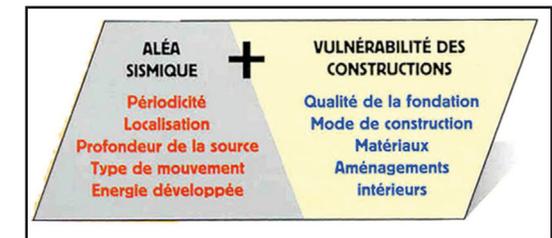
**En Martinique où l'aléa sismique est fort (Zone de sismicité maximale, 5), seule la construction parasismique permet diminuer efficacement le risque.**

**Que faut-il faire pour prévenir le risque sismique?**

Le séisme reste toujours imprévisible, les victimes des tremblements de terre proviennent presque toujours de l'écroulement des constructions. Pour cette raison il faut prévoir des parades permanentes, sur les lieux de travail, à la maison, les transports ou l'école.

Des mesures doivent être prises à l'échelle communale pour définir les risques sismiques en identifiant d'une part l'aléa sismique et en élaborant des recommandations en cas de crise d'autre part. Les principales mesures doivent être les suivantes :

- élaboration et application des règles parasismiques en vigueur (depuis le 1er mai 2011, norme EC8) ;
- élaboration d'un plan de secours spécialisé (PSS) séisme ;
- campagne de formation-information dans les établissements scolaires et mise en œuvre de plans de secours propres à chaque établissement ;
- élaboration d'une plaquette de sensibilisation à l'aléa sismique et à la construction parasismique fournie aux particuliers avec le dossier du permis de construire ;
- développement des gestes de secourisme.



Risque sismique

## IV.6 QUELS SONT LES PHENOMENES ASSOCIES AUX SEISMES ?

Hormis les problèmes éventuels posés par la rupture en surface de la faille sismogène, deux types d'effets peuvent être mis en évidence :

- les effets directs, dus à la modification du mouvement vibratoire ; ils peuvent conduire à « des effets de site ».
- les effets induits, dus aux grands mouvements du sol :
  - déclenchement d'un phénomène latent par la mise en action des sols (chute de pierres, glissement de terrain, subsidence...).
  - genèse d'un phénomène lié au caractère ondulatoire du mouvement (liquéfaction des sols, tsunamis ou raz-de-marée).

### Aléa effets de site :

Les irrégularités de la surface topographique et la présence de couches géologiques souterraines de nature et de géométrie variables, peuvent accroître les effets dévastateurs d'un séisme par modification des caractéristiques du mouvement vibratoire.

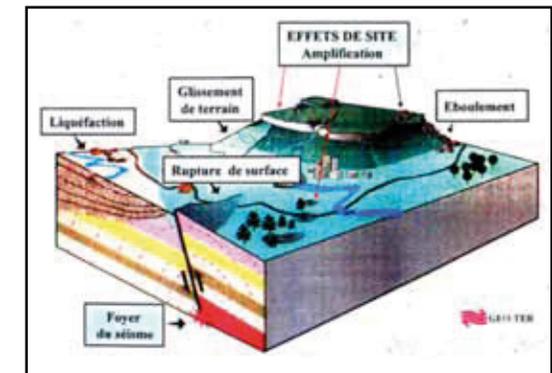
Deux grands ensembles d'effets de site peuvent être distingués :

- Les effets de site topographiques

Les sommets des buttes, les crêtes allongées, les rebords de plateaux et les falaises sont souvent le siège d'amplifications importantes, intéressant une large gamme de constructions.

L'amplification ou l'atténuation du signal vibratoire dû à la topographie, appelé aussi effet topographique, représente un cas particulier d'effet de site. Il est causé par des phénomènes de réflexion ou de diffraction des ondes sismiques sur la partie non plane du sol. Une topographie convexe entraîne une concentration des ondes incidentes par rapport aux sites présentant une topographie concave. Le mouvement du sol est donc amplifié sur les sommets et atténué dans les creux ou les vallées.

Les zones situées dans la partie supérieure des versants ont été affectées par des destructions importantes. Près de 1000 victimes (sur 3000 morts au total) se trouvaient dans ces zones au moment du séisme.



Carte de l'aléa probabiliste régional



Séisme de Dhamar (YEMEN), 13 décembre 1982.  
Effets de site topographique dans la région de Dawran.

- Les effets de site liés à la nature et à la structure du sous-sol

Les caractéristiques mécaniques de certaines formations superficielles (densité, rigidité, compressibilité...), la géométrie de ces formations (empilement, remplissage de fond de vallée, contact tectonique ou stratigraphique) sont susceptibles de modifier le signal sismique.

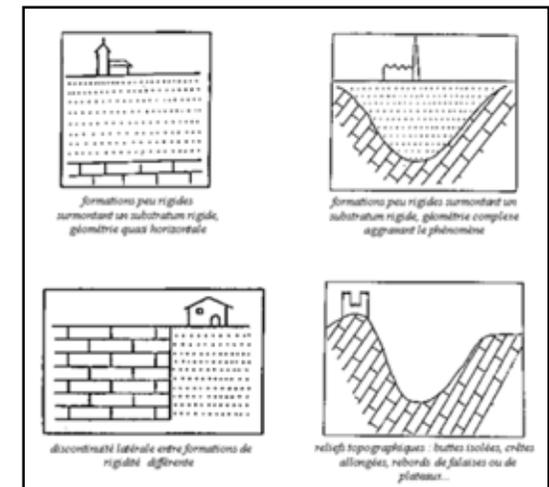
Contrairement à l'idée que des sols mous atténuent plus qu'un sol rigide, ce contraste provoque le pigeage des ondes sismiques dans les couches peu consolidées et l'apparition de phénomènes de résonance et de réflexions multiples. « Les critères d'identification sont fondés sur deux séries lithologiques très contrastées, par rapport aux vitesses des ondes de cisaillement, la série la plus rigide correspondant au substratum :

- dans le cas où les deux séries sont subhorizontales, on estime que la série doit avoir une épaisseur d'au moins 5 m ;
- s'il s'agit d'un fond de vallée avec des dépôts alluviaux recouvrant en discordance angulaire un substratum plus rigide, la zone cartographiée englobe l'ensemble de la zone recouverte par les alluvions (avec dépassement de quelques mètres au niveau du contact affleurant sur les berges alluvions/substratum) ;
- dans le cas d'une discontinuité verticale limitant deux formations à fort contraste, la cartographie correspond à une bande de plusieurs mètres englobant de part et d'autre la zone de discontinuité. »

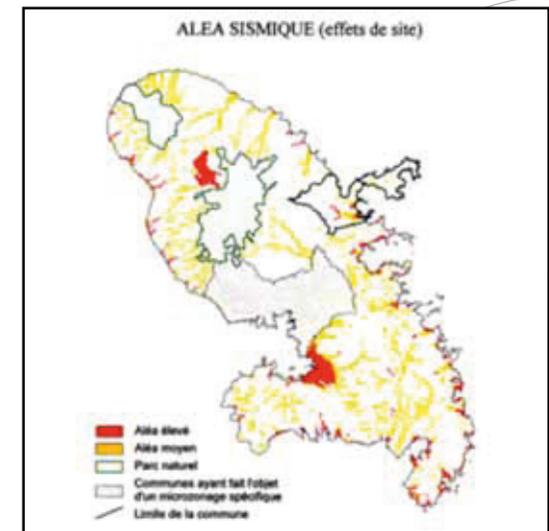
Quatre configurations-types responsables d'amplifications locales se dégagent des observations macrosismiques, des études expérimentales et des modélisations, trois d'entre elles étant liées à des contrastes de rigidité des terrains, verticaux ou latéraux.

Les différents critères de reconnaissance de l'aléa ont permis d'élaborer la carte des zones soumises à l'aléa effets de site, pour la Martinique.

Ce zonage ne distingue que les zones où l'aléa est élevé et moyen. L'affinage du zonage (à l'échelle communale) déterminera quatre niveaux d'aléas (majeur, fort, moyen ou faible).



Différents cas d'effets de site liés à la nature du sous-sol ou à la topographie



Aléa sismique (aléa effets de site)  
Atlas communal des risques naturels de la Martinique (BRGM)

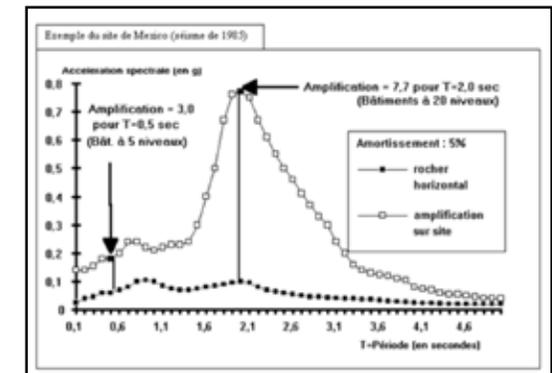
## IV.7 NOTION DE VULNERABILITE

L'étude d'aléas relative au zonage du PPR sismique est d'assurer un niveau de sécurité suffisant contre les séismes. Il conjugue la protection des personnes et des biens (réglementation parasismique pour les bâtiments) et une gestion de crise efficace (renforcement des bâtiments stratégiques et mesures d'aménagement et d'urbanisme), que doit s'approprier la commune concernée.

Il fonde la réflexion pour qualifier les aléas et évaluer les enjeux.

La vibration sismique peut être assimilée à une addition de vibrations élémentaires possédant une amplitude et une fréquence propres. Les effets de site peuvent conduire, par rapport au mouvement sismique de référence (dit « au rocher horizontal ») à une augmentation de l'amplitude de certaines fréquences (phénomène d'amplification) et à sa diminution sur d'autres fréquences.

Le calcul de la « fonction de transfert » permet de rendre compte, pour chaque fréquence, de ces modifications par rapport au mouvement de référence. Ces amplifications peuvent être plus pénalisantes pour certains types de bâtiments, en fonction de la hauteur ou de leur structure, ou au contraire affecter une large gamme de constructions.



Exemple du site de Mexico, séisme de 1985.

Des méthodes instrumentales ou des modèles numériques permettent de quantifier les modifications apportées au signal et d'obtenir la fonction de transfert. On peut ainsi tenir compte des effets de site dans le calcul des structures pour l'application des règles parasismiques.

Les règles parasismiques dites Eurocode 8, définissent 5 classes de sol, notés A à E :

- Classe A :

Rocher ou autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 m de matériau moins résistant

- Classe B :

Dépôts raides de sable, de gravier ou d'argile sur-consolidée, d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive des propriétés mécaniques avec la profondeur.

- Classe C :

Dépôts profonds de sable de densité moyenne de gravier ou d'argile moyennement raide, ayant des épaisseurs de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres.

- Site D :

Dépôts de sol sans cohésion de densité faible à moyenne (avec ou sans couches cohérentes molles) ou comprenant une majorité de sols cohérents mous à fermes.

- Site E :

Profil de sol comprenant une couche superficielle d'alluvions avec des valeurs de  $\sigma_{vm}$  de classe C ou D et une épaisseur comprise entre 5 m environ et 20 m,

**Ces classes de sols peuvent être utilisées pour prendre en compte l'influence des conditions locales de sol sur l'action sismique.**



Séisme d'Agadir (Maroc) du 29 février 1960 (magnitude 5,9).  
Hôtel Saada avant et après la secousse, contexte urbain 12000  
morts.

Dans un désert, le risque sismique est quasi nul même si l'aléa est très élevé. Dans des régions à forte densité de population, où les constructions sont précaires, édifiés sur des sites fragiles et où l'organisation des moyens de secours et la préparation des habitants sont déficientes, le risque sismique est très grand même si l'aléa est modéré, voire faible.

C'est une situation que l'on rencontre en Martinique où, de surcroît l'aléa sismique est tout à fait significatif. Les différentes formations géologiques ont été soumises à une forte altération climatique et/ou hydrothermale. La pédogénèse, très active, conduit à la formation de sols épais, sur lesquels sont fondés de nombreux bâtiments et ouvrages, dont les caractéristiques géotechniques et dynamiques sont favorables à des phénomènes d'amplification des mouvements sismiques (effets de site).

#### IV.7.1. Quelques exemples d'effets de site



Effets de site topographique dans la région de Dawran. Séisme de Dhamar (Yémen), décembre 1982. (photo BRGM).



Vue aérienne d'un îlot de la ville mettant en évidence la vulnérabilité propre des constructions soumises aux effets de site liés à la nature du sous-sol. Séisme d'Izmit, 1999.

#### IV.7.2. Aléa liquéfaction

La liquéfaction est un processus de transformation d'une substance en un liquide. Pour un sol pulvérulent, la transformation de l'état liquide se fait par augmentation de la pression interstitielle. Cette augmentation de pression interstitielle peut résulter soit d'un changement quasi statique monotone, soit d'un chargement dynamique alterné (séismes).

La liquéfaction est un phénomène qui se produit en sous sollicitation sismique (éventuellement, en bord de mer sous l'effet de la houle ou par suite d'une activité anthropique). Le passage d'une onde sismique provoque, dans certaines formations géologiques, la perte de résistance d'un matériau sableux saturé en eau, liée à une augmentation de la pression interstitielle engendrée par les déformations cycliques.

La déconsolidation brutale du matériau se traduit par la déstructuration du sol, rendant particulièrement instables les constructions reposant sur ces formations.

Le phénomène concerne certaines formations géologiques, définies par :

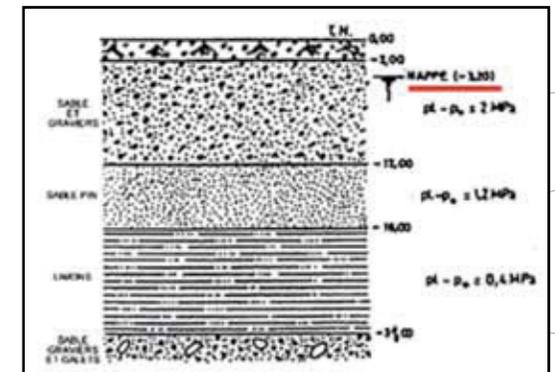
- leur nature : sables, limons, vases,
- leur cohésion : formations peu compactes,
- leur degré de saturation en eau : la formation doit être saturée en eau,
- leur granulométrie : granulométrie uniforme, comprise entre 0,05 et 1,5 mm

La connaissance de la liquéfaction d'un site s'effectue sur une :

- Reconnaissance des sols en place, permettant d'identifier les sols potentiellement liquéfiables : Carottages, fosses à la pelle, avec prélèvement d'échantillons remaniés permettant l'identification simple des sols sableux, sablo-limoneux, limoneux et argileux saturés (granulométrie, teneur en eau, limite d'Atterberg...) et intacts permettant la réalisation d'essais de laboratoire. Piézomètres pour le relevé et le suivi de la (ou des) nappe (s) phréatique (s).
- L'existence de sols potentiellement liquéfiables oblige des investigations complémentaires (en place et/ou en laboratoire) pour évaluer le risque de liquéfaction. Ces évaluations sont généralement des essais (essais au pénétromètre statique, ou au piézocône, ou au SPT...) basées sur des contraintes de cisaillement induites par un séisme et les contraintes que présenterait le sol à se liquéfier.



Observation des remontées jusqu'à la surface des sols liquéfiés sous forme de petits cônes appelés volcans de boue ou volcans de sable. Photo USGS.

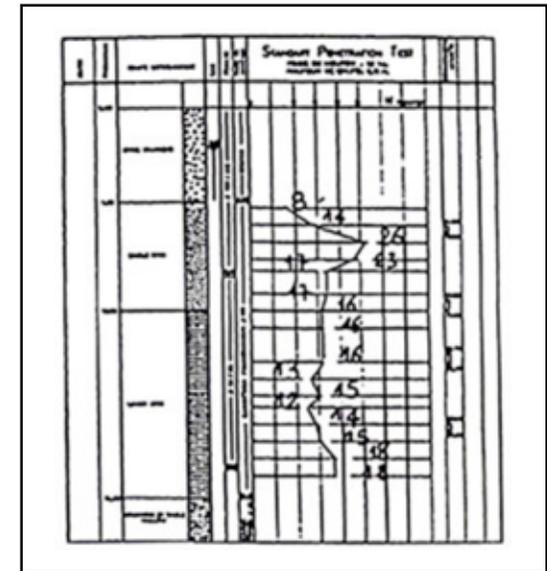


Sondage type d'un sol présentant une aptitude à la liquéfaction. Cahier technique AFPS n°22 - Avril 2001.

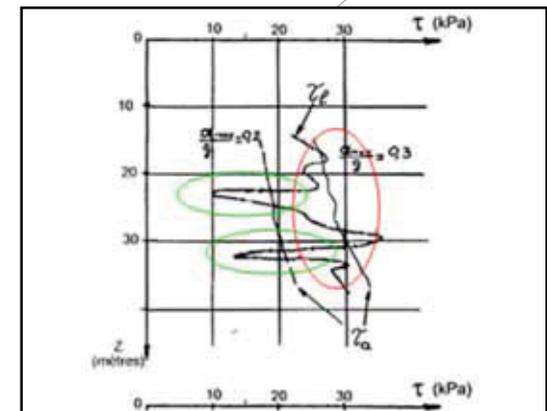
Pour un séisme d'accélération nominale  $a_N = 3m/s^2$  pratiquement toute la couche d'alluvions fines est liquéfiable (entre 12 et 32 m ; zone en rouge).

Pour un séisme d'accélération nominale  $a_N = 2m/s^2$ , deux zones seulement apparaissent comme dangereuses, l'une comprise entre 21,50 et 23,50m de profondeur et l'autre comprise entre 30 et 32m.

- Dans certains cas délicats, afin de quantifier le risque de liquéfaction et donc de conclure sur le risque vis-à-vis des constructions, il est nécessaire de prévoir une reconnaissance de sol complémentaire à base de carottage avec prélèvements d'échantillons intacts pour des analyses en laboratoire (de type triaxiaux cycliques par exemple). Toutefois, la difficulté réside principalement dans le prélèvement d'échantillons intacts dans des matériaux sableux c'est à dire sans ou avec peu de cohésion et sous eau.



Profil à partir d'un essai SPT du sondage ci-dessus.  
Cahier technique AFPS N°22 - Avril 2001.



Évaluation des risques à partir de l'essai SPT du sondage ci-dessus. Cahier technique AFPS n°22 - Avril 2001.

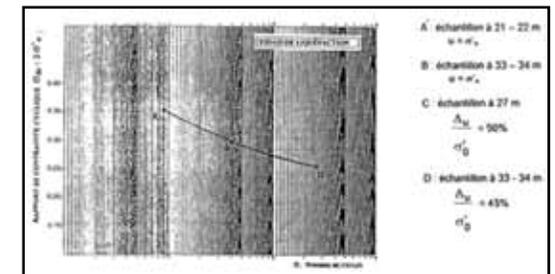
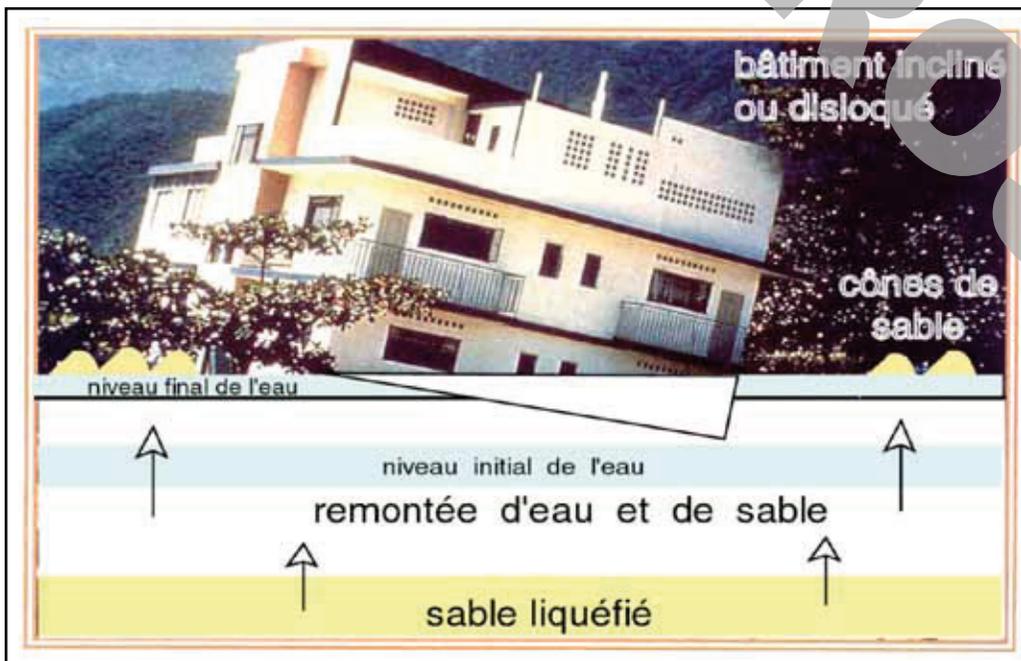
### IV.7.3. Les effets de la liquéfaction

Selon les témoignages, lors du séisme du 11 janvier 1839 qui a ébranlé la Martinique, des phénomènes de liquéfaction ne sont pas à exclure.

Le bulletin colonial du 12.03.1839 signale « les nombreuses fissures que le sol a conservé de toutes parts, les pavés et les carreaux qui ont été arrachés, broyés et même calcinés (...) ». Il n'est néanmoins pas fait allusion à la formation de « volcan de sable », typiques de la liquéfaction d'horizons sableux compris dans des alluvions.

Extrait de la macrosismicité des petites Antilles

Effets et caractéristiques focales du séisme du 11 janvier 1839 - P. Bernard, B. Sauret.



Courbe de liquéfaction à partir des analyses d'essais triaxiaux du sondage ci-dessus. Cahier technique AFPS n°22 - Avril 2001.



Chaussées rendues impraticables en raison de la liquéfaction des sols. Kôbé 1995



Phénomène de liquéfaction responsable du basculement et de l'enfoncement d'un immeuble à Caracas (Vénézuéla), lors du séisme du 29 juillet 1967 (magnitude 6,6). [collection NOAA]

Les ondes sismiques de forte amplitude arrivent à la surface dans des milieux granulaires peu consolidés, les grains de roche s'assemblent de manière plus compacte, ce qui augmente la pression de l'eau entre les grains et réduit leur capacité à s'accrocher les uns aux autres et le milieu se comporte alors mécaniquement comme un liquide, sans résistance au cisaillement.

Les fondations de bâtiments implantées dans un sol qui tout d'un coup, lors d'un séisme, se « liquéfie » de la sorte, vont s'enfoncer ou basculer, entraînant en bloc la construction au-dessus, ou causant son effondrement.

Ces phénomènes fréquents dans la région épiscopale des séismes à partir de magnitude 6 à 7, sont probablement la cause essentielle des pertes d'appui des fondations à l'origine d'un grand nombre de destructions.

Leur prise en compte dans l'évaluation du risque à l'échelle locale et dans les normes de construction parasismique est d'autant plus nécessaire qu'une grande part du développement urbain se fait sur des terrains propices à ces phénomènes (bordure de mer, rivière ou terrains gagnés sur les eaux, cas de nombreux secteurs urbains gagnés sur la mangrove par remblaiement).

Ainsi les villes de Fort-de-France et de Pointe-à-Pitre sont toutes deux menacées par ce phénomène et en ont déjà souffert lors de séismes historiques.



Perte des quais par liquéfaction du sol à Kobé en 1995.



Ruine d'un ouvrage d'art pour non prise en compte de l'aléa local : liquéfaction du sol d'implantation des piles du Showa Bridge, 1964. (NISEE-USA)

#### IV.7.4. Les failles actives

Une faille active est définie comme une fracture plane ou légèrement gauchie de l'écorce terrestre, le long de laquelle des déplacements tectoniques peuvent se produire. En surface, une faille active à l'origine d'un séisme peut :

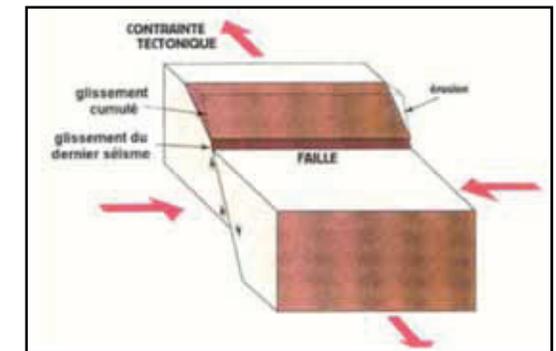
- induire des déplacements le long de ligne de rupture (rupture des terrains à la surface du sol) ;
- générer des mouvements vibratoires particuliers en source très proche, c'est à dire dans une zone de quelques centaines de mètres de part et d'autre de cette ligne de rupture ; cet effet peut se traduire par des amplifications aussi bien dans le sens horizontal que vertical.

Lorsque qu'une faille casse, la rupture peut se propager jusqu'à la surface du sol. L'apparition d'une faille en surface dépend de la profondeur du foyer et de la dimension du plan de faille. Suivant l'importance des déplacements relatifs des deux compartiments de la faille, les bâtiments fondés sur ces structures peuvent être gravement affectés, voire totalement détruit.

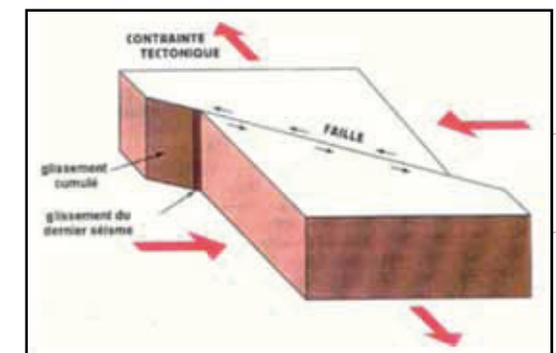
Il existe trois principaux types de failles :

On considère en France qu'une faille est active si elle a subi des mouvements significatifs au cours du Quaternaire, lors d'une période de moins de deux millions d'années.

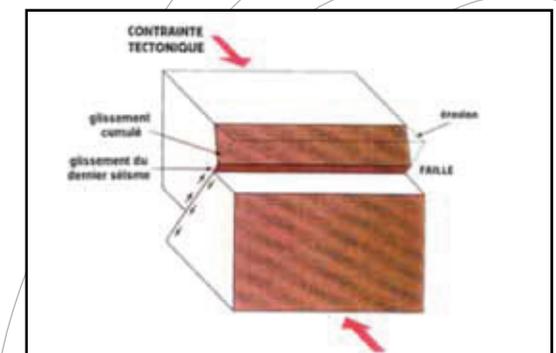
La reconnaissance des failles susceptibles d'engendrer des séismes repose sur divers critères liés à la sismicité et aux déformations géologiques récentes observées. La plupart du temps, les données de la sismicité (relation indubitable entre les foyers des séismes et la structure tectonique considérée) sont insuffisantes pour certifier l'activité d'une faille.



Faille normale



Faille décrochante



Faille inverse

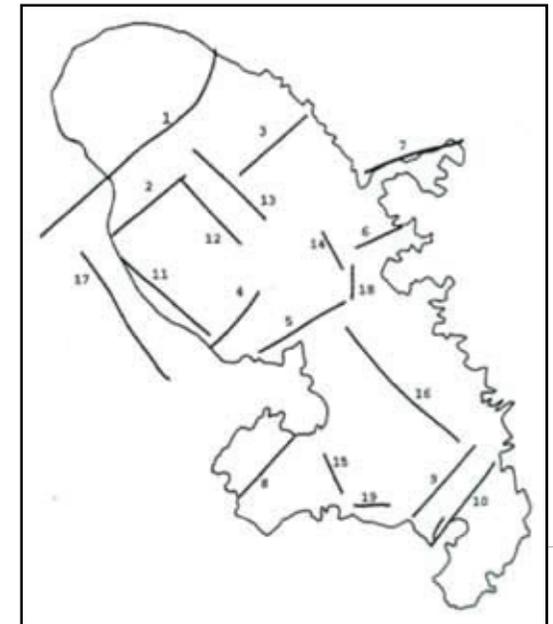
Pour retrouver les preuves de déformations tectoniques récentes, la confrontation des données néotectoniques (tectoniques, microtectoniques, morphologiques, stratigraphiques, géophysiques, etc.) avec les données sismiques permet alors des interprétations sismotectoniques.

L'identification des accidents potentiellement sismogènes repose d'abord sur une étude régionale de l'aléa sismique.

La cartographie des failles actives proposée dans le cadre de cette étude présente un document général à l'échelle du 1/100 000, extrait de la synthèse sismotectonique régionale de la Martinique (Godefroy et Mouroux, 1991). Leur localisation à grande échelle (1/25 000 à 1/10 000) a nécessité des investigations de surface sans mise en œuvre de méthodes lourdes géophysique ou de forage. Cette approche ne peut fournir des résultats péremptaires, le tracé pouvant être masqué en surface par certaines formations géologiques ou par des aménagements anthropiques.

La maîtrise de l'urbanisme, au travers du PPR, offre la possibilité de prendre en compte une faille active en définissant une bande d'incertitude sur son tracé qui peut donner lieu à des prescriptions particulières de construction en fonction du type de bâtiment. Tout le problème réside dans la définition précise du tracé de la faille, de la largeur de la zone de réglementation particulière qu'elle implique et dans la probabilité pour un séisme de créer une rupture en surface.

Pour l'application des règles de construction parasismique en vigueur, la définition de la zone à neutraliser doit alors être envisagée au cas par cas pour chaque faille considérée.



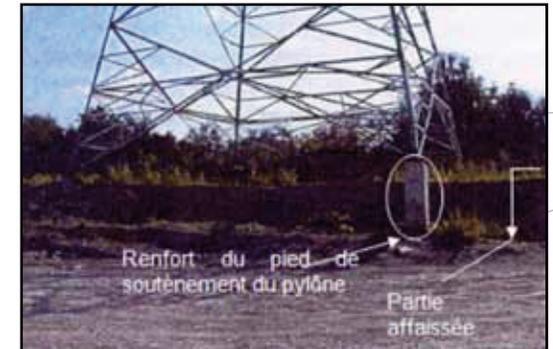
Localisation des failles actives et inactives en Martinique, (d'après P. Godefroy et P. Mouroux, 1991, rapport BRGM N° R 32 923)

IV.7.5. Les conséquences des effets des failles actives

PROJET



Ruine d'un ouvrage d'art pour non prise en compte de l'aléa local implantation sur une faille décrochante susceptible de jouer en surface. (Séisme de Taiwan, 1999.



Faille d'Edgcumbe (Nouvelle-Zélande)

#### IV.8 PRISE EN COMPTE DES PHÉNOMÈNES SISMQUES DANS LE PPR

L'étude des phénomènes sismique est d'une complexité rare et la science est encore largement entâchée d'incertitude.

Le PPR propose de traiter 3 thèmes :

- L'effet direct du séisme (la vibration du sol)

Le PPR rappelle la nécessité d'appliquer les règles de construction parasismiques en vigueur

- 2 effets associés :
  - la liquéfaction des sols

Le PPR rappelle la nécessité d'appliquer les règles de construction parasismique en vigueur

Il propose une cartographie des zones liquéfiables

- la présence de faille

Pour simplifier et vulgariser le sujet, 3 types de failles existent en Martinique :

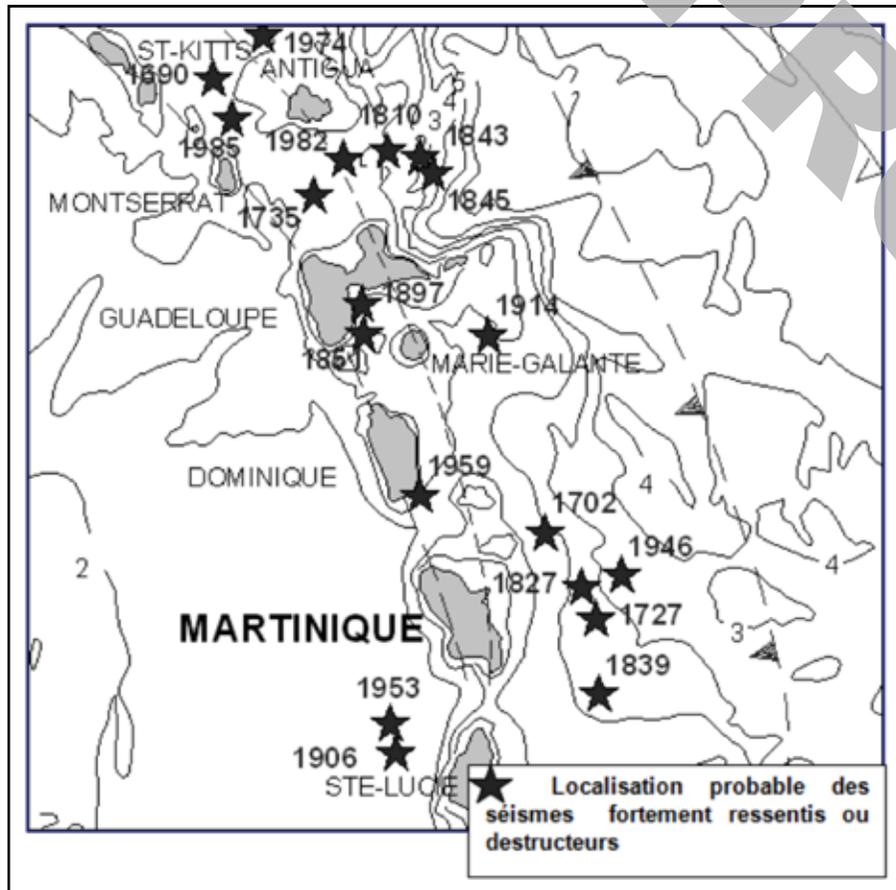
- des failles dites actives, c'est à dire capable de générer des dégâts importants en surface contre lesquels on ne peut se prémunir. Il faut donc éviter toute construction en surface sur ces tracés. En l'état actuel des connaissances : ce type de faille n'a pas été reconnu en Martinique.
- des failles supposées actives, il faut par précaution éviter d'implanter des bâtiments ultra-sensibles sur leur tracé. 5 failles ont été retenues.
- des failles inactives car trop anciennes et donc peu dangereuses. Ces failles sont très nombreuses en Martinique et ne sont bien entendu pas toutes cartographiées.

En fonction de l'évolution des connaissances, il est clair que le zonage peut évoluer. Par exemple une faille peut être reconnue comme active.

Le PPR propose donc une réglementation dans l'état actuel des connaissances, le zonage pourrait être révisé dans les années ou décennies à venir en fonction des progrès des connaissances. Il est rappelé que la réglementation parasismique en vigueur va évoluer dans un futur proche et que ce sont ces nouvelles normes qui s'appliqueront alors.

### IV.9 HISTORIQUE

La Martinique a subi d'importants tremblements de terre. Ainsi, au cours de trois derniers siècles, une vingtaine de séismes d'intensité VI à VIII est répertoriée. Parmi les secousses les plus violentes, 1727, 1837, 1839 et 1946, celle de 1839 fut de loin la plus meurtrière. Occasionnant la destruction quasi totale des habitations, le séisme de 1839 a fait plus de 300 morts à Fort-de-France (alors appelée Fort-Royal).



Les volcans sont l'expression en surface de l'affrontement de deux plaques dont l'une, souvent plus dense, plonge sous l'autre : c'est le processus de subduction qui engloutit dans le manteau les plaques créées aux dorsales.

Une éruption volcanique est engendrée par l'arrivée de magma à la surface de la Terre : l'épanchement de ce magma peut se faire de façon fluide ou explosive, sur une durée prolongée ou permanente. Une quantité d'énergie considérable est libérée à cette occasion.

Les éruptions peuvent prendre diverses formes :

- Activités solfatariques (fumerolles),
- Sources chaudes,
- Gaz,
- Chute de blocs et de cendres, avalanches de cendres, etc.

On considère généralement sept aléas volcaniques majeurs: aléas directs tels que les retombées de tephra, coulées pyroclastiques, coulées de lave, émanations de gaz et les aléas indirects tels que lahars, glissements de terrain, tsunamis.

### V.1 LES TEPHRA (RETOMBEES AERIENNES)

On désigne sous le terme de tephra l'ensemble du matériel projeté lors d'une éruption.

Les cendres retombent parfois à plusieurs milliers de kilomètres de leur point d'émission. Ces retombées de tephra forment une couche uniforme au sol qui va de quelques millimètres à plusieurs mètres d'épaisseur. A proximité du volcan, l'accumulation de cendres encombre les routes, détruit la végétation et les cultures. Dans certains cas, des éléments chimiques présents dans les cendres polluent les sols et les eaux de surface.

## V.2 LES COULEES PYROCLASTIQUES

Une coulée pyroclastique est l'émission d'un mélange de gaz chauds et de matériaux solides. Plusieurs types d'écoulements sont rassemblés sous ce terme: nuées ardentes ou déferlantes basales.

Effet de «souffle», dommages dus aux chutes de matériaux, effets thermiques, font de ce dynamisme volcanique le plus destructeur pour les biens matériels et le plus dangereux pour les hommes. La vitesse de déplacement des coulées pyroclastiques est un facteur de risque majeur, car on ne peut fuir devant elles...

## V.3 LES INTRUSIONS ET COULEES DE LAVE

La lave émise par le volcan se répand en coulées à partir du point d'émission. Les coulées glissent sur les pentes et se répandent dans les vallées où elles comblent les cuvettes. Des coulées basaltiques fluides progressent à des vitesses variant de quelques centaines de mètres à plusieurs dizaines de kilomètres par heure. Elles couvrent ainsi des distances de plusieurs kilomètres. Les coulées de lave acide, beaucoup plus visqueuses, progressent plus lentement, elles parcourent de plus petites distances et couvrent de moins grandes surfaces. Les plus visqueuses donneront des intrusions en forme de dôme, parfois emboîtés.

Face à des coulées de lave, l'homme n'est pas véritablement en danger: les vitesses relativement lentes et le parcours très prévisible des coulées permettent de les fuir aisément. En revanche, les dommages matériels sont toujours importants: aucun bâtiment ou infrastructure ne résiste, les zones de culture ou d'élevage recouvertes de lave resteront stériles pendant de longues années.

## V.4 LES EMANATIONS DE GAZ

Les volcans actifs peuvent émettre d'énormes quantités de gaz. Le plus commun est le dioxyde de soufre. Généralement, les grandes injections de gaz chauds remontent vers la haute atmosphère et sont rapidement diluées. Elles ne présentent pas de danger pour les populations avoisinantes. Les rejets de gaz de moindre importance sont plus néfastes. Le vent les rabat sous la forme de nappes de gaz, et les pluies peuvent devenir acides. La vie pour les humains dans de telles zones peut être extrêmement inconfortable, voire dangereuse.

Dans certaines circonstances, les volcans rejettent des nappes de dioxyde de carbone. Le dioxyde de carbone est un gaz inodore plus lourd que l'air. En s'écoulant vers les zones habitées, il peut présenter un danger léthal pour les populations.

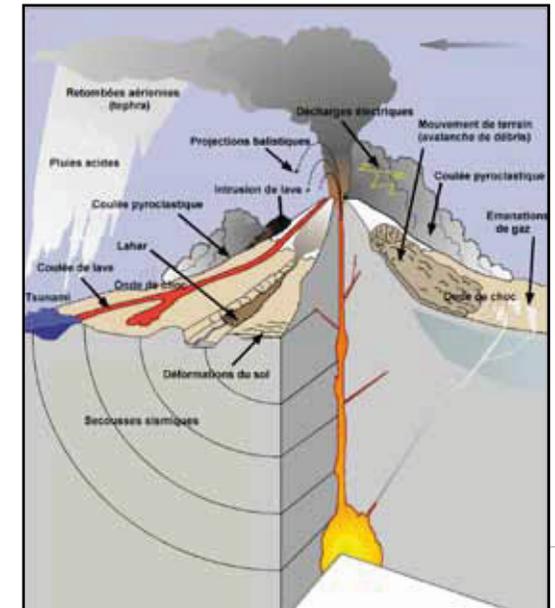
### V.5 LES LAHARS

Selon la dénomination indonésienne, le mot lahar signifie «coulée de boue». La formation du lahar provient de la conjonction de plusieurs éléments: une présence de matériel volcanique instable, une injection d'eau dans ce matériel, et enfin une rupture d'équilibre qui met ce mélange en mouvement. La «boue» descend les pentes, puis emprunte le lit des torrents et des rivières.

Les lahars se répandent à plusieurs dizaines de kilomètres du volcan. Leur puissance de destruction est très importante et peu d'infrastructures résistent à leur passage.

### V.6 LES MOUVEMENTS DE TERRAIN

Les édifices volcaniques sont généralement construits par accumulation de matériaux très divers (coulées de lave, cendres, scories, blocs) non consolidés qui forment un ensemble instable. L'injection de magma peut déformer le flanc du volcan et provoquer l'effondrement de masses importantes. Les avalanches de débris s'écoulent et envahissent les vallées et les dépressions: les dégâts dus aux glissements de terrain peuvent être considérables.



## V.7 HISTORIQUE

La Martinique a essuyé plusieurs éruptions volcaniques au cours de son histoire. Mais celle que l'on retient a eu lieu le 8 Mai 1902 : il s'agit d'une des éruptions les plus meurtrières de l'Histoire, elle a occasionné plus de 30000 morts.

A la fin du XIXème siècle, Saint-Pierre, principale ville de la Martinique abritait une population de près de 26 000 habitants. Après l'éruption du matin du jeudi 8 mai 1902, la ville était totalement détruite, avec seulement deux survivants. De la baie de Saint-Pierre, le capitaine Freeman, commandant du Roddam qui venait juste d'arriver dans la rade (seul navire ayant échappé au désastre, non sans de graves dommages), témoigne :

«Tout à coup retentit une violente détonation qui ébranla la terre et la mer. Ce fut une formidable explosion de la montagne, qui parut s'entrouvrir du sommet à la base pour donner passage à une flamme éclatante qui s'éleva dans l'air, et à une poussée formidable de nuages noirs. Ceux-ci se précipitèrent en dévalant le long des pentes de la montagne, descendant comme une trombe, franchissant tous les obstacles, puis, au moment d'atteindre les parties basses, ils formèrent un éventail et s'élancèrent sur la malheureuse ville qu'ils plongèrent dans les ténèbres, ils bondirent sur les navires de la rade. A part cet éclair du premier moment, il n'y eut pas de feu : ce fut simplement un nuage chargé de cendres et de ponces portées à une très haute température qui, en une minute et demie, franchit la distance qui sépare le volcan de la ville, détruisant et brûlant tout sur son passage. A son arrivée à la mer, sa masse souleva les flots, les petits navires furent culbutés, le Roraima couché sur le côté, le Roddam à demi submergé, le Grappler coulé (...). »



Saint-Pierre avant l'éruption.



Saint-Pierre au lendemain de la catastrophe.

## VI.1 DEFINITION D'UN TSUNAMI

Un tsunami (du japonais tsu : port et nami : vague) correspond à une série de vagues provoquée par une action mécanique brutale et de grande ampleur au niveau d'une mer ou d'un océan. Ces actions sont le plus souvent d'origine tectonique, volcanique ou liées à des glissements de terrain mais un impact météoritique peut aussi en être la cause.

Suite à leur génération, les tsunamis se propagent dans toutes les directions, parfois sur plusieurs milliers de kilomètres, jusqu'à atteindre les côtes. Seuls les tsunamis plus importants inondent ces dernières.

Même si, en pleine mer, la hauteur des vagues n'est pas très impressionnante, leur amplitude augmente à l'approche des côtes lorsque le fond diminue. Sur les rivages, la puissance destructrice des tsunamis est énorme.

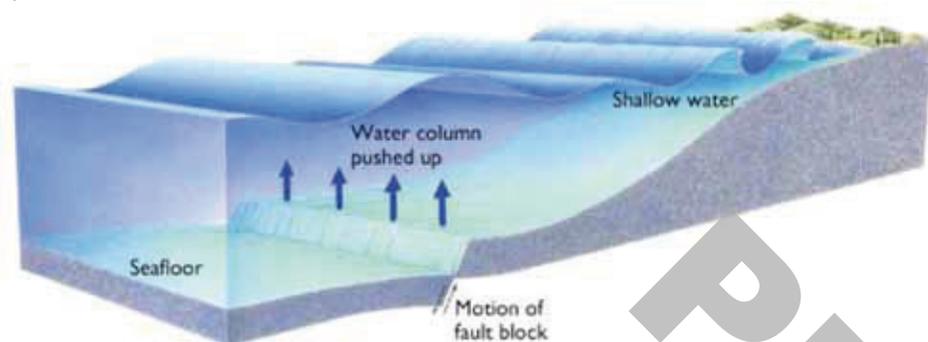
## VI.2 LES TROIS PHASES D'UN TSUNAMI

Les tsunamis peuvent ainsi être décrits selon trois phases : la génération, la propagation et l'inondation.

A la phase de génération, les tsunamis se caractérisent par des périodes (T, durée entre deux vagues consécutives) allant de quelques minutes (généralement liés à des glissements de terrains) à plus d'une heure lorsqu'ils sont causés par des événements tectoniques majeurs. Les longueurs d'ondes associées (L, distance entre deux vagues consécutives) peuvent alors varier de plusieurs dizaines à quelques centaines de kilomètres. Bien souvent, L est largement supérieure à la profondeur (P). Dans ce cas, les tsunamis obéissent à la théorie des « ondes longues » qui prévoit une vitesse de propagation (V) homogène sur toute la tranche d'eau. V peut-être alors approchée par la relation :

$$V = \sqrt{g \times P} \quad \text{où } g \text{ correspond à l'accélération terrestre (9.81)}$$

Ainsi en se propageant vers la côte, l'onde rencontre des profondeurs de plus en plus faibles en faisant chuter sa vitesse : par exemple, de 943 km/h à 7000 m de profondeur à 36 km/h à 10 m de profondeur. Cela implique également une diminution de L ( $L = V \times T$ ). Comme la quasi-totalité de l'énergie transportée par le tsunami est conservée lors de sa propagation, cela implique l'augmentation des hauteurs des vagues en eau peu profondes (étape de gonflement).



Source OVSM (Observatoire Volcanologique et Sismologique de Martinique)

Il existe un seuil, défini par le rapport entre la hauteur des vagues et la profondeur de l'eau, au-delà duquel les vagues déferlent en contribuant à la dissipation de l'énergie.

Il faut noter que la hauteur des vagues correspond à la somme de l'amplitude de la crête et l'amplitude du creux (hauteur crête-à-creux). Dans le domaine marin, l'amplitude des crêtes équivaut donc à l'élévation maximale du plan d'eau.

L'inondation du domaine terrestre dépendra des caractéristiques du tsunami près du rivage (amplitude, période et longueur d'onde des vagues) et de la topographie côtière. En cas d'inondation, le tsunami ne comporte plus comme une onde mais comme un torrent qui sera plus ou moins chenalisé par la topographie et d'éventuelles rivières ou canaux. Il interagira également avec la végétation, les ouvrages et le bâti côtiers. La limite d'inondation, correspondant à l'enveloppe de l'excursion maximale de l'eau dans le domaine terrestre, permet de caractériser cette zone inondée. On parle de hauteur du run-up et de profondeur d'inondation comme étant respectivement l'altitude et la distance horizontale de la limite d'inondation par rapport au niveau de la mer avant le tsunami. Localement, on peut également s'intéresser à la hauteur (ou épaisseur) d'inondation qui équivaut à la différence entre les altitudes du plan d'eau et celle du substrat.

Il est à noter que les mécanismes de génération des tsunamis peuvent être plus complexes et que des interactions existent entre les différentes sources (tectonique, volcanique, glissements de terrain...). Par exemple, un séisme de faible magnitude peut provoquer un glissement sous-marin de grande amplitude à l'origine d'un tsunami dévastateur.

Enfin, à proximité du rivage, les tsunamis subissent des phénomènes comme la diffraction, la réflexion, la dissipation par frottement et déferlement, le piégeage d'ondes (ondes de coin), ... qui accentueront ou diminueront les effets des vagues en fonction de la physiographie locale.

### VI.3 HISTORIQUE

En 1902, l'éruption de la montagne pelée a provoqué un tsunami de 4 à 5 m à Saint Pierre.