

# ***Guide pour la Construction d'Hôpitaux Résistants aux Aléas Naturels en Haïti***

*Programme de formation à son utilisation*

Partie 1

ELEMENTS CONTEXTUELS



# *Programme de formation à l'utilisation du Guide pour la construction d'hôpitaux résistants en Haïti*

- **Préambule**
- En 2013, l'OPS a produit un *Guide pour la Construction d'Hôpitaux Résistants aux Aléas Naturels en Haïti* prenant notamment en compte les exigences des contextes sismiques et cycloniques.
- Le programme de formation à son utilisation s'adresse à des ingénieurs et architectes possédant déjà la connaissance de l'ingénierie parasismique et paracyclonique, et souhaitant vérifier :
  - Son application dans le contexte des établissements de santé;
  - Les données du territoire haïtien.

# Qu'est-ce qu'un guide?

- Un guide a pour vocation de faciliter le travail des professionnels déjà compétents dans leur domaine.
- Il a pour but :
  - de rappeler simplement les fondements de la réglementation relative à leur domaine d'application
  - de résumer les précautions générales, les paramètres du calcul appropriés à chaque cas, et les obligations de mise en œuvre

C'est une aide contre les omissions ou les erreurs d'appréciation inacceptables dans leur contexte.

# Les quatre parties du guide

- Le corps du guide:
  - Partie 1 : Éléments contextuels à prendre en compte
  - Partie 2 : Prescriptions techniques pour les projets de construction neuve
- Les compléments:
  - Partie 3 : Termes de référence et éléments formels du contrôle technique
  - Partie 4 : Evaluation et entretien des constructions existantes en vue de la réduction de leur vulnérabilité
- Quelques compléments d'information ont été annexés.

# Contenu de la partie 1

- *Contextes géophysiques et climatiques haïtiens contraignant les règles de construction ;*
- *Exigences de comportement des bâtiments de santé et cadre réglementaire pour leur construction en Haïti ;*
- *Exigences complémentaires liées aux conditions locales des sites d'implantation ;*
- *Éléments pour la démarche de conception et de calcul, qui découlent du contexte et des exigences ;*
- *Éléments formels pour l'application d'IBC 2009 et ASCE 7-05 en Haïti.*

# Notion d'exigences appropriées au contexte

- Exposés à une situation sismique ou cyclonique majeure, les différents locaux du futur établissement de santé doivent satisfaire des exigences variables.
  - Certains doivent rester fonctionnels à 100% (ex: blocs opératoires, lieux de soin, etc.);
  - d'autres doivent pouvoir fonctionner en n'acceptant que des gênes mineures (ex: laboratoires) ou modérées (ex: cuisines).
- A cet égard, les exigences de comportement sont également réglementées.

# Chaque site est particulier.

- Les phénomènes naturels ou le voisinage constituent-ils une menace ?
- Peut-on s'en protéger ?
- Quels sont les critères de choix d'un « bon » site ?
- Quelles études géotechniques réaliser avant d'approuver définitivement le choix d'un terrain à construire ?

**-1-**

# **Contextes géophysiques et climatiques haïtiens contraignant les règles de construction**

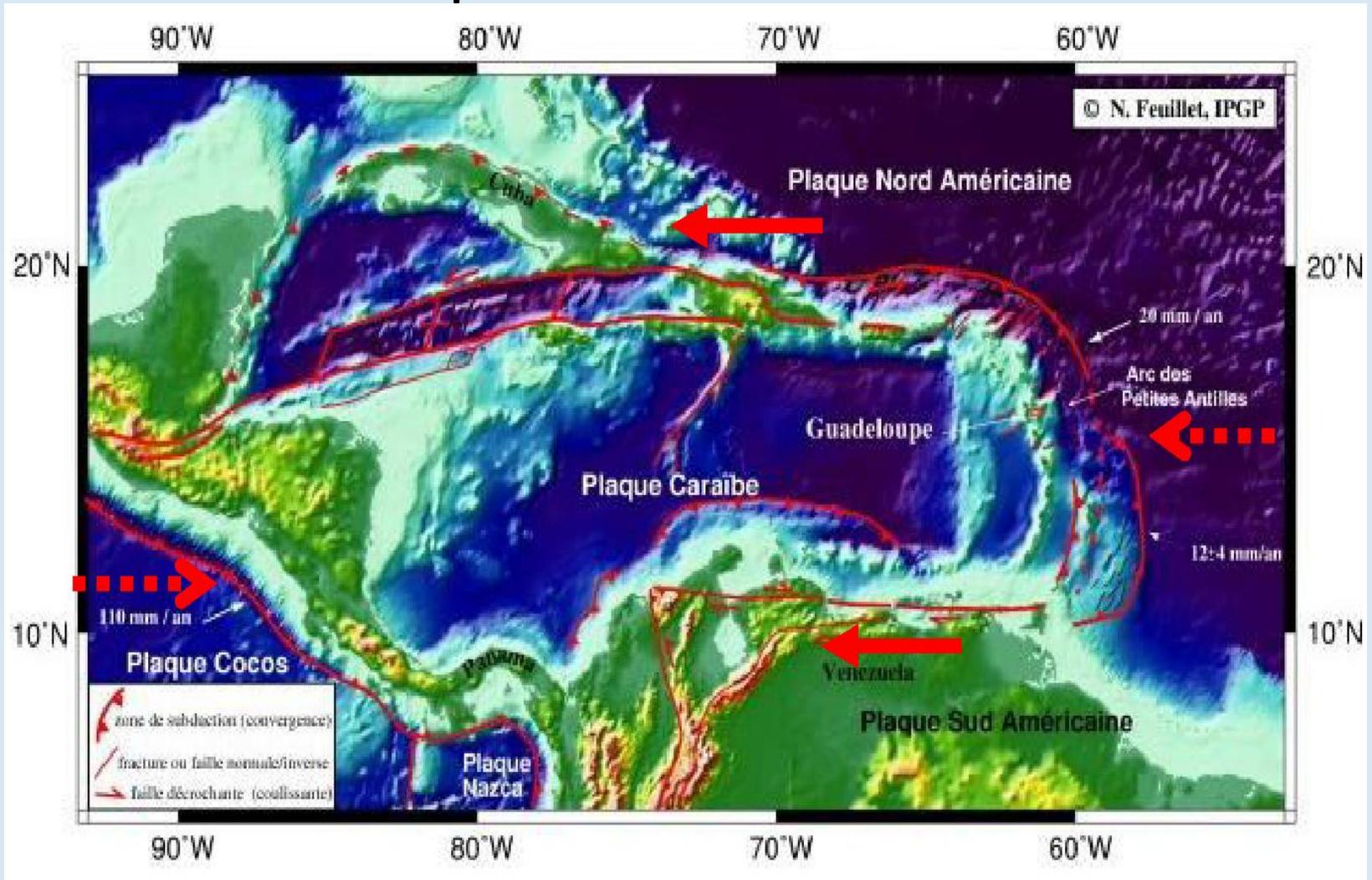


## 1.1. Contexte sismique d'Haïti dans la Caraïbe (1)

- **Phénomène sismique**
  - Secousses provoquées par la rupture de la « croûte terrestre » qui se déforme.
  - **Pourquoi? Où? Comment? Quand?**
  - La réponse à ces questions permet de définir les **éléments de l'aléa sismique** pour une politique de prévention.
- *Aléa: menace ou probabilité d'exposition à une menace.*

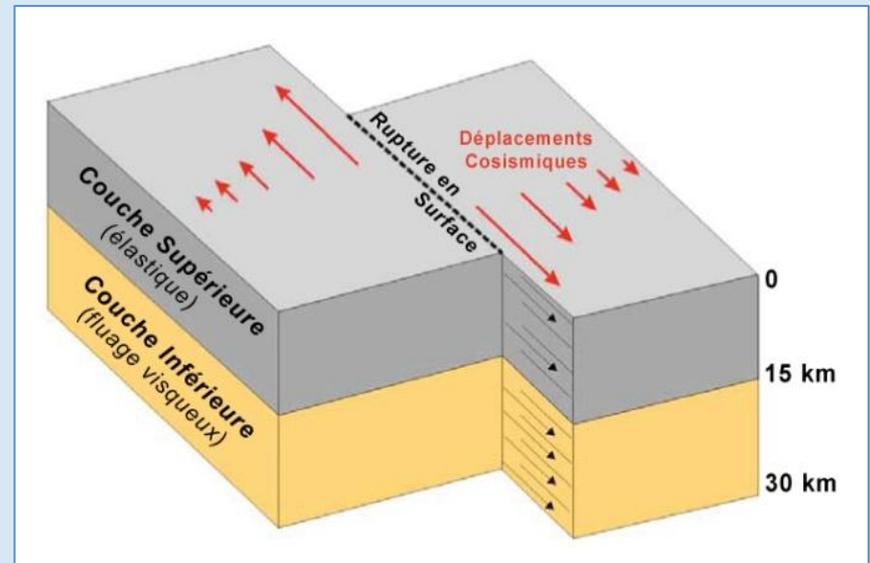
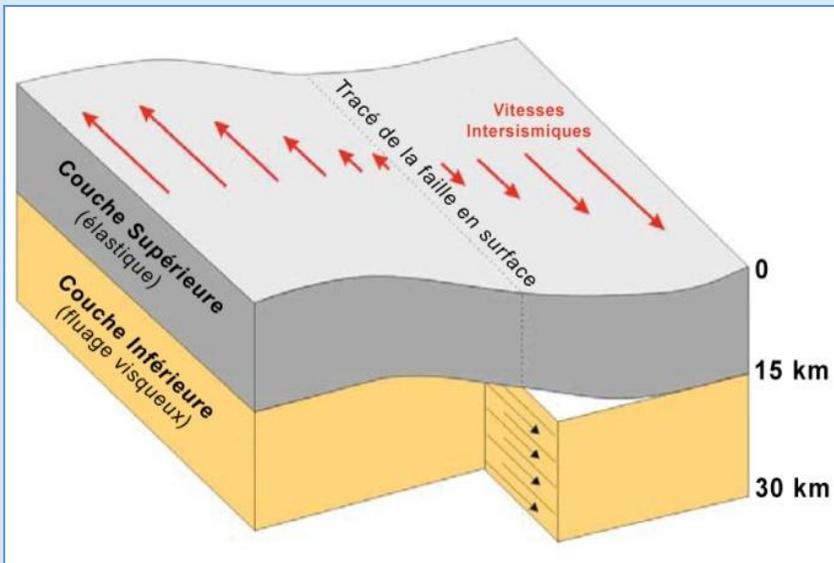
## 1.1. Contexte sismique d'Haïti dans la Caraïbe (2)

- Cadre tectonique de la Caraïbe



## 1.1. Contexte sismique d'Haïti dans la Caraïbe (3)

- Notion de cycle sismique d'une faille active
  - La déformation continue de la base semi-rigide entre la croûte rigide et le magma visqueux « entraîne » celle de la croûte qui, passée sa capacité de résistance, casse.
  - Le « temps » de cette résistance définit le cycle.



## 1.1. Contexte sismique d'Haïti dans la Caraïbe (4)

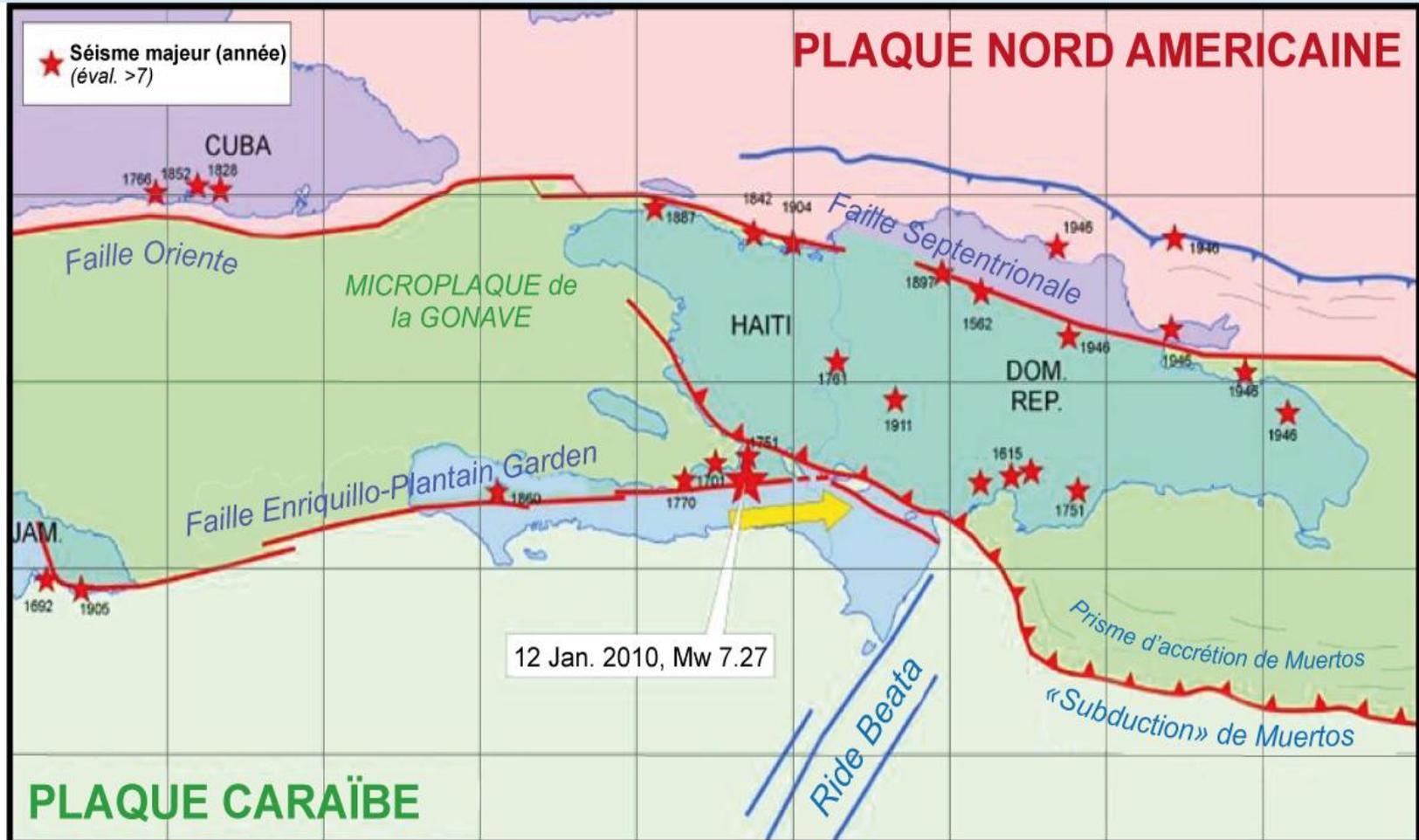
- **Notion de Magnitude d'un séisme**
  - quantité d'énergie rayonnée par la source sismique (rupture) sous forme de chaleur et d'ondes (secousses).

MAGNITUDE	LONGUEUR CARACTERISTIQUE DE LA RUPTURE	DEPLACEMENT SUR LE PLAN DE RUPTURE	DUREE DE LA RUPTURE	ENERGIE LIBEREE
9	800KM	8 m	250 s	E x 36 000 000
8	250KM	5 m	85 s	E x 1 100 000
7	50KM	1 m	15 s	E x 33 000
6	10KM	20 cm	3 s	E x 1000
5	3KM	5 cm	1 s	E x 33
4	1KM	2 cm	0,3 s	E



# 1.1. Contexte sismique d'Haïti dans la Caraïbe (6)

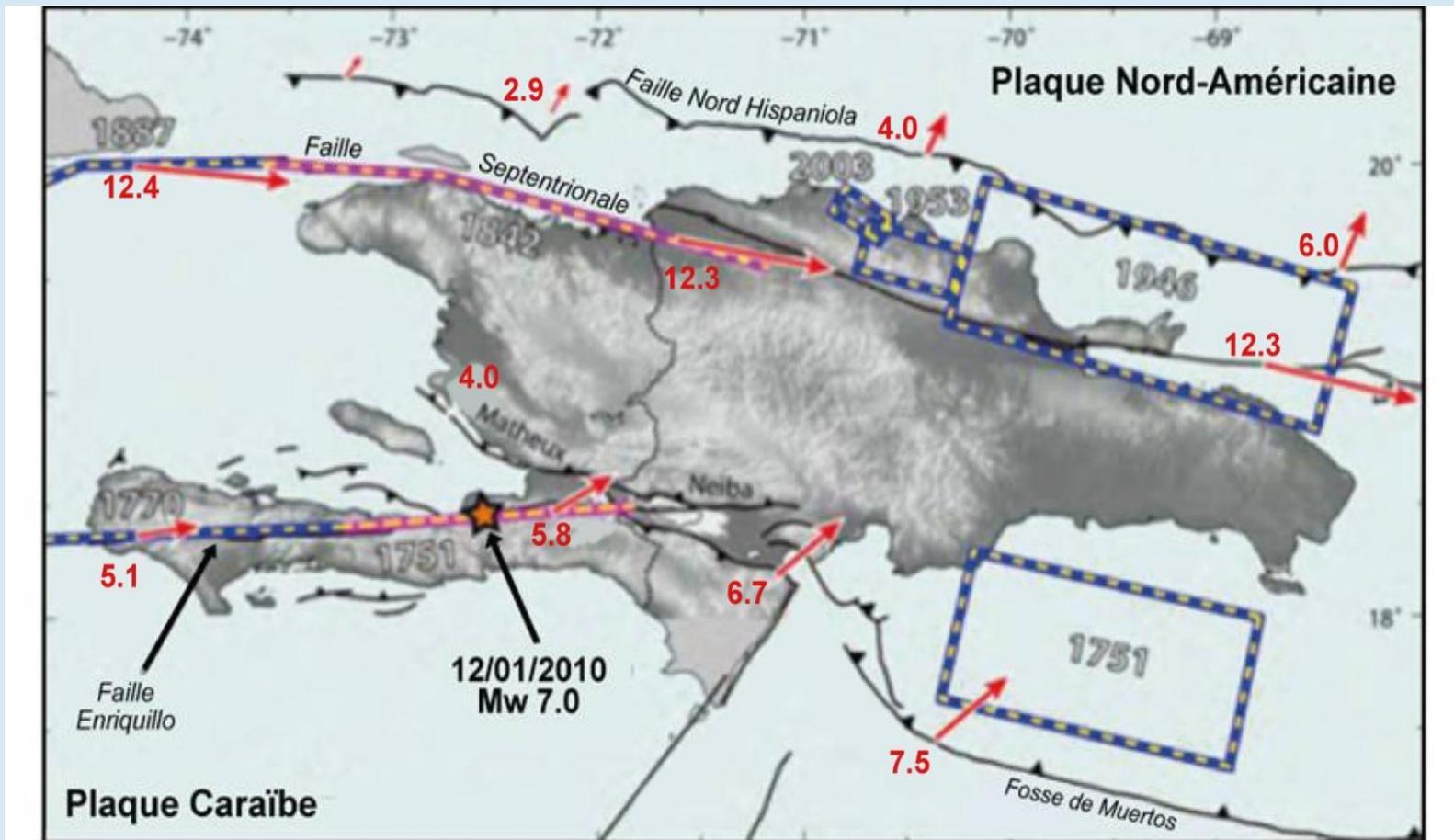
- Contexte sismique haïtien (1) : Les principales failles connues



# 1.1. Contexte sismique d'Haïti dans la Caraïbe (7)

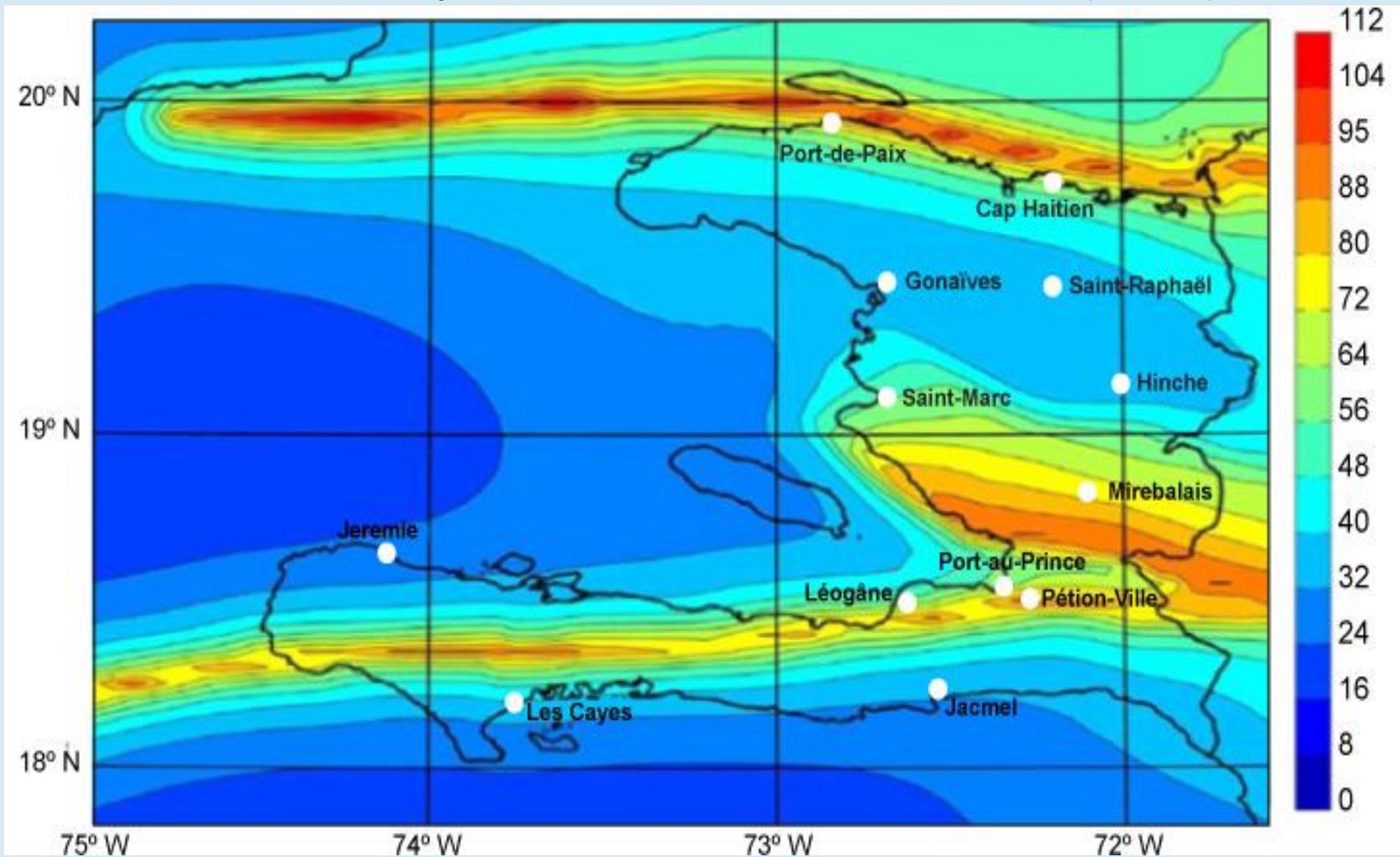
- Contexte sismique haïtien (2) :

ruptures historiques de ces failles



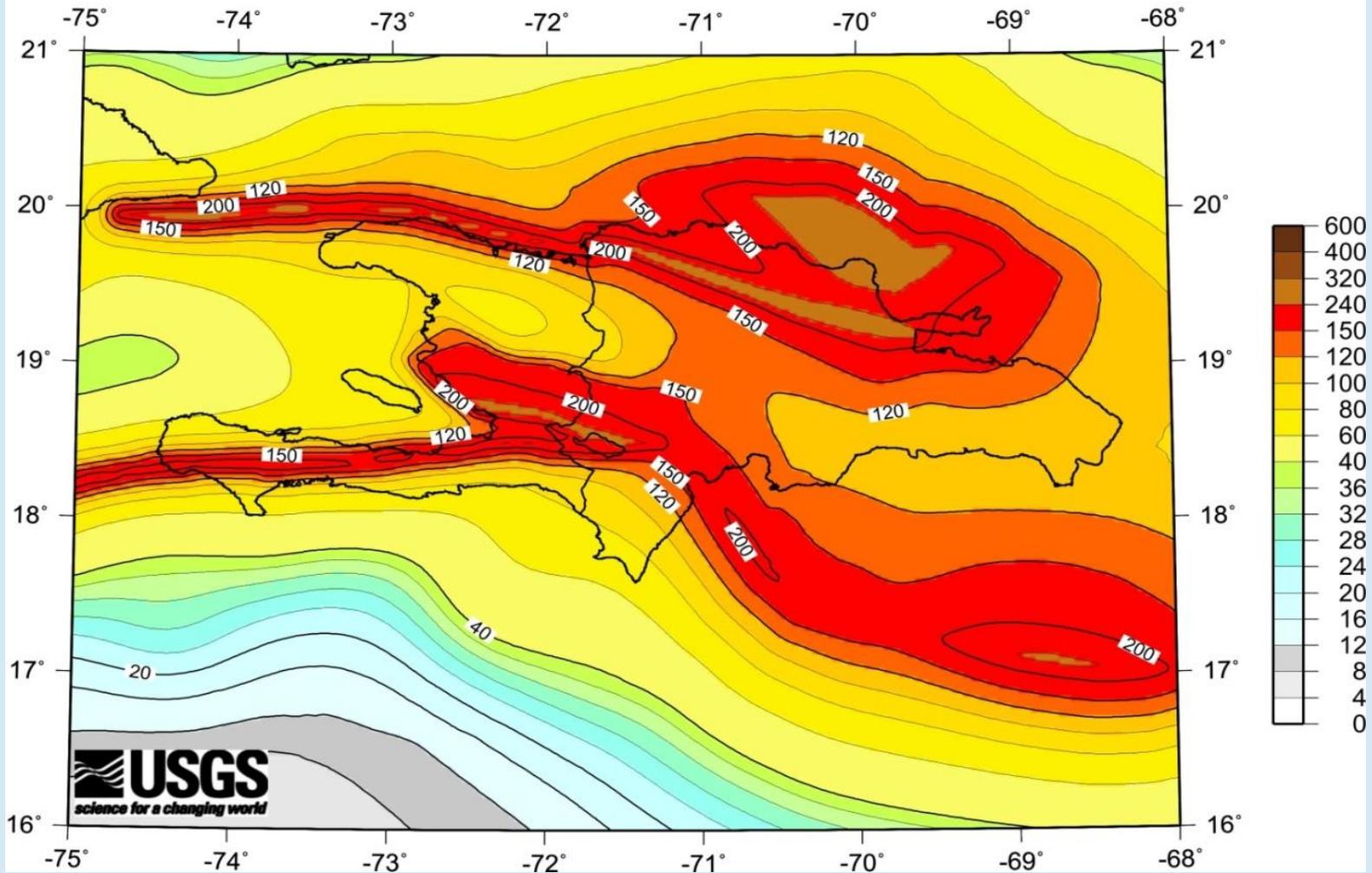
## 1.1. Contexte sismique d'Haïti dans la Caraïbe (8)

- Carte de l'aléa sismique régional probabiliste des « Règles de Calcul Intérimaires pour les Bâtiments en Haïti » (2011)



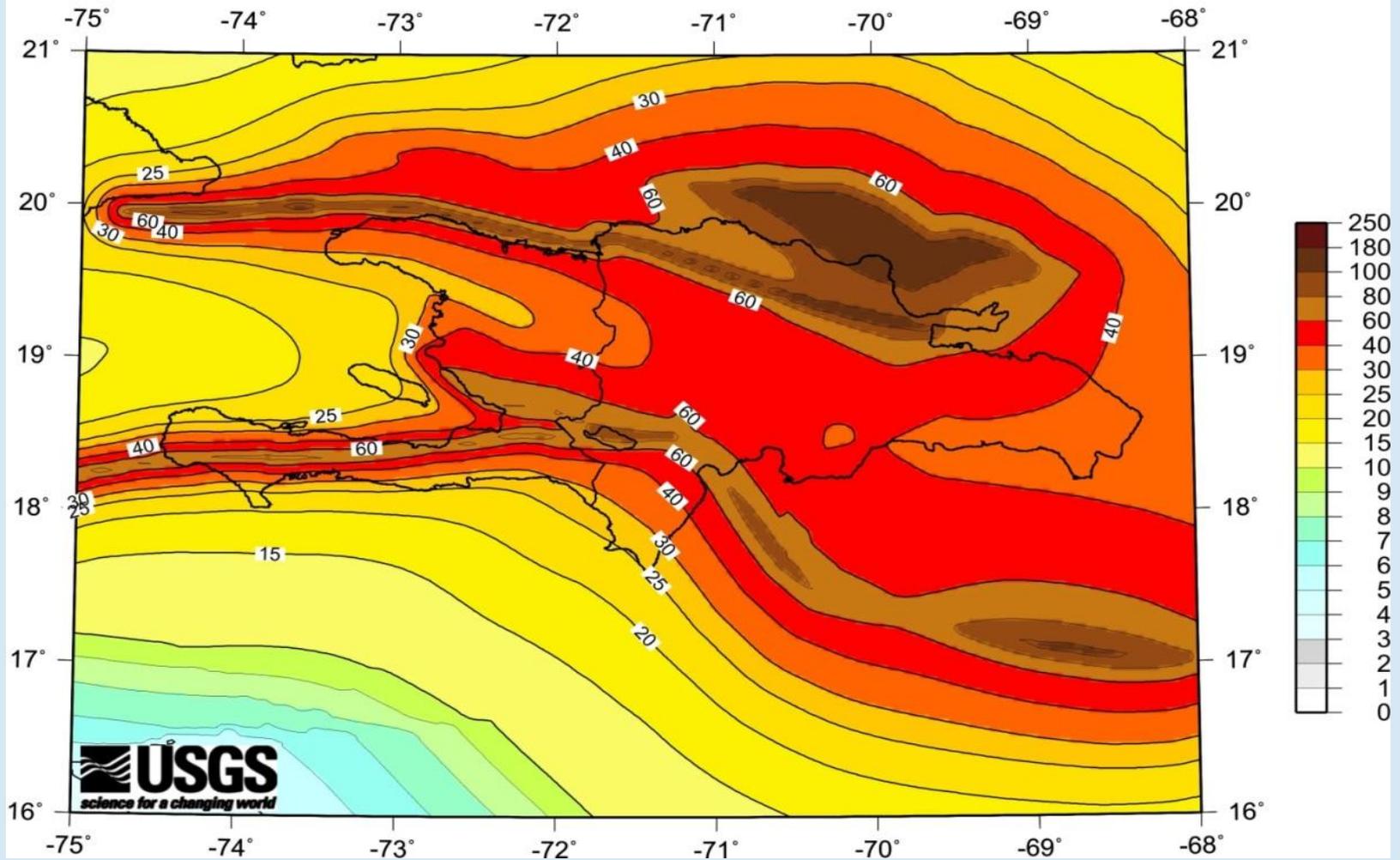
## 1.1. Contexte sismique d'Haïti dans la Caraïbe (9)

- Pour les utilisateurs d'IBC-ASCE, valeur de SS:  
5 Hz Spectral Acceleration (%g) with 2% Probability of Exceedance in 50 Years



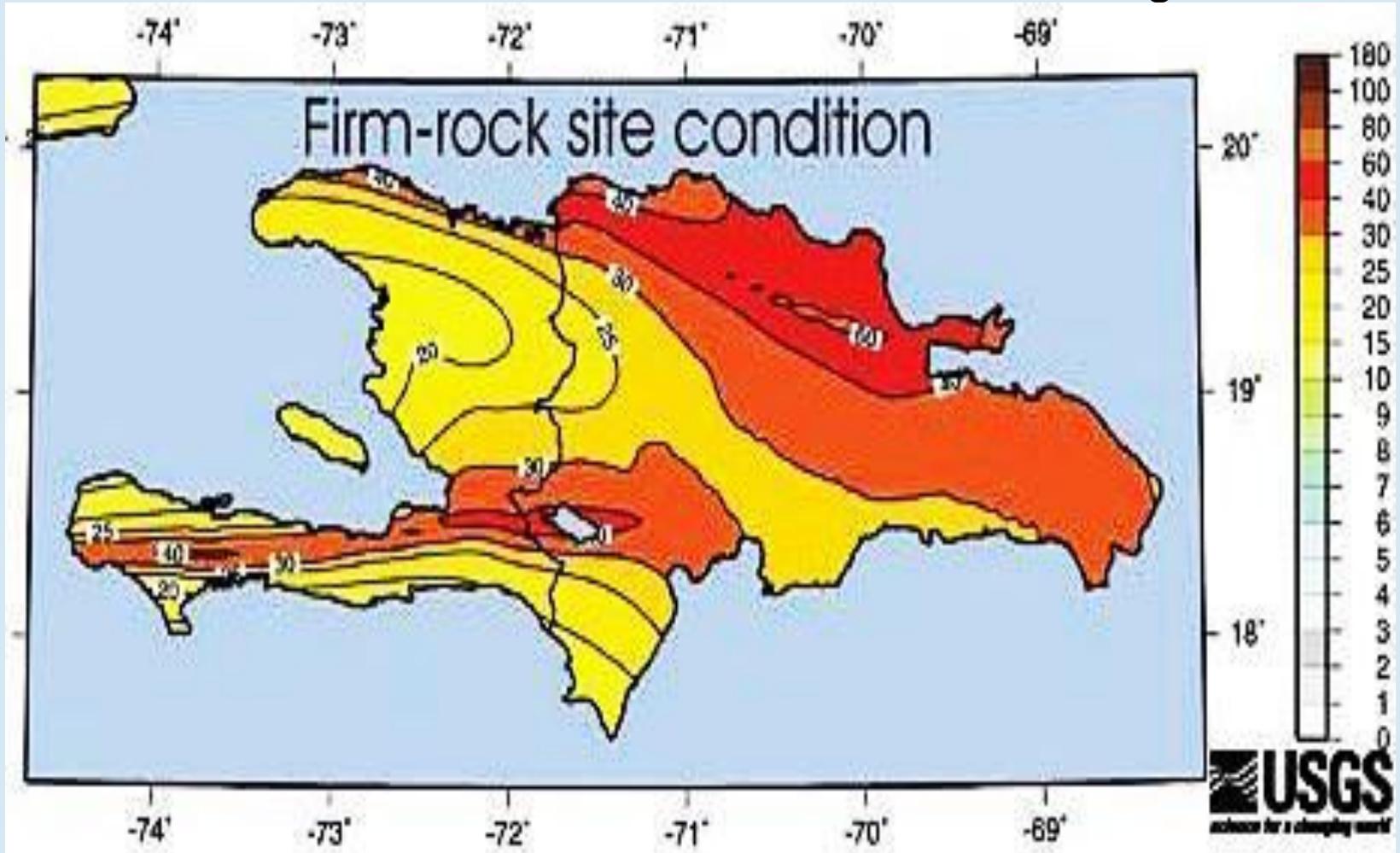
# 1.1. Contexte sismique d'Haïti dans la Caraïbe (10)

- Pour les utilisateurs d'IBC-ASCE, valeur de S1:  
1 Hz Spectral Acceleration (%g) with 2% Probability of Exceedance in 50 Years



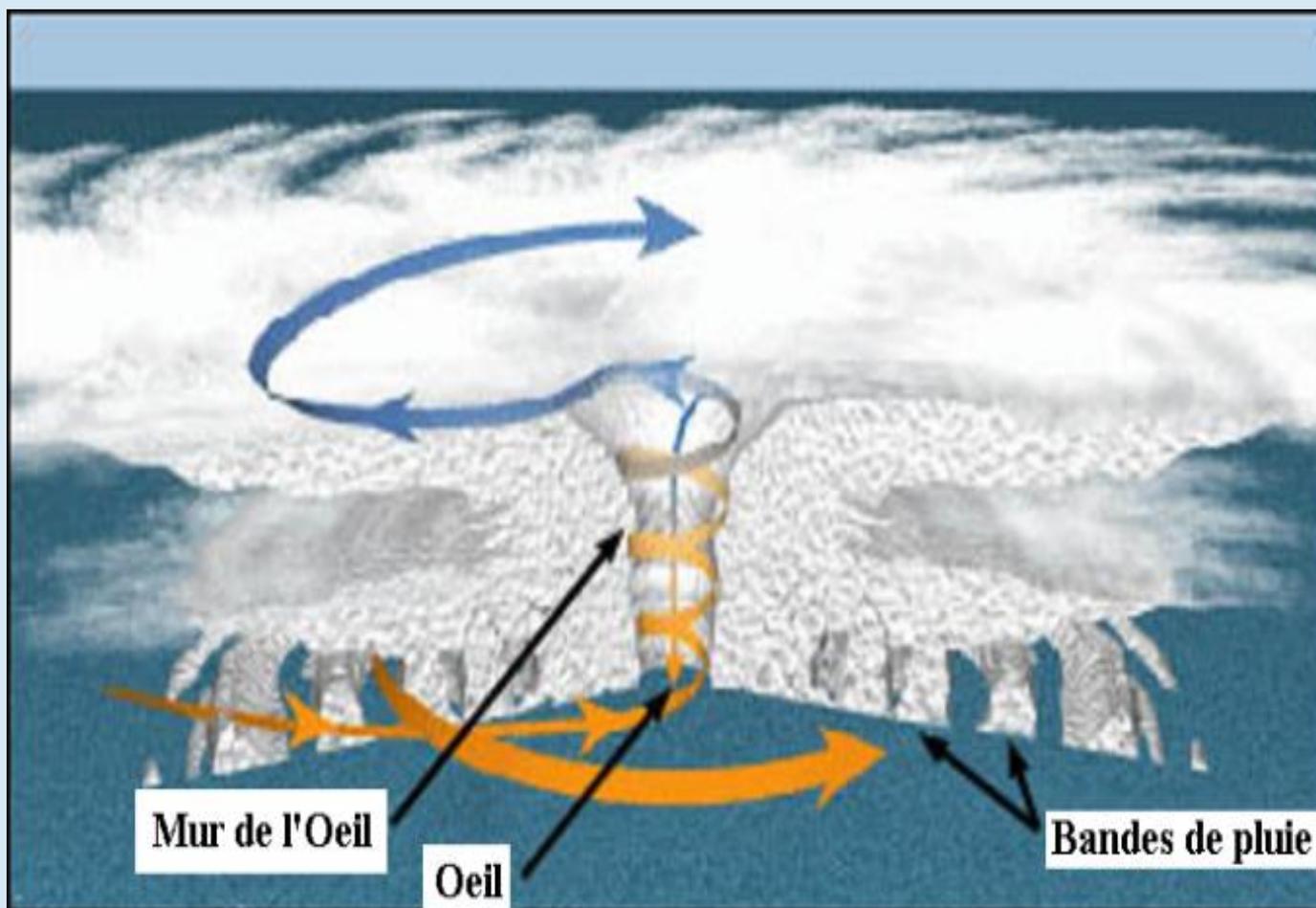
## 1.1. Contexte sismique d'Haïti dans la Caraïbe (11)

- Pour les utilisateurs d'EC8, valeur de  $a_g$  (475 ans)



## 1.2. Contexte cyclonique d'Haïti dans la Caraïbe (1)

- Le phénomène



## 1.2. Contexte cyclonique d'Haïti dans la Caraïbe (2)

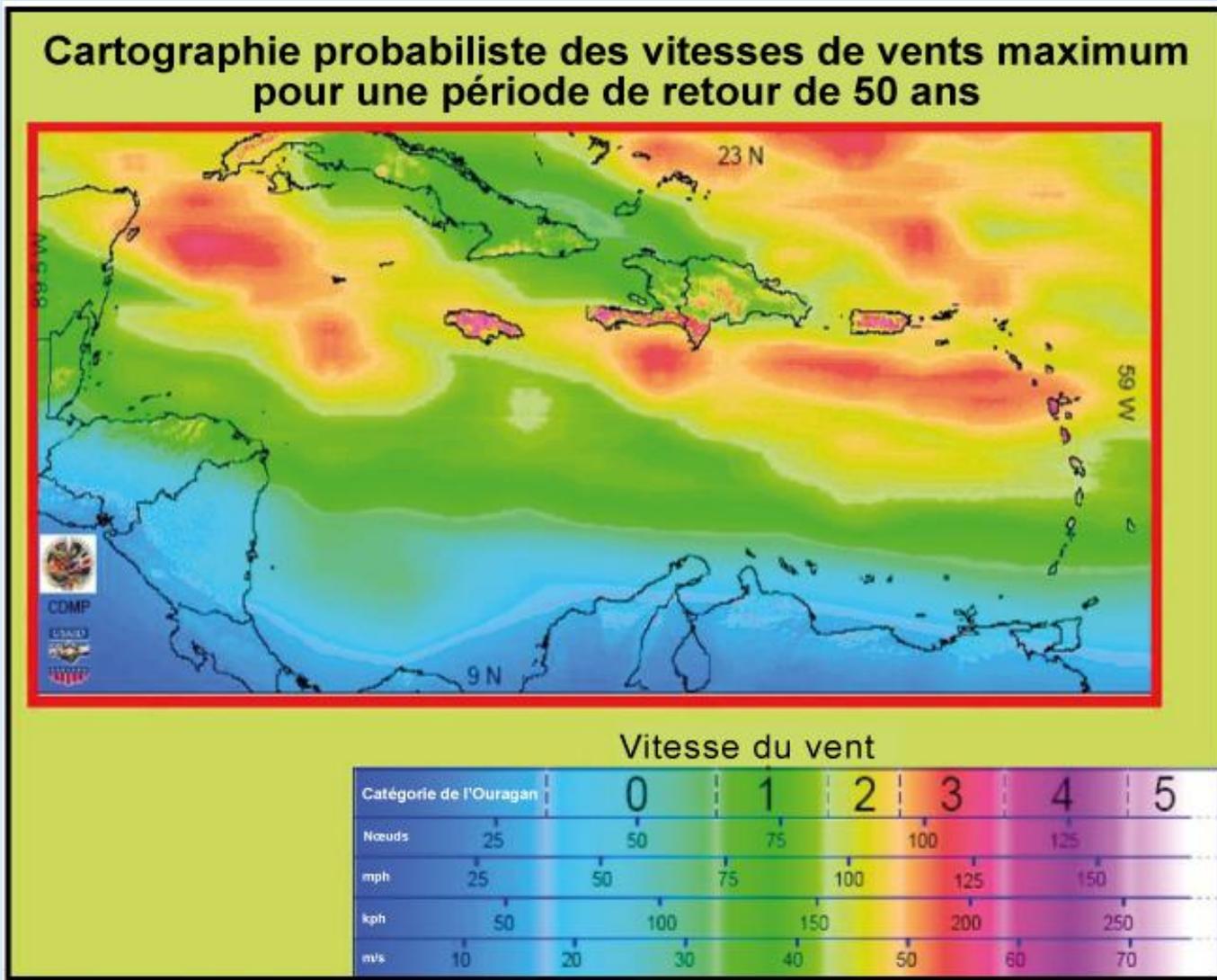
- **Dénomination**

Dans l'Atlantique nord, lorsque la vitesse des vents est:

- supérieure à 17 m/s : dépression tropicale;
- entre 18 et 32 m/s : tempête tropicale;
- supérieure à 32 m/s : ouragan.

## 1.2. Contexte cyclonique d'Haïti dans la Caraïbe (3)

- Aléa vent pour une période de 50 ans: Ensemble Caraïbe



## 1.2. Contexte cyclonique d'Haïti dans la Caraïbe (4)

- Echelle de Saffir/Simpson

CATEGORIE	VITESSE MOYENNE DU VENT SOUTENU SUR UNE MINUTE mph	VITESSE MOYENNE DU VENT SOUTENU SUR UNE MINUTE Conversion en m/s	DOMMAGES potentiels aux structures
1 (HC1)	74 - 95	33 - 42	Modérés
2 (HC2)	96 - 110	43 - 49	Importants
3 (HC3)	111 - 129	50 - 57	Etendus
4 (HC4)	130 – 156	58 - 69	Considérables
5 (HC5)	> 157	> 70	Majeurs

## 1.2. Contexte cyclonique d'Haïti dans la Caraïbe (5)

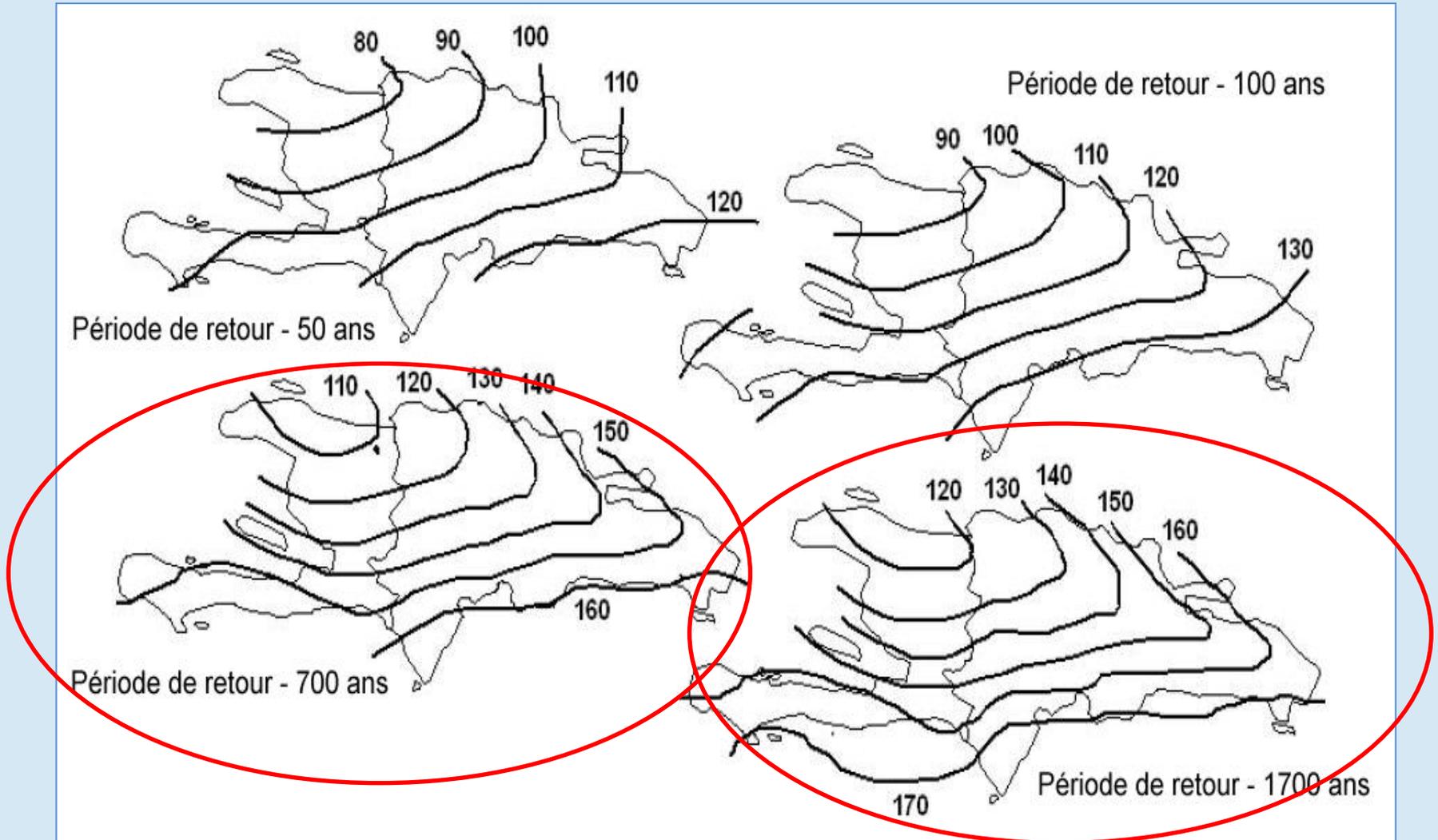
- Etudes de l'aléa de vent cyclonique:
  - Cartes produites pour le calcul avec ASCE 7, dans le cadre de la campagne «Hôpitaux à l'abri des catastrophes » (campagne mondiale pour la réduction des catastrophes)
- Calculs de dimensionnement avec des périodes de retour de :
  - 700 ans pour les bâtiments courants
  - 1 700 ans pour les hôpitaux de référence (Hôpitaux de troisième niveau)

## 1.2. Contexte cyclonique d'Haïti dans la Caraïbe (6)

- **Événements cycloniques historiques dans la Caraïbe**
  - Depuis 500 ans: nombre d'orages tropicaux estimé à plus de 4 000. Près de la moitié se sont transformés en ouragans.
  - Parmi les records d'intensités avérés (vents soutenus maximaux estimés localement à environ 300 km/h (classe 5)) :
    - CAMILLE (1969), ALLEN (1980), GILBERT (1988), MITCH (1998) et KATRINA, RITA et WILMA (2005) (Source Météo-France).
  - Le plus meurtrier serait celui d'octobre 1780. Ce cyclone avait dévasté la Barbade, puis Sainte-Lucie et la Martinique; on lui attribue près de 22 000 morts.

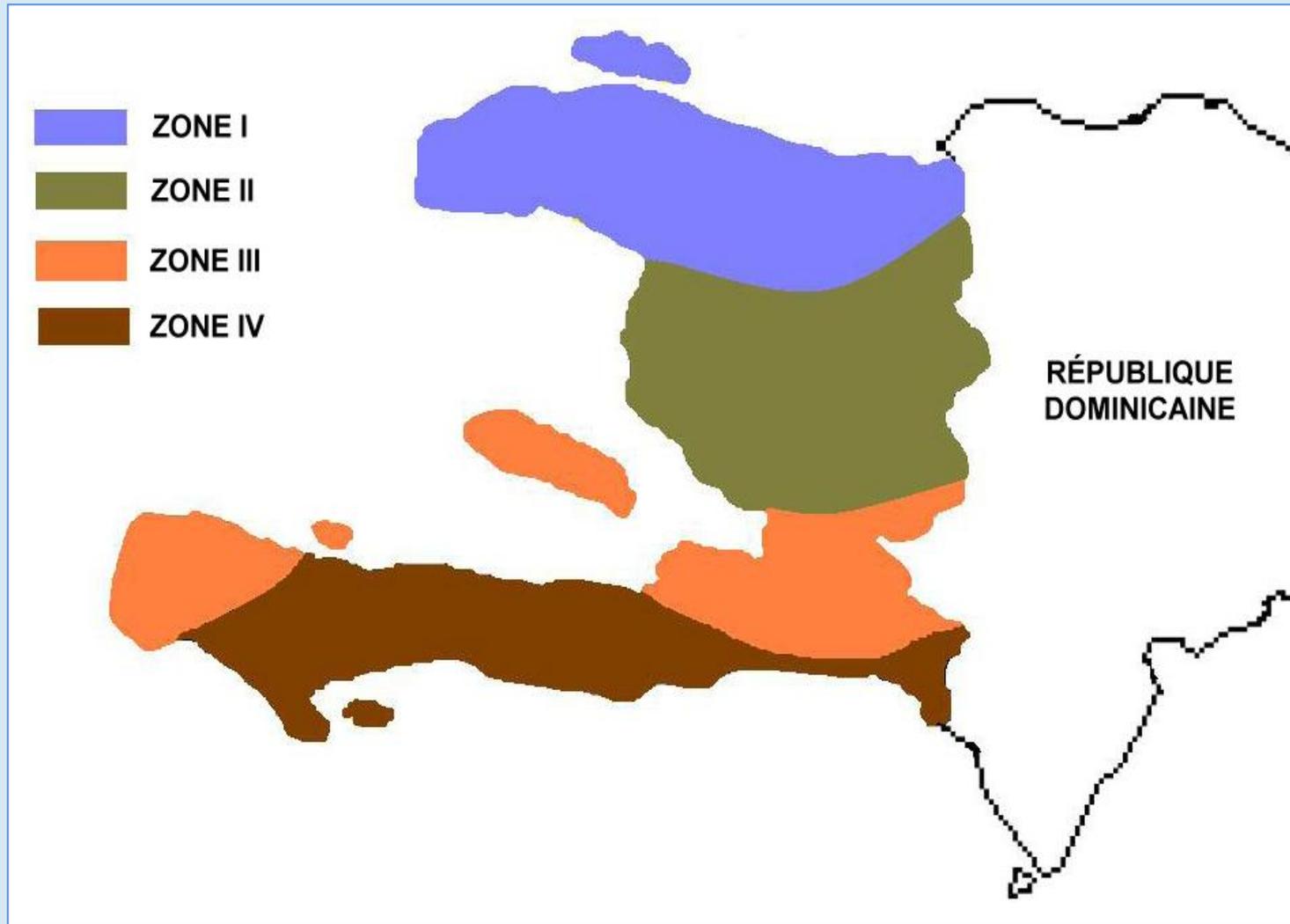
## 1.2. Contexte cyclonique d'Haïti dans la Caraïbe (7)

- Contexte national haïtien de l'aléa de vents cycloniques



## 1.2. Contexte cyclonique d'Haïti dans la Caraïbe (8)

- Contexte national haïtien de l'aléa de vents cycloniques



## 1.2. Contexte cyclonique d'Haïti dans la Caraïbe (9)

- Contexte national haïtien de l'aléa de vent cyclonique
- Pour les utilisateurs d'IBC & ASCE

### ASCE Editions 7-98 à 7-05, Chapitre 2 et 6 (Code américain)

Zone de vent	I	II	III	IV
Vitesse de référence du vent (mi/h)	100	110	120	130
Vitesse de référence du vent (m/s)	45	49	54	58

Note : Vitesses de référence associées à des rafales de vent de 3 secondes mesurées à une hauteur de 10 m en terrain plat non obstrué (exposition de Catégorie C de l'ASCE 7)

## 1.2. Contexte cyclonique d'Haïti dans la Caraïbe (10)

- **Contexte national haïtien de l'aléa de vent cyclonique**
- **Pour les utilisateurs d'EC1-1-4**

### **Eurocode EN 1991-1-4 et EN 1990 (Code européen)**

<b>Zone de vent</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>
<b>Vitesse fondamentale de référence du vent (m/s)</b>	<b>32</b>	<b>35</b>	<b>39</b>	<b>42</b>

**Note : Vitesses de référence associées à des vitesses fondamentales moyennes de vent mesurées sur une période de 10 minutes à une hauteur de 10 m en terrain plat non obstrué**

-2-

# EXIGENCES DE COMPORTEMENT DES BÂTIMENTS DE SANTÉ ET CADRE RÉGLEMENTAIRE POUR LEUR CONSTRUCTION EN HAÏTI



## 2.1. Exigences de comportement en situation courante

### **Pour les bâtiments**

- Situation de service:
  - signes de vieillissement mineurs seuls tolérés;
  - aucun dommage entraînant l'impropriété à leur usage courant.
- Le plus grand soin doit être apporté à la protection de la structure et des éléments secondaires, par des enduits, revêtements et peintures de qualité.
- Ces protections doivent faire l'objet d'un entretien régulier et de rénovations périodiques.

## 2.2. Exigences de comportement en situation sismique (1)

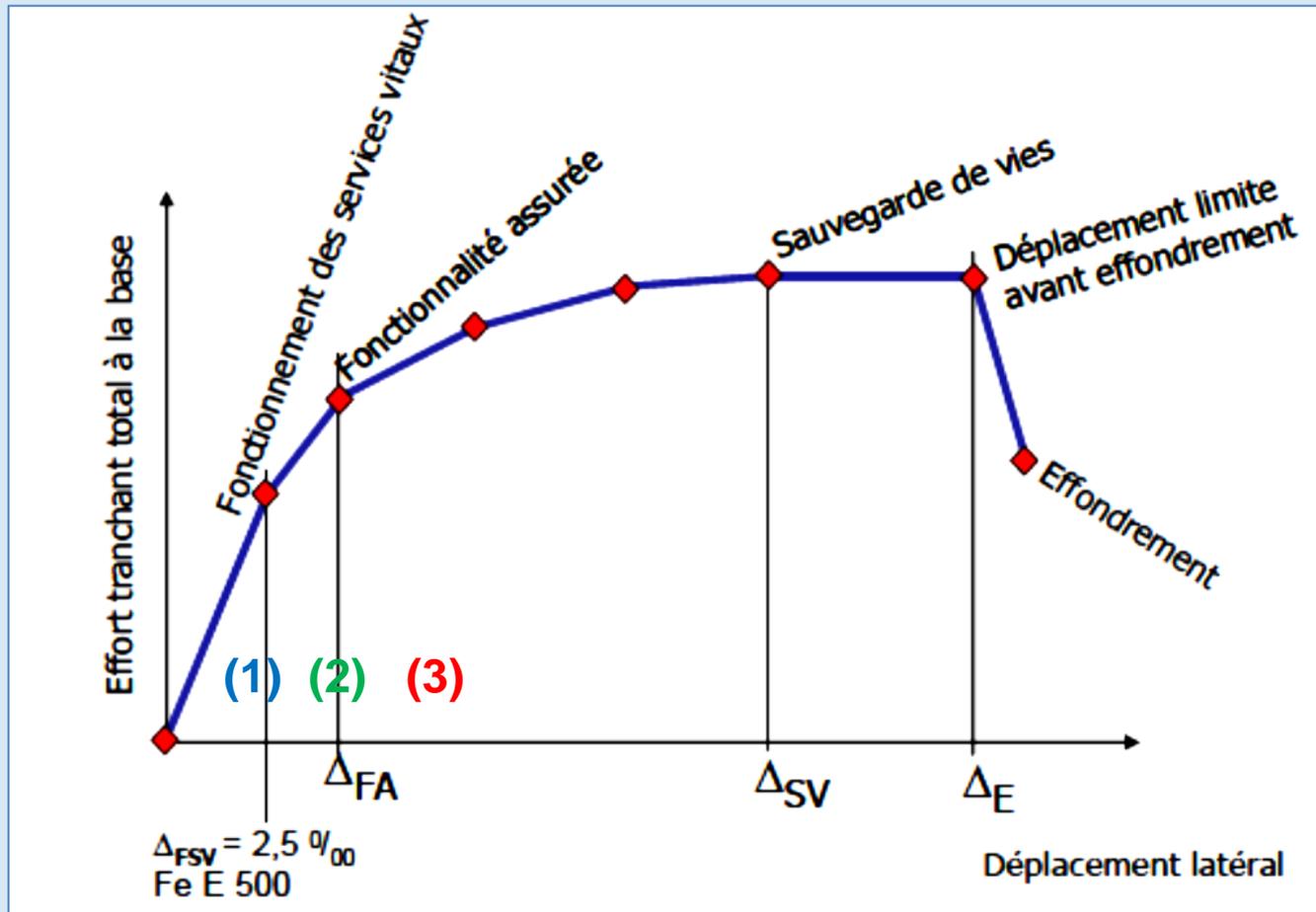
- **Niveaux de performance concernant la structure et son exploitation (1)**
  - Tous les bâtiments des établissements de santé hébergeant **au moins un local « sensible »** doivent être conçus et réalisés pour le niveau de performance supérieur. **(Préservation du fonctionnement des équipements en toutes circonstances prévisibles)**.
  - Bâtiments hébergeant **au moins un local « fonctionnel »** : niveau de performance élevé (**Limitation des dommages non structuraux** en toutes circonstances prévisibles).
  - Autres bâtiments, peu équipés : limitation des dommages structuraux.

## 2.2. Exigences de comportement en situation sismique (2)

- **Niveaux de performance concernant la structure et son exploitation (2)**
- **Locaux « sensibles »**
  - tous les locaux où sont réalisés les actes chirurgicaux ou médicaux lourds (blocs opératoires, salles de réveil, obstétrique, chimiothérapie, radiothérapie, dialyse, etc.);
  - les locaux où sont soignées les longues maladies (salles de soins et d'hébergement des patients);
  - les laboratoires et services de radiologie, les locaux à risque direct ou indirect élevés (stockage de gaz médicaux, d'énergie fossile, matières ionisantes, etc.), la pharmacie, etc.
- **Locaux à caractère fonctionnel**
  - sont nécessaires au bon fonctionnement de l'établissement (administration, cuisines, sanitaires, réserves diverses, etc.)
- Les « autres locaux » ne renferment aucun équipement sensible ou fonctionnel.

## 2.2. Exigences de comportement en situation sismique (3)

- Niveaux de performance concernant la structure et son exploitation (3)



## 2.2. Exigences de comportement en zone cyclonique

- Aucun dommage autre qu'esthétique pour l'ensemble des bâtiments de l'établissement :
  - Effets du vent de référence pour la zone (structures, façades, baies et toitures);
  - Projectiles.
- Etanchéité vent et eau :
  - Totale pour tous les locaux de soin et d'hébergement, pour les laboratoires, pharmacie, etc.
  - Tolérance d'eau « vaporisée » à l'intérieur entre les lames des persiennes: seulement dans les locaux non sensibles (ateliers, cuisines, etc.), et en situation cyclonique seulement.
- Evacuation rapide des eaux de pluie vers des collecteurs adaptés : terrasses, toitures, cours, patios et abords.

## 2.4. Normes et directives réglementaires

- Les exigences de performances du projet de Code National du Bâtiment d'Haïti (CNBH) sont celles d'IBC 2009.
- Le guide, notamment pour les équipements, retient aussi sur celles des agences de santé et des organisations d'ingénierie exerçant dans le contexte insulaire de la Caraïbe.
- N. B. : Les moyens proposés par d'autres normes aussi performantes sont acceptables, et doivent être soumis à l'approbation du MTPTC au moment du dépôt de permis de construire.

## 2.5. Cadre national pour la classification des établissements de santé en Haïti (1)

- Avant d'aborder un projet, qu'il s'agisse du petit dispensaire de proximité, ou d'un grand hôpital universitaire, il faut vérifier :
  - d'une part son positionnement dans le système national de performances sanitaires à trois niveaux d'enjeux;
  - d'autre part la « catégorie d'importance » de chacun de ses bâtiments dans la classification à quatre niveaux de fonctionnalité en situation de crise.
- Le projet prendra en compte les termes de référence les plus exigeants résultant de ces deux classifications.

## 2.5. Cadre national pour la classification des établissements de santé en Haïti (2)

- **Classification sanitaire nationale**
  - **Niveau 1** : institutions de proximité, de cabinets médicaux, et cabinets de soins
    - SSPE (service de santé du premier échelon) ;
    - HCR (hôpitaux communautaires de référence) où les patients sont susceptibles de dormir.
  - **Niveau 2** : hôpitaux départementaux qui délivrent des soins spécialisés.
  - **Niveau 3** : hôpitaux universitaires et spécialisés qui délivrent des soins de références nationales.

## 2.5.3 Catégories d'importance des constructions sanitaires au regard de la sécurité en situation de crise

Usage du bâtiment	Catégorie du risque
Bâtiments à faible occupation humaine, à faibles enjeux	I – Faible
Tous les bâtiments sauf ceux des trois autres catégories	II – Normal
<b>Les bâtiments susceptibles d'être utilisés comme refuge de protection civile</b> : écoles, centres communautaires Les installations contenant des produits toxiques, explosifs ou dangereux en quantité suffisante pour représenter un danger : entrepôts, usines de fabrication	<b>III – Elevé</b>
Les <b>bâtiments de protection civile où sont fournis les services essentiels en cas de catastrophe</b> : hôpitaux, centrales téléphoniques, centrales électriques et sous-stations de distribution, centres de contrôle pour tout type de transport public, stations de pompage, de traitement et de stockage d'eau, bâtiments qui remplissent des fonctions de défense nationale critiques, installations d'intervention en cas d'urgence (postes de pompiers, poste de police, poste de sauvetage et installations qui abritent leurs véhicules), installations de communication (stations de radio et de télévision)	<b>IV – Protection civile</b>

## 2.5. Cadre national pour la classification des établissements de santé en Haïti (4)

- **Catégories d'importance des constructions sanitaires au regard de la sécurité en situation de crise**
- La catégorie d'importance conditionne l'adoption de coefficients de sécurité plus ou moins élevés, notamment vis-à-vis du risque sismique (coefficient de comportement notamment).
- ***Les hôpitaux, les installations de soins d'urgence et les banques de sang* sont de la catégorie de risque la plus élevée, IV, dite de « Protection civile ».**
- Les dispensaires et autres centres de soins non intensifs s'avèrent être de catégorie III, dite élevée, leur réquisition en situation de crise pouvant être décidée.
- Cette catégorie III peut également être retenue au sein d'un hôpital pour des bâtiments annexes comme des logements de fonction, des salles de formation, etc.).

## 2.5. Cadre national pour la classification des établissements de santé en Haïti (5)

### Coefficients d'importance

- Le coefficient d'importance est un des paramètres du calcul sismique.
- A titre transitoire il est proposé d'utiliser les coefficients recommandés par les règles utilisées.
- Par exemple :
  - Pour IBC 2009 –ASCE 7-5 :
    - Catégorie III :  $I_E = 1.25$
    - Catégorie IV :  $I_E = 1.50$
  - Pour EC8 :
    - Catégorie III :  $\gamma = 1,2$
    - Catégorie IV :  $\gamma = 1,4$

## 2.5. Cadre national pour la classification des établissements de santé en Haïti (4)

- **Niveaux d'exigences**
- La définition des termes de référence de tout projet doit tenir compte des cadres suivants :
  - Le niveau dans la pyramide sanitaire (enjeu sociétal et sanitaire) ;
  - La catégorie d'importance (catégorie de risque) ;
  - La région d'implantation (aléas sismique et cyclonique plus ou moins élevés);
  - L'emplacement (bâtiment urbain, bâtiment rural, exposition à des problèmes particuliers) ;
  - La taille de l'établissement (complexité des opérations d'évacuation et capacité d'accueil).
  - Le principe constructif (matériaux, produits et technologie utilisés).

## 2.5. Cadre national pour la classification des établissements de santé en Haïti (5)

- **Restrictions sur les types de construction et de contreventement des bâtiments (1)**
- Le guide restreint volontairement les choix constructifs.
- Il s'agit de restrictions réalistes au regard du contexte technique et économique haïtien observé suite aux catastrophes de ce début de XXI<sup>ème</sup> siècle.

## 2.5. Cadre national pour la classification des établissements de santé en Haïti (6)

- Restrictions sur les types de construction et de contreventement des bâtiments (2)
- **AUTORISE : Structures en murs et dalles de béton armé et structures dites « mixtes » en béton armé**
- Tous les bâtiments respectant les règles de calcul et de mise en œuvre
- Dans le cas des structures mixtes : justifier par le calcul et les dispositions constructives que les murs de contreventement (nombre, résistance et positionnement) garantissent le niveau de performance requis en fonction de la catégorie d'importance.

## 2.5. Cadre national pour la classification des établissements de santé en Haïti (7)

- Restrictions sur les types de construction et de contreventement des bâtiments (3)
- **INTERDIT : Structures en portiques (poteaux-poutres) et planchers de béton armé**
- A priori prohibée pour la construction des établissements de santé en raison du niveau de maîtrise du projet et de la réalisation qu'elle requiert

## 2.5. Cadre national pour la classification des établissements de santé en Haïti (8)

- **Restrictions sur les types de construction et de contreventement des bâtiments (4)**
- **LIMITE: Structures en maçonnerie chaînée**
- Seulement:
  - bâtiments de catégorie d'importance inférieure à IV
  - de surface unitaire inférieure à 150 m<sup>2</sup>
  - construits sur un seul niveau (plain-pied)
  - conception, dimensionnement et réalisation conforme aux exigences d'un code ou d'un guide forfaitaire admis par le MTPTC
- Ces limitations tiennent compte de la difficulté à se procurer, actuellement en Haïti, des matériaux normalisés.

## 2.5. Cadre national pour la classification des établissements de santé en Haïti (9)

- Restrictions sur les types de construction et de contreventement des bâtiments (5)
- LIMITE: Ossature et charpente métallique
- Seulement:
  - En toiture seule (sur des murs en béton armé ou en maçonnerie chaînée) : tous les bâtiments respectant les règles parasismique et paracycloniques
  - En système porteur et de contreventement : à justifier particulièrement (vent, corrosion, incendie)

## 2.5. Cadre national pour la classification des établissements de santé en Haïti (10)

- **Restrictions sur les types de construction et de contreventement des bâtiments (6)**
- **LIMITE: Ossature et charpente en bois**
  - En toiture seule (sur murs en béton armé ou en maçonnerie chaînée) : tous les bâtiments respectant les règles parasismique et paracycloniques
  - En système porteur et de contreventement : seulement
    - petits bâtiments de catégorie d'importance inférieure à IV
    - de surface unitaire inférieure à 50 m<sup>2</sup>
    - construits sur un seul niveau (plain-pied)
    - ancrés dans un soubassement en béton armé
    - et dont la conception, le dimensionnement et la réalisation respectent scrupuleusement les exigences d'un code ou d'un guide forfaitaire admis par le MTPTC.

## 2.5. Cadre national pour la classification des établissements de santé en Haïti (11)

- Restrictions sur les types de construction et de contreventement des bâtiments (6)
- LIMITE : Construction sur isolation parasismique à la base
- sous réserve :
  - d'une maîtrise d'œuvre et d'un contrôle technique du projet et du chantier justifiant d'une expérience antérieure dans le domaine
  - d'un contrôle formel de la réalisation du chantier « pas à pas » jusqu'au premier plancher au dessus des isolateurs (contrôle strict des ferrailages, vérification de tous matériaux et matériels, des ancrages des isolateurs et des amortisseurs, précision des niveaux et de la mise en œuvre)

## 2.7. Polyvalence en prévision des afflux de victimes et de soignants

- La médecine de catastrophes obéît à des règles de tri des blessés et malades et d'orientation vers les unités de soins appropriées.
- **Nécessité : capacité d'adaptation de l'établissement à cet afflux**
  - polyvalence de certains espaces intérieurs (réaffectation momentanée de locaux à moindres enjeux)
  - polyvalence des espaces extérieurs dans l'enceinte de l'établissement (installation de tentes et bungalows)
  - plan des circulations (véhicules, piétons) réservant des surfaces planes et bien drainées, pour l'implantation de tentes médicalisées
  - possibilité, près de l'accès principal, d'un lieu d'accueil et de triage des victimes

-3-

# EXIGENCES COMPLÉMENTAIRES LIÉES AUX CONDITIONS LOCALES



## 3.1 Notion d'aléas locaux (1)

- Cyclones : vents violents et pluies abondantes
  - le ruissellement peut entraîner les sols instables gorgés d'eau
  - les rivières débordent
  - le vent et la dépression génèrent la submersion des zones littorales basse altitude
- Séismes : secousses
  - la topographie ou la géologie peuvent provoquer l'amplification locale du phénomène
  - les sols de mauvaise qualité peuvent tasser ou glisser sur les pentes
  - le déplacement sur la faille peut se voir... et traverser des bâtiments, ou causer un tsunami s'il est en mer...

## 3.1 Notion d'aléas locaux (2)

- **Sites interdits :**

- menaces locales qui n'ont pas de parade (pentes instables, zones inondables, etc.)

- **Sites à aménager :**

- travaux appropriés (traitements des sols pouvant tasser, fondations spéciales, etc.) au coût parfois dissuasif.
- adaptation du projet (dimensions, type de construction) qui peut être acceptable au regard des qualités du site

## 3.2 Éléments de l'aléa sismique local

- **3.2.1 Généralités**
- Vérification impérative sur site :
  - **Les effets directs** : Déformations du sol (rejet de la faille en surface, subsidence et surrection)
  - **Les effets de site** : Amplification locale du mouvement sismique de référence (géologie ou topographie )
  - **Les effets induits** : Conséquences indirectes, sur des sites « sensibles » (glissements de terrain, chutes de blocs, liquéfaction des sols, effondrements de cavités, tsunamis et effets anthropiques)
- La cartographie des zones urbaines est en cours

## 3.2.2 Effets directs des séismes (1)

- **Rejet de faille en surface**

Ce phénomène, (Izmit, Turquie, 1999) pourrait survenir sur la faille d'Enriquillo.

**Une distance minimum de 1 km aux tracés supposés des failles doit être retenue en attente de cartes précises**



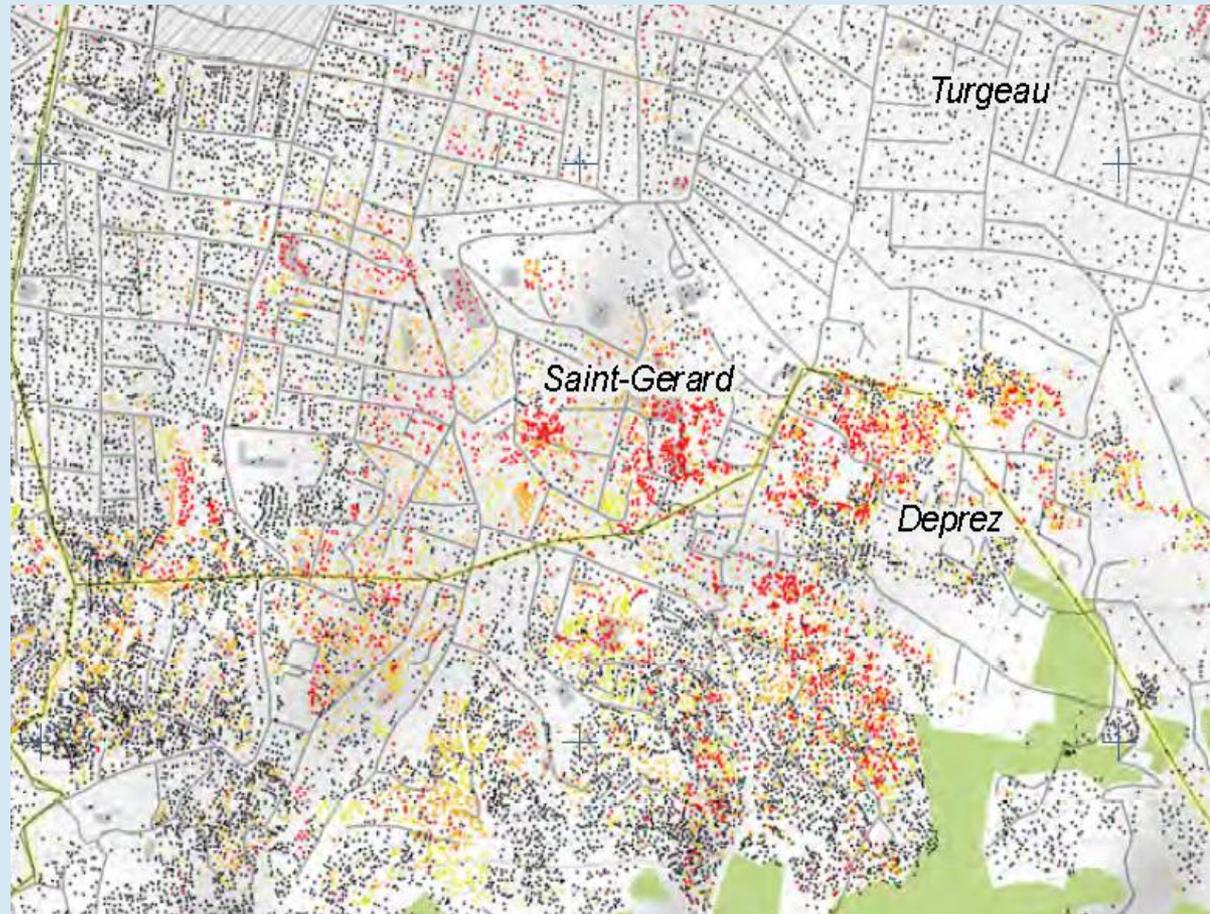
## 3.2.2 Effets directs des séismes (2)

- **Subsidence et surrection**
- Ici à Léogane (2010) : abaissement de l'altitude problématique près de la mer
- **Pas de construction de catégorie d'importance IV à moins de 15 m d'altitude**
- **Pas de construction de catégorie d'importance III à moins de 10 m d'altitude**



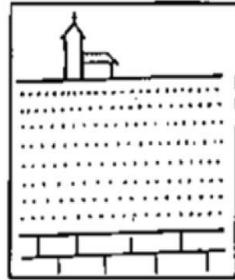
### 3.2.3 Effets de site (1)

- La distribution géographique irrégulière des dégâts s'explique souvent par *un effet de site*: une modification des vibrations du sol (topographique ou géologiques)
- Exemple  
Port-au-Prince  
2010

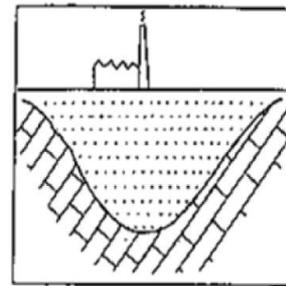


### 3.2.3 Effets de site (2)

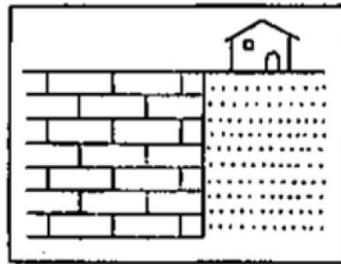
- Schémas de configurations propices aux effets de sites



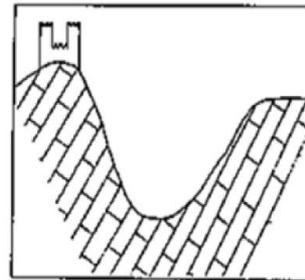
*Formations peu rigides surmontant un substratum rigide, géométrie quasi horizontale.*



*Formations peu rigides surmontant un substratum rigide, géométrie complexe aggravant le phénomène.*



*Discontinuité latérale entre formations de rigidité différente.*



*Reliefs topographiques: buttes isolées, crêtes allongées, rebords de falaises ou de plateaux...*

- Les codes de construction parasismique déterminent les conditions où un coefficient d'amplification doit être retenu, et sa valeur.**

### 3.2.3 Effets de site (3)

- **Effets de site géologiques**
- Réflexion de ces ondes sur les interfaces des couches géologiques, provoquant alors l'amplification et la prolongation des secousses sismiques à la surface.
- En cas de sols meubles et épais : forte amplification.
- L'amplification est sélective d'une gamme de fréquences propre au site.
- **12 janvier 2012 : exemples en ville à Port-au-Prince, dans la plaine de Carrefour, etc.**



- Mexico 1985: Résonance sur effet de site de période 2 secondes (Fréquence 0,5 Hz)

### 3.2.3 Effets de site (4)

- Effets de site topographiques
- Zones de rupture de pente surplombant des hauteurs significatives
- 12 janvier 2010: on l'a observé sur les nombreux mornes qui surplombent la basse ville de Port-au-Prince

5.24

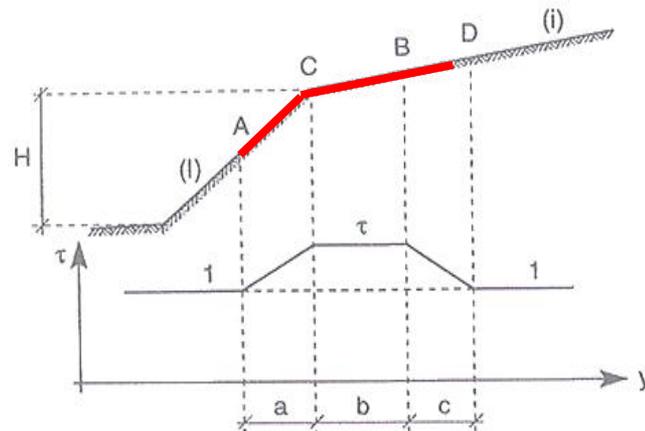


Figure 5.24

*La détermination de H laisse une certaine part à l'appréciation. À titre indicatif, on peut considérer comme base du relief le point en dessous duquel la pente générale du site redevient inférieure à 0,4. Pour la stabilité des pentes cf. § 9.2.*



- Amplification topographique à Turgeau: plus de dommages près du bord du plateau

### 3.2.4 Effets induits par les secousses sismiques ()

- **Liquéfaction des sols**
- Perte de portance et tassement de sols fins (argiles, limons, sables) saturés d'eau.
- **Les codes de construction parasismique précisent les critères à faire vérifier par un bureau d'études de sol.**



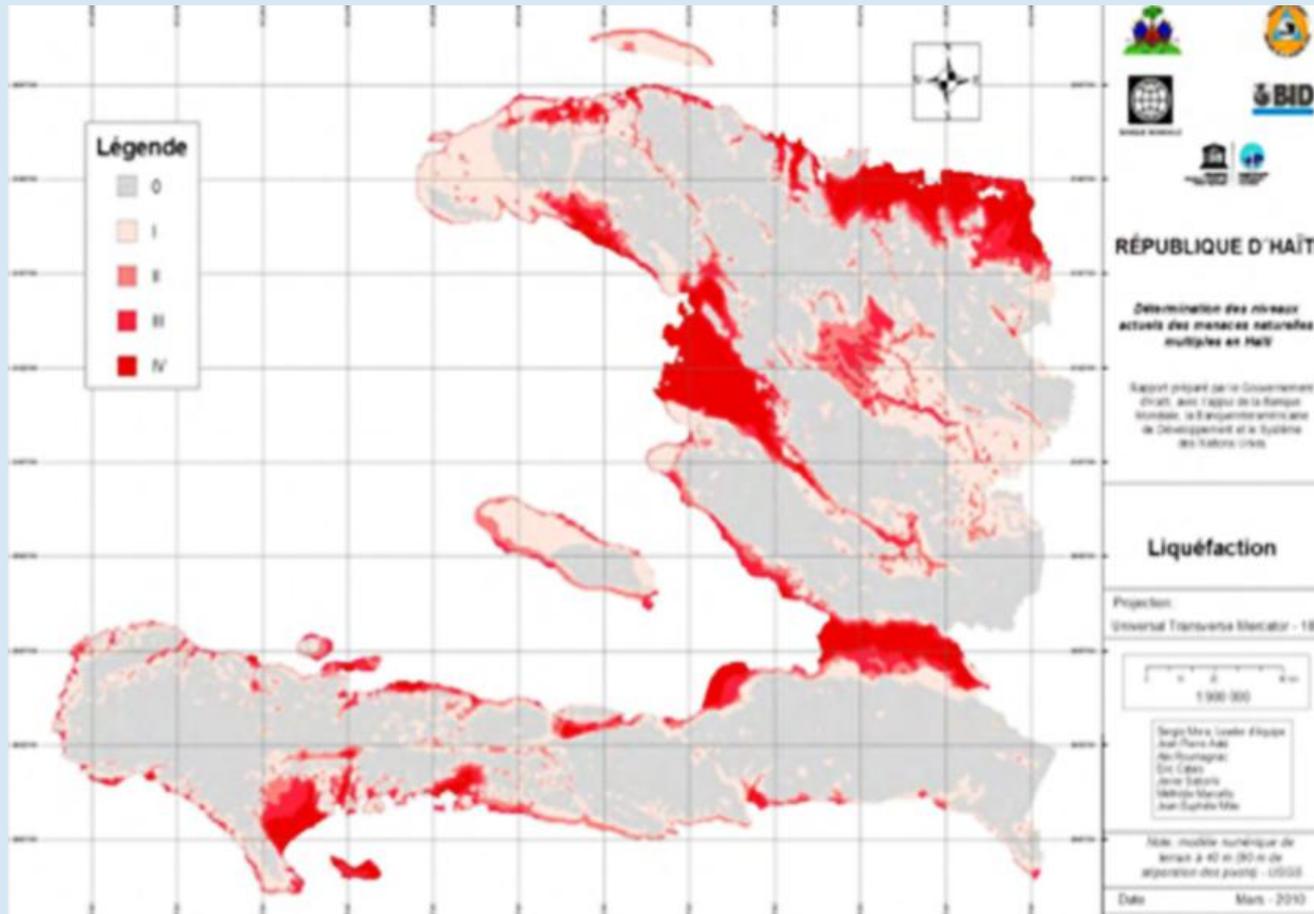
- Mexico 1985: enfouissement vertical de plus d'un mètre



- A Port-au-Prince (2010) déplacement latéral du sol sur une couche liquéfiée

## 3.2.4 Effets induits par les secousses sismiques (2)

- Liquéfaction: Carte préliminaire des plaines et zones littorales à vérifier



### 3.2.4 Effets induits par les secousses sismiques (3)

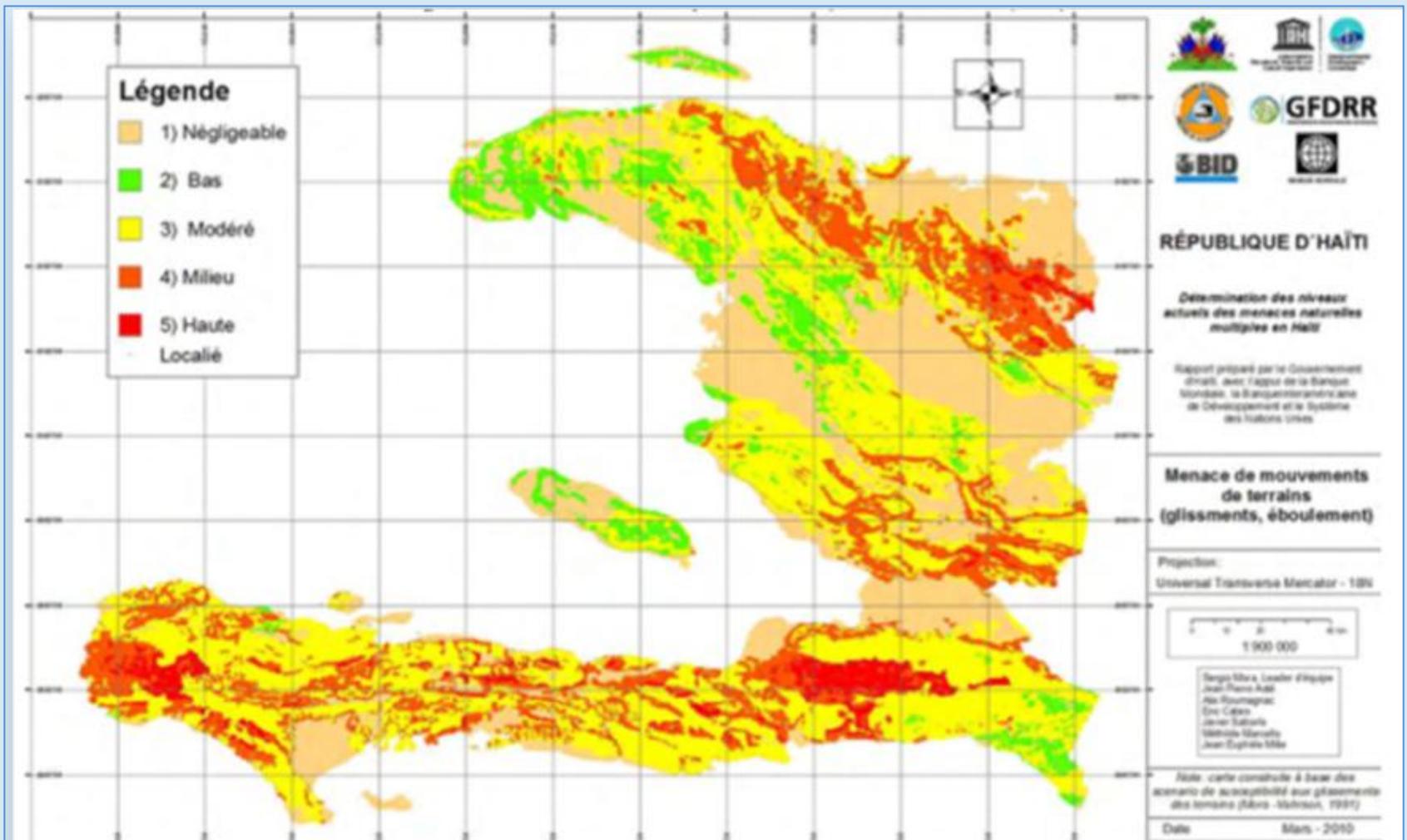
- **Tsunamis**
- Le choc de la rupture de faille, ou un glissement de terrain sous-marin provoque des vagues très énergétiques qui remontent sur les plaines à basse altitude
- En attendant une cartographie précise des zones exposées en Haïti:
  - **Pas de construction de catégorie d'importance IV à moins de 15 m d'altitude**
  - **Pas de construction de catégorie d'importance III à moins de 10 m d'altitude**

### 3.2.4 Effets induits par les secousses sismiques (4)

- **Glissements de terrain, éboulements, tassements de sol, ruptures de cavités**
  - Etude géotechnique obligatoire
  - **Toute construction exposée à une pente instable prohibée**
  - **Traitement des sols susceptibles de tasser obligatoire (ou fondations spéciales)**
  - **Remplissage des cavités obligatoire**



- Route de Canapé Vert (2010)



- Carte préliminaire des zones à vérifier (rouge et jaune)



- Effondrement de cavité calcaire à Barbade en 2007

### 3.2.4 Effets induits par les secousses sismiques (5)

- **Effets anthropiques (origine humaine)**
- Incendies, explosions, pollutions liés aux activités domestiques et surtout industrielles.
- Aggravation des sites fragiles (déforestation des pentes, exploitation de carrières, etc.)
- **Les conditions de site doivent être vérifiées.**
- **Des distances minimum doivent être respectées selon la nature du danger.**



- Vaste incendie urbain post-sismique (Kobe, Japon, 1995)

## 3.3 Éléments des aléas climatiques

- **3.3.1 Généralités**
- L'établissement de santé est exposé :
  - Au vent qui peut être amplifié sur le site
  - Aux projectiles
  - Aux pluies violentes (inondation, glissements de terrain, etc.)
  - Marée et houle de tempête
- **Les vérifications doivent être faites**

## 3.2.2 Effets dus au vent (1)

- **Effets de site**
- Le vent de référence est donné par le zonage national
- Trois conditions de sites :
  - **Site protégé** (atténuation du vent de référence).  
Exemple : fond de cuvette bordé de collines et protégé ainsi pour toutes les directions du vent ;
  - **Site normal** (faible influence sur la vitesse du vent de référence).  
Exemple : plaine ou plateau de grande étendue aux dénivellations peu importantes, de pente inférieure à 10 % (vallonnements, ondulations) ;
  - **Site exposé** (amplification du vent de référence).  
Exemples : zones littorales en général, sommet des falaises, îles ou presqu'îles étroites et, à l'intérieur du pays, crêtes des collines et montagnes, et à l'opposé, vallées étroites où le vent s'engouffre.
- **Dans les règles la vitesse de base (vent de référence) est pondérée en fonction du contexte**

## 3.2.2 Effets dus au vent (2)

- **Projectiles**
- objets et débris se transforment en projectiles pouvant endommager les constructions.
  - **les vitrages doivent être protégés (vitrages et châssis renforcés, grilles à mailles fines, volets, etc.).**
  - **Les bâtiments de la catégorie d'importance IV doivent impérativement être munis de volets de protection efficaces.**
  - Les arbres plantés à proximité immédiate d'un bâtiment constituent également un risque (déracinement branches cassées, etc.). Ils doivent être élagués pour réduire leur prise au vent.

### 3.3.3 Effets dus aux pluies

- **Zones inondables:**
  - **construction d'établissements de santé interdite en zone inondable, même avec une faible probabilité**
  - vérifier aussi les routes d'accès (au moins un itinéraire protégé)
- Vérifier les cartes préliminaires produites par les autorités.
- Attention aux sites exposés aux coulées de boues en cas de déboisement des pentes voisines.

### 3.3.4 Effets dus à la marée de tempête et à l'état de la mer

- Houle cyclonique (vagues dues au vent)
- Marée cyclonique (surcote effet induit par la dépression)
- **Pas de construction de catégorie d'importance IV à moins de 15 m d'altitude**
- **Pas de construction de catégorie d'importance III à moins de 10 m d'altitude**



- Houle cyclonique à La Havane (Cuba 2005)

### 3.3.5 Sècheresse prolongée

- Les conséquences d'une sècheresse prolongée concernent
  - les sols de faible densité, sensibles à la présence d'eau (notamment certaines argiles), qui peuvent présenter un retrait qui déforme les fondations et endommage les bâtiments.
- **Les études géotechniques doivent se prononcer sur les précautions à prendre.**

## 3.4 Principes devant guider le choix d'un terrain (1)

- **Sites à éviter absolument**

- **La proximité immédiate de la faille d'Enriquillo** (un kilomètre minimum)
- **Les pentes et bas de pentes dont la stabilité n'est pas avérée** (distance à estimer par études)
- **La proximité de bords de falaises ou les bas de falaises** (fracturations et éboulis)
- **Les littoraux à basse altitude** (10 ou 15 m minimum)
- **Les lits majeurs des rivières** (zones de crues, de coulées de boues, etc.)
- **La proximité d'établissements et installations présentant des risques technologiques** (distance à estimer par études)
- **La desserte du site par une voirie trop exposée à une perte de fonctionnalité** (voie étroite, inondable, éboulements, aléas technologiques, etc.). Le site doit impérativement avoir plusieurs accès.
- **Une alimentation par des réseaux publics vulnérables** (eau, assainissement, électricité, etc.) impliquant une autonomie de sécurité difficile à atteindre techniquement ou quantitativement (durée / besoins).

## 3.4 Principes devant guider le choix d'un terrain (2)

- **Sites possibles, mais pouvant générer des surcoûts à intégrer dans le budget**
  - **Certaines zones à faible probabilité et faible impact d'inondations** (inondations rares, faible montée lente des eaux). Par exemple : un terrain en pente présentant un accès haut, dont le niveau bas des bâtiments est affecté à des usages non vitaux pouvant être facilement évacués en cas de menace
  - **Les zones à effets de sites topographique et géologique** ne présentent parfois que l'inconvénient de surcoûts de structure ;
  - **Les zones liquéfiables** peuvent avoir pour seul inconvénient les surcoûts de traitements de sol ou de fondations ;
  - **Les faibles pentes instables** qui peuvent être protégées efficacement par des murs de soutènement.
  - Etc.

## 3.5 Maîtrise de l'impact des établissements de santé sur l'environnement

- Les établissements de santé, ne doivent pas présenter un risque pour leur environnement.
  - Les termes de référence des projets doivent préciser les exigences strictes pour la **collecte, la décontamination et l'élimination du matériel souillé potentiellement contaminant**, ainsi que pour les médicaments non utilisés et les eaux usées.
  - Même en cas d'afflux temporaire de patients, ou d'installation de tentes de soins d'urgence à l'extérieur, en situation de crise, par exemple.
  - Impératif, avant d'entreprendre un projet d'établissement de santé, de **se rapprocher du MSPP pour se procurer les règles en vigueur** pour ce type d'établissement au moment du projet.

## 3.6 Etudes de sol préliminaires à la construction de tout projet d'établissement de santé (1)

- **Généralités**
- Les études géotechniques pour les sites non sismiques doivent être complétées en situations sismiques pour :
  - Détecter les formations *a priori* susceptibles de liquéfier ;
  - Détecter les zones susceptibles de tasser ;
  - Détecter les zones faillées susceptibles de se désarticuler et les cavités ;
  - Définir le classement du site pour le choix du spectre de réponse par identification des types de sols et de leurs épaisseurs ;
  - Retenir le cas échéant, un coefficient topographique.

## 3.6 Etudes de sol préliminaires à la construction de tout projet d'établissement de santé (2)

- **Niveaux d'investigation en fonction de l'avancement du projet (1)**
- **Etudes de faisabilité et d'avant-projet**
  - Objectif:
    - anticiper le coût de fondations spéciales;
    - prévoir avec réalisme les sujétions pour éviter le surcoûts inacceptables;
    - éventuellement remise en question de l'avant-projet.
  - Nature:
    - études de documents existants (sondages sur d'éventuels chantiers voisins) ;
    - étude de cartes et documents spécialisés (BME) ;
    - sondages complémentaires.
- **Etudes de projet**
  - Une fois que l'implantation des ou du bâtiment est choisie, une étude plus fine doit permettre la conception du bâtiment en intégrant toutes les données géotechniques
    - Choix de structure et fondation
    - sujétions de terrassement et de soutènement éventuel

## 3.6 Etudes de sol préliminaires à la construction de tout projet d'établissement de santé (3)

- **Niveaux d'investigation en fonction de l'avancement du projet (2)**
- **Etudes de réalisation**
  - Généralement pas nécessaires pour les petits projets (faibles surface et hauteur)
  - Impératives pour les chantiers importants (charges importantes au sol)
- **Au moment du projet et du dossier de consultation des entreprises**
  - Définir parfaitement les caractéristiques de toutes les couches de sol concernées avant d'arrêter le mode de fondations, les techniques de travaux et les traitements éventuels.
- **Au moment de l'exécution des travaux**
  - Des reconnaissances complémentaires éventuelles doivent confirmer les hypothèses des études préalables :
    - Des reconnaissances approfondies si des doutes subsistent sur les couches sous-jacentes surtout en cas de contraintes élevées ;
    - Des sondages destructifs systématiques sous appuis isolés sur sol rocheux.

## 3.6 Etudes de sol préliminaires à la construction de tout projet d'établissement de santé (3)

- **Moyens de reconnaissance (1)**
- Le choix est fonction de l'ouvrage projeté des conditions géologiques et géotechniques, du voisinage (ouvrages voisins à protéger), et du degré d'avancement du projet :
  - Les **essais in situ** permettent de déterminer les caractéristiques des sols en place (cohésion, cisaillement, indices de vides, résistivité, etc.) ;
  - Des prélèvements d'échantillons sont réalisés pour des **essais en laboratoire** dont la plasticité des argiles, l'aptitude à liquéfaction, etc.;
  - Les **essais dynamiques** permettent d'identifier :
    - Les modules d'élasticité et de cisaillement dynamique ;
    - Les taux d'amortissement critique ;
    - Les pressions interstitielles ;
  - Une **mesure in situ de la vitesse de propagation des ondes de volume** à partir de forages (crosshole, downhole, uphole).

## 3.6 Etudes de sol préliminaires à la construction de tout projet d'établissement de santé (3)

- **Moyens de reconnaissance (2)**
- Chaque type d'essai a son propre domaine d'application et n'a de valeur que s'il est correctement exécuté et interprété.
  - Reconnaissances superficielles par **sondages manuels ou à la pelle mécanique** : permettent de visualiser le sol de fondations superficielles ;
  - **Carottages avec prise d'échantillons** : pour des reconnaissances plus profondes ;
  - Sondages destructifs avec enregistrements des paramètres (avec sondage carotté de corrélation) ;
  - **Pressiomètre** : Résultats fiables à la fois pour la compacité du sol et pour le coefficient de frottement. Intéressant pour déterminer les fondations profondes ;
  - **SPT (Standard Penetration Test)**, pénétromètre dynamique ou carottier. Dans les nappes d'eau les résultats peuvent être faussés par la résistance de l'eau. Ce sondage permet le prélèvement de carotte simultanée. Le refus peut être occasionné par une roche et ne signifie pas qu'on est au rocher ;
  - **Pénétrromètre statique** : plus fiable en cas de nappe d'eau en raison de l'adaptation progressive, mais également problème de refus non identifiable sur roche ;
  - **Prospection électrique** : intéressant pour détecter les couches de faible résistance dissimulées par une couche plus superficielle raide (Variations de résistivité);
  - **Sismique réfraction**, Etc.

- 4 -

# Éléments pour la démarche de conception et de calcul



## 4.1 Intégration des exigences sécuritaires aux différentes phases de réalisation d'un établissement de santé (1)

- **Choix du terrain, études de sol préliminaires**
- Il faut s'assurer que ce terrain ne présente pas de risques
  - qui le rendraient impropre à sa destination
  - qui génèreraient des surcoûts qui grèveraient le budget
- Les résultats des études de sol qui serviront d'hypothèses à la maîtrise d'œuvre engagent la **responsabilité du bureau d'études de sol** qui les a réalisées.
- **La non-prise en compte par la maîtrise d'œuvre d'un danger ou d'un élément de calcul figurant dans le rapport de sol engage sa responsabilité.**

## 4.1 Intégration des exigences sécuritaires aux différentes phases de réalisation d'un établissement de santé (2)

- **Rédaction du programme de construction**
- Le programme de construction doit décrire notamment :
  - L'objectif du projet de construction ;
  - Les données du site, topographie, études du sol, prise en compte des aléas climatiques et géophysiques, des voies et réseaux existants ;
  - Les besoins quantifiés de surface, volumes, liaisons fonctionnels, du coût et du délai ;
  - Les contraintes des réglementations techniques, urbanistiques ou autres ;
  - Les exigences techniques ou financières telles que les dates, les prix et le niveau de qualité ;
  - Le cahier des charges environnementales et les niveaux de performance attendus d'une construction durable;
  - Il doit présenter honnêtement la situation et toutes les difficultés à prendre en compte.
- **Un programme qui passerait sous silence un danger potentiel engage la responsabilité du programmiste et du maître d'ouvrage.**

## 4.1 Intégration des exigences sécuritaires aux différentes phases de réalisation d'un établissement de santé (3)

- **Choix des intervenants**
- Qu'il soit fait après mise en concurrence, sur concours ou de gré à gré, les compétences techniques des équipes doivent être vérifiées, profession par profession (maîtrise d'œuvre, contrôle technique, entrepreneurs).
- Le maître d'ouvrage qui retiendrait une équipe de maîtrise d'œuvre ou de contrôle technique incompétente au regard des difficultés du projet engage sa responsabilité.

## 4.1 Intégration des exigences sécuritaires aux différentes phases de réalisation d'un établissement de santé (4)

- **L'esquisse** réalisée par l'architecte définit :
  - le mode d'implantation du projet sur le terrain;
  - l'organisation générale des espaces bâtis et extérieurs.
- A ce stade, on peut vérifier
  - la faisabilité du programme
  - la compatibilité de l'enveloppe financière avec la concrétisation des attentes et des obligations
  - la prise en compte de l'ensemble des règles d'urbanisme et de sécurité
- **L'Avant-projet**, étape suivante, propose :
  - des plans assez précis pour vérifier le respect du programme, des différentes réglementations et du budget initial.
- A ce stade, les hypothèses de fondation, de descentes de charges, de contreventement et autres exigences techniques doivent pouvoir être cernées.

## 4.1 Intégration des exigences sécuritaires aux différentes phases de réalisation d'un établissement de santé (5)

- **Demande de permis de construire**
- Le dossier qui comprend l'avant-projet et les pièces administratives doit permettre aux administrations consultées de **vérifier la légalité du projet : règles d'urbanisme, normes de sécurité générales.**

## 4.1 Intégration des exigences sécuritaires aux différentes phases de réalisation d'un établissement de santé (6)

- **Finalisation du projet et dossier de consultation des entrepreneurs**
  - cahier descriptif tous corps d'état
  - ensemble des documents graphiques d'exécution à l'échelle 1/50
- Ce « **Cahier des Clauses Techniques Particulières** » décrit avec précision les côtes, l'ensemble des produits à mettre en œuvre, les performances attendues, les modes d'assemblage, etc.
- **Tout manquement aux exigences de sécurité dans la préparation de ce descriptif engage la maîtrise d'œuvre, et le contrôleur technique (ou toute personne engagée pour veiller à la conformité du projet) qui les accepterait.**
- **Toute faute d'une entreprise chargée de la réalisation, au regard des exigences qui y sont formulées, engage sa responsabilité**

## 4.1 Intégration des exigences sécuritaires aux différentes phases de réalisation d'un établissement de santé (7)

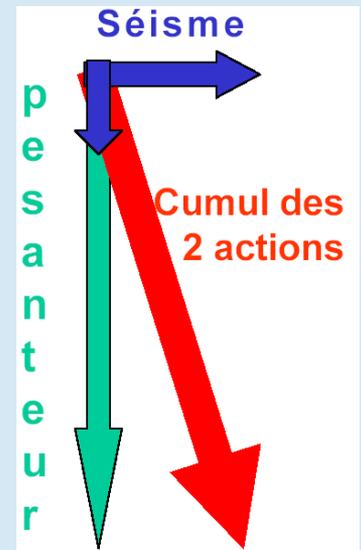
- **Marchés et travaux de construction**
- L'architecte apporte au maître d'ouvrage une analyse comparative des éléments des offres des entreprises.
  - références
  - expérience
  - montant financier
- Durant la période de préparation des travaux, les dernières précisions et adaptations éventuelles sont apportées.
  - coordination de l'intervention des entreprises sur le chantier
  - exigences financières liées à l'agenda
  - sécurité finale des ouvrages
- **Le contrôle indépendant des travaux est nécessaire pour prévenir la fraude sur la qualité des prestations.**

## 4.1 Intégration des exigences sécuritaires aux différentes phases de réalisation d'un établissement de santé (8)

- **Réception des travaux**
- La rédaction des procès-verbaux de réception des travaux constate les éventuelles non-conformités.
  - **Seules des non-conformités d'ordre esthétique sont acceptables. Celles qui engagent la sécurité ont normalement été détectées et corrigées au fil de l'avancement des travaux. S'il en subsistait, la réception ne pourrait être prononcée. Dans ce cas, les missions des protagonistes concernées ne seront achevées qu'une fois levées les réserves en cause.**
- **Maintenance**
- L'architecte prépare le dossier des ouvrages exécutés avec les plans d'exécution, les certificats et les guides d'emploi des installations techniques.
- L'exploitant doit alors passer des contrats d'entretien et de maintenance.

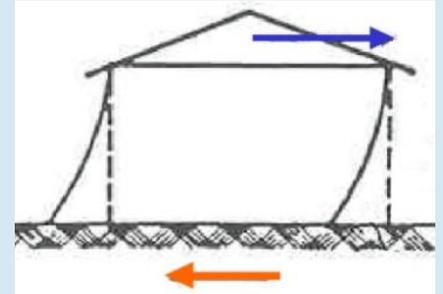
## 4.2 Actions sismiques et cycloniques sur les bâtiments et stratégies de résistance

- **Généralités sur les actions sismiques et cycloniques**
- **Séisme :**
  - Les accélérations verticales du mouvement sismique (vers le bas et vers le haut) s'ajoutent et se soustraient à la pesanteur.
  - Les accélérations horizontales se combinent avec les accélérations verticales. Ces accélérations, agissent sur les masses du bâtiment.
- **Cyclone :**
  - Le vent cyclonique exerce des poussées également globalement horizontales, mais pouvant être réorientées par la topographie et les turbulences.
  - Cette action est une pression liée à la vitesse du vent et à la surface exposée. Elle se combine également à la pesanteur.



## 4.2.2 Action sismique sur les bâtiments

- Forces d'inertie = Masse(s) de la structure x Accélération(s)
- $F_i = m \times a$

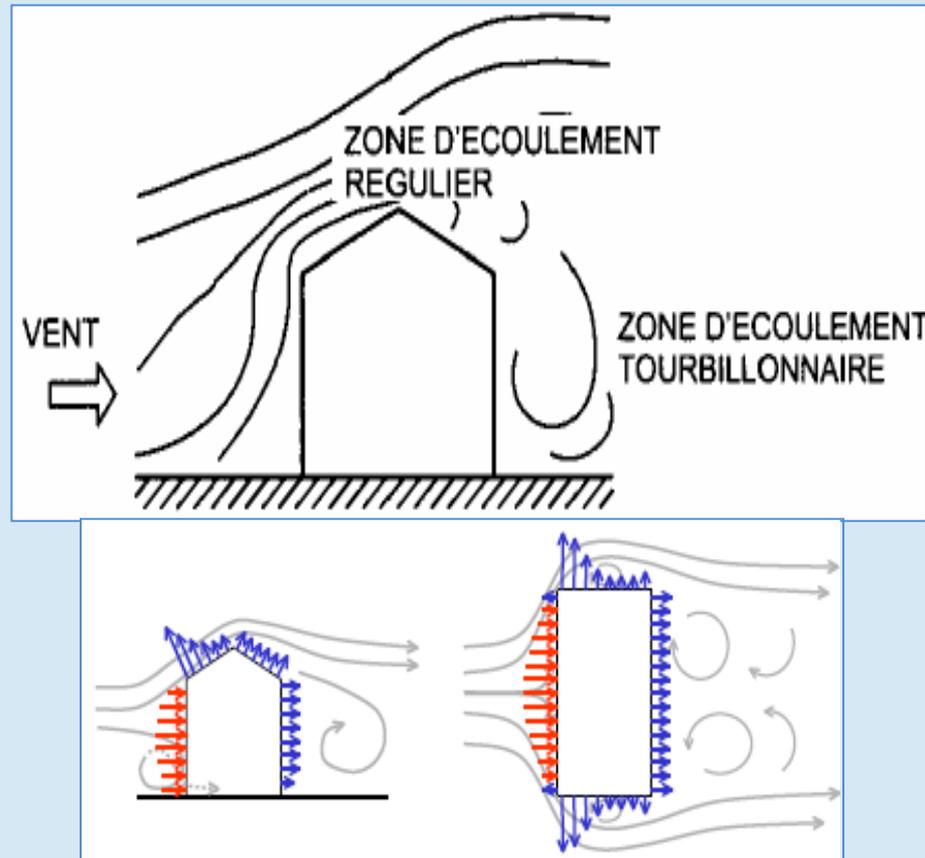


- Objectifs de bonne conception *en termes d'énergie* :
  - **Le stockage de l'énergie** – énergie potentielle de rappel favorisé par le choix d'un mode constructif permettant des déformations élastiques dans les limites autorisées par les règles.
  - **La dissipation d'énergie**  
obtenue pour partie par le choix de structures ayant un coefficient d'amortissement anélastique élevé.  
Améliorée par
    - l'ajout de systèmes amortisseurs
    - l'endommagement maîtrisé (ductilité)

## 4.2.3. Effet du vent sur les bâtiments

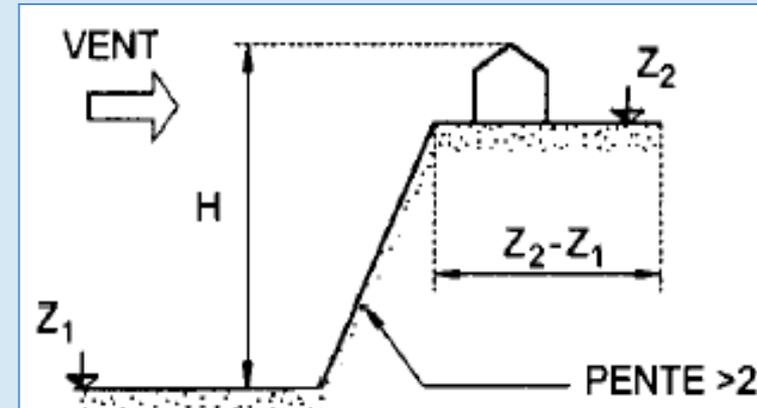
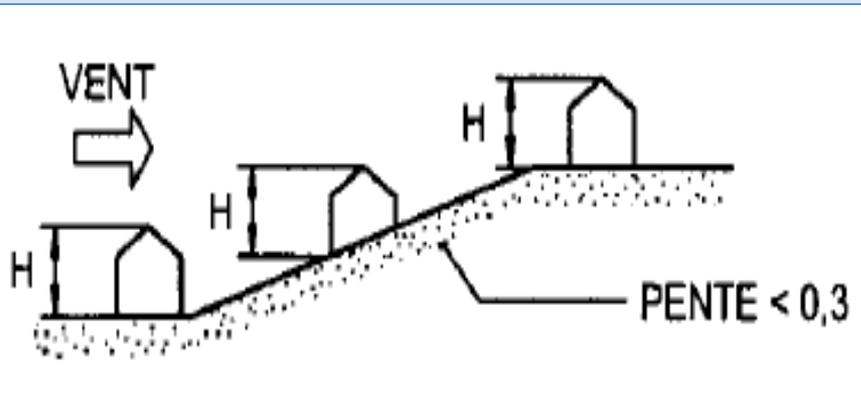
- **La pression sur un élément de la construction est fonction :**
  - De la vitesse du vent ;
  - De la catégorie de la construction et de ses proportions d'ensemble ;
  - De l'emplacement de l'élément considéré dans la construction et de son orientation par rapport au vent ;
  - Des dimensions de l'élément considéré ;
  - De la forme de la paroi (plane ou courbe) à laquelle appartient l'élément considéré.
- **L'action élémentaire unitaire** exercée par le vent sur une des faces d'un élément de paroi est donnée par un produit  $c \cdot q$ , dans lequel :
  - **q** désigne la pression dynamique fonction de la vitesse du vent. La pression dynamique  $q$  en décanewtons par mètre carré (daN/m<sup>2</sup>) est donnée en fonction de la vitesse  $V$  du vent en mètres par seconde par la formule :  $q = V^2/16,3$  ;
  - **c** un coefficient de pression fonction des dispositions de la construction.
- **Les coefficients de force** considèrent l'effet global du vent sur une structure, sur un élément de structure ou sur un composant de la structure, considéré dans sa totalité, y compris le frottement, lorsqu'il n'est pas spécifiquement exclu.
- **Le coefficient de réponse résonante**, tient compte, pour les ouvrages le nécessitant, de l'effet de la turbulence en résonance avec le mode de vibration.

# Représentation schématique de l'écoulement du vent à la rencontre d'un obstacle, comme un bâtiment.



- Selon le sens du vent, les parois d'un bâtiment sont exposées à des pressions ou à des succions.
- Toutes les directions de vent doivent être envisagée en région cyclonique.

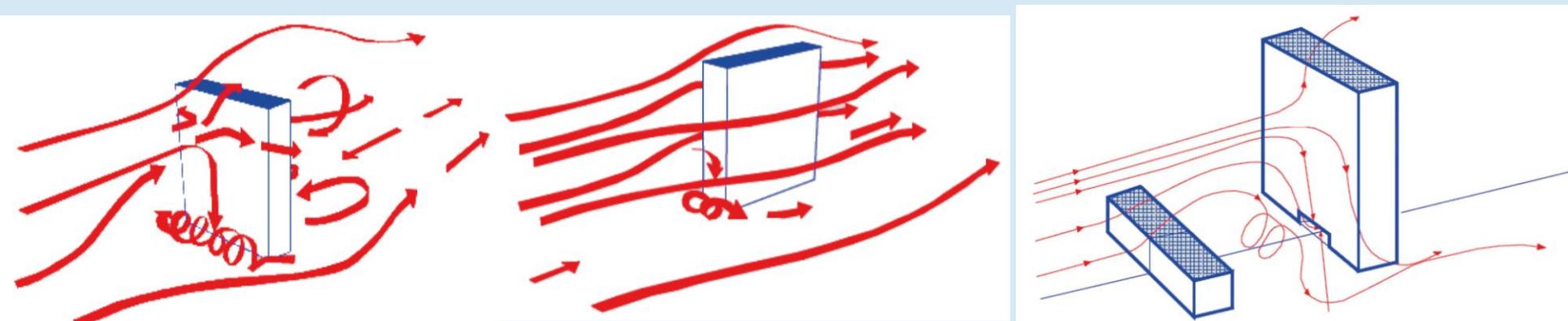
## *Action du vent sur les parois et coefficient de hauteur de la construction par rapport au sol*



- **Les codes définissent la prise en compte de la hauteur (vitesse du vent croissant avec l'altitude).**
- A titre d'exemple, pour les règles françaises NV65, si la pente est inférieure ou égale à 0,3, la hauteur  $H$  peut être comptée à partir du pied de la construction. Si la pente est égale ou supérieure à 2, la hauteur  $H$  pour des constructions situées dans une zone de largeur égale à la différence de niveau  $z_2 - z_1$ , à partir de la ligne de crête, doit être comptée à partir du niveau du terrain au pied de la dénivellation.

# *Aérodynamique et géométrie architecturale*

- Sauf pour les bâtiments à volumétrie simple et aux dimensions modérées, le calcul aux vents est une affaire complexe.



- **Lorsque les bâtiments projetés ont des dimensions modestes (moins de 250 m<sup>2</sup>) et une hauteur limitée à deux niveaux sur des sites peu pentus, il est possible d'utiliser des guides de recommandations forfaitaires, à condition de vérifier qu'ils sont agréés par le MTPTC pour la zone de construction.**

# En résumé: Paramètres de l'action sismique

- **Les masses de la construction** exposées aux accélérations sismiques.
- **L'accélération régionale « maximale au rocher horizontal »**. Donnée par le zonage sismique réglementaire du pays.
- **Les coefficients pouvant majorer l'accélération régionale :**
  - Un **coefficient d'importance**. Sa valeur est donnée par l'Etat (catégories de risque III ou IV) ;
  - Un **coefficient de sol**. Etabli par le bureau d'études géotechniques à l'issue des sondages, par application des règles. Il peut être intégré dans la réponse spectrale ;
  - Un **coefficient de réponse spectrale** évalue l'amplification par résonance. Les études de sol permettent de choisir le bon spectre de réponse, et le calcul modal (qui dépend notamment des raideurs et des masses de la construction) les valeurs d'amplification à retenir sur le spectre du site ;
  - Un **coefficient topographique** établi par un calcul géométrique simple.
- **Les coefficients pouvant minorer l'accélération de calcul :**
  - Un **coefficient d'amortissement** par frottements internes pendant les déformations. Donné par le code de construction parasismique en fonction du système constructif (de 2 à 5% pour les techniques courantes) ;
  - Un **coefficient de comportement**, qui atténue fortement l'accélération de calcul, peut être autorisé sous conditions très strictes de respect de règles de mise en œuvre parasismiques. Donné par le code de construction parasismique pour chaque système constructif. **A priori exclu pour la catégorie de risque IV.**

## *En résumé: Charges liées aux vents cycloniques*

- **Pression de base** : dépend de la vitesse de vent de la région donnée par le zonage national et des surfaces exposées.
- **Coefficients majorant ou minorant la pression de base** (donnés par les codes de construction) :
  - **La rugosité du terrain** : Plus la surface est rugueuse, plus la vitesse du vent est faible mais plus la turbulence est importante. La rugosité du sol dépend du relief (tailles et densités des bâtiments et les arbres).
  - **La hauteur du bâtiment** : les relations sont en général représentées graphiquement par des courbes basées soit sur la loi de la puissance, soit sur la loi logarithmique.
  - **La topographie environnante** : En général, les structures situées en haut de crêtes et au bord d'escarpements subissent des vitesses de vents plus rapides que le vent « ambiant ».
  - **La turbulence** : selon la géométrie du bâtiment.

# En forme de conclusion

- Le ***Guide pour la Construction d'Hôpitaux Résistants aux Aléas Naturels en Haïti*** ne se substitue pas à une compétence professionnelle dans les domaines exposés dans cette première partie.
- Au delà de cette initiation à son contenu, il est un aide mémoire utile et on y trouvera des informations détaillées sur des questions complémentaires:
- Partie 1, chapitre 5 : Précisions pour l'utilisation d'IBC 2009 & ASCE 7-05 en Haïti
- Partie 5 (annexes) :
  - charges généralement utilisées pour le calcul de dimensionnement des hôpitaux
  - Notes d'hypothèses

- La partie 2 du guide traite des exigences pour la construction elle-même

# ***Guide pour la Construction d'Hôpitaux Résistants aux Aléas Naturels en Haïti***

*Programme de formation à son utilisation*

Partie 2

PRESCRIPTIONS TECHNIQUES POUR LES  
PROJETS DE CONSTRUCTION NEUVE



# *Programme de formation à l'utilisation du Guide pour la construction des établissements de santé en Haïti*

- **Préambule**
- En 2013, l'OPS a produit un *Guide pour la Construction d'Hôpitaux Résistants aux Aléas Naturels en Haïti* prenant notamment en compte les exigences des contextes sismiques et cycloniques.
- Le programme de formation à son utilisation s'adresse à des ingénieurs et architectes possédant déjà la connaissance de l'ingénierie parasismique et paracyclonique, et souhaitant vérifier :
  - Son application dans le contexte des établissements de santé;
  - Les données du territoire haïtien.

# Les quatre parties du guide (rappel)

- Le corps du guide:
  - Partie 1 : Éléments contextuels à prendre en compte
  - **Partie 2 : Prescriptions techniques pour les projets de construction neuve**
- Les compléments:
  - Partie 3 : Termes de références et éléments formels du contrôle technique
  - Partie 4 : Evaluation et entretien des constructions existantes en vue de la réduction de leur vulnérabilité
- Quelques compléments d'information ont été annexés.

# Précision

- *La deuxième partie du **Guide pour la Construction d'Hôpitaux Résistants aux Aléas Naturels en Haïti** rassemble et explicite les prescriptions techniques qui doivent être insérées dans les cahiers des charges (termes de référence) des projets d'établissements ou parties d'établissements à construire*

# Contenu de la partie 2

- *Exigences formelles pour les matériaux de construction ;*
- *Exigences relatives à la conception générale de la structure ;*
- *Exigences techniques pour la sécurité des éléments non structuraux ;*
- *Exigences techniques pour la sécurité des équipements ;*
- *Exigences relatives à l'accessibilité des locaux et à la sécurité fonctionnelle.*

**-1-**

# **Exigences formelles pour les matériaux de construction**



# 1.1 Critère général : Respect des normes de résistance appropriées aux méthodes de calcul utilisées

- **Le calcul de dimensionnement d'une construction n'a de sens et d'efficacité que si les hypothèses de résistance de ses matériaux sont vérifiées sur le chantier.**
- Ceci impose:
  - l'utilisation de matériaux normalisés dont la résistance minimum est garantie conforme à leur « étiquetage ».
  - la bonne utilisation de matériaux appropriés à leur situation (géographique et dans chaque partie de la construction).
  - Le respect des normes édictées par les autorités haïtiennes, qui retiennent désormais le niveau d'exigences des nombreux pays ayant un retour d'expérience sismique et cyclonique.
- Au moment de la rédaction du guide, les règles intérimaires publiées par l'Etat haïtien après la catastrophe du 12 janvier 2010 autorisent le recours aux seules normes états-uniennes, canadiennes, caribéennes et européennes légalement en vigueur sur ces territoires.
- Sur la base de ce cadre transitoire, les conditions d'une normalisation haïtienne des matériaux se mettent en place.

## 1.2 Critères particuliers : Adaptation au contexte

- Les exigences nord-américaines ou européennes ne satisfont pas toujours les besoins du **climat tropical** qui accélère le vieillissement des matériaux inappropriés.
- Vérifier les exigences et retours d'expériences des autres pays de la Caraïbe.
- Difficulté actuelle d'approvisionnement en matériaux de construction fiables, notamment dans les sections rurales.
  - Ce qui doit amener à limiter les dimensions des bâtiments, afin de réduire les charges courantes, sismiques et cycloniques.
- Le guide propose pour chacun des matériaux courants le niveau d'exigence minimum reconnu au niveau international pour les contextes tropicaux, sismiques et cycloniques.
  - On peut utilement consulter les documents techniques édités par le CROSQ pour l'AEC ou les règles Antilles pour la Guadeloupe et la Martinique.

## 1.3 Le béton armé (1)

- **Préambule**

- La nature et le dosage des agrégats, du ciment et de l'eau doivent garantir au béton une **résistance en compression minimale de 25 N/mm<sup>2</sup> à 28 jours**.
- Les normes de béton armé et les indications des fournisseurs certifient les dosages qui permettent d'y parvenir.
- Les **armatures normalisées** doivent permettre une bonne cohésion avec le béton et avoir une capacité à se déformer sans perte de résistance en cas de dommages sismiques.

## 1.3 Le béton armé (2)

- **Les graviers**
  - Concassés (pas de galets ronds)
  - Entre 5 et 25 mm de diamètre
  - Granulométrie :
    - 50% de 5/15 mm
    - 50% de 15/25 mm
  - Parfaitement lavés

## 1.3 Le béton armé (3)

- **Sable**
- **sables de carrière**
  - agrément officiel pour la réalisation de béton ;
  - non « poussiéreux », ce qui exclut quasiment leur utilisation à l'époque de réalisation de ce guide ;
- **sables de mer**
  - même lavé, **INTERDIT** (le sel rouille les armatures favorisant l'éclatement du béton) ;
- **sables de rivière, naturels ou concassés**
  - lavage strict pour en retirer les fines particules (fines, argile, terre, etc.).
- **Utiliser un mélange de sables:** fin (1-1,6 mm), moyen (1,6- 3 mm) et gros (3-5 mm) en proportions équivalentes

## 1.3 Le béton armé (4)

- **Les ciments**

- Issus d'une production normalisée
- Etiquetage précisant l'usage
- Dosage :
  - au moins 350 kg par m<sup>3</sup> de béton
  - 400 kg pour les bâtiments hospitaliers
- Entreposés au sec

## 1.3 Le béton armé (5)

- **L'eau**
  - Proscrire formellement l'eau non limpide
  - Proscrire formellement l'eau de mer
  - Aucun ajout d'eau après le début de prise du béton
  - Rapport Eau/Ciment inférieur à 0,5

## 1.3 Le béton armé (6)

- **Les armatures pour béton armé**
  - Limite de résistance élastique :  $500 \text{ N/mm}^2$
  - Allongement plastique à la rupture : 5%
  - Barres haute adhérence
  - Enrobage minimum
    - 30 mm en situation courante
    - 50 mm pour ouvrage proche de la mer
    - Pose de cales entre les barres d'acier et coffrage

## 1.3 Le béton armé (7)

- **Le béton**

- Application stricte des normes pour le béton
- Résistance à la compression : 25 N/mm<sup>2</sup> minimum à 28 jours
- Résultat du test d'affaissement au cône d'Abrams : entre 7 et 10
- Test de résistance et test d'ouvrabilité tous les 100 m<sup>3</sup> de béton coulé
- Bétonnage continu à l'intérieur du coffrage de chaque élément



Eclat de  
béton à gros  
galets et  
manque de  
liant

**Eclat de béton aux armatures  
corrodées (sel de mer)**



**Béton non vibré avec poche d'air  
créant une grave faiblesse**





**Coffrage mal  
réalisé créant une  
faiblesse**



**Reprises de bétonnage  
inacceptables créant des  
faiblesses**

**Armatures de poutre non tendues, ne pouvant travailler en traction**





**Chaînage vertical déplacé  
ne pouvant travailler en  
traction**

A close-up photograph of a concrete corner joint. A wooden plank is embedded in the joint, protruding from the concrete. The concrete is light grey and shows signs of weathering and staining. The wood is light brown and appears to be a piece of plywood or similar material. The joint is formed by two concrete slabs meeting at a right angle.

**Bois « oublié » dans le coffrage  
créant une faiblesse**



**« Coup de griffe » inacceptable  
Chaînage vertical ne pouvant  
travailler en traction**

## 1.4 La maçonnerie (1)

- **NE PAS UTILISER la maçonnerie pour la structure des bâtiments hospitaliers de catégorie de risque IV**
- **Pour les autres bâtiments seulement si :**
  - à simple rez-de-chaussée et pas plus de 250 m<sup>2</sup>
  - **exclusivement** des blocs vibrés
  - tous les matériaux, méthode de calcul et mise en œuvre respectent **strictement** les exigences d'IBC-2009 ou code équivalent, avec un coefficient de comportement n'excédant pas 1,5

## 1.4 La maçonnerie (2)

- **Maçonnerie de contreventement**
- Blocs autorisés:
  - Blocs creux vibrés : minimum 3 parois longitudinales
  - Blocs pleins vibrés
  - Résistance à la compression : minimum 4 N/mm<sup>2</sup>
  - Epaisseur 20 cm minimum
- Mortier strictement conforme aux dosages requis selon l'usage

## 1.5 L'acier pour charpente métallique

- **Résistance élastique** de l'acier : 240 N/mm<sup>2</sup> minimum ;
- **Allongement plastique** sans perte de résistance : 5 % minimum ;
- Profilés protégés contre la corrosion **après** découpe et percements,
  - par galvanisation ou tout autre procédé donnant une protection équivalente ou supérieure
  - Conformément aux normes selon la situation et de l'usage (exemple le plus exigeant : usage extérieur en bord de mer) ;
- Boulons et écrous :
  - même résistance à la corrosion que les éléments de charpente
  - résistances (traction, cisaillement) et ductilité normalisées conformes aux normes parasismiques ;
- Soudures en zones critiques : même ténacité que les profilés qu'elles assemblent (et à ce titre être réalisées en atelier) ;
- Après galvanisation : une couche de peinture protectrice de 100 microns d'épaisseur.

## 1.6 Le bois de structure

- Sec, sain et exempt de nœuds.
- Feuillus durs, mi durs ou résineux traités.
- Bois situés en extérieur:
  - naturellement protégés contre les xylophages tropicaux,
  - Ou traités à cœur, par exemple sous autoclave.
- Bois situés en intérieur : peuvent être traités par trempage.
- N. B. : bois naturellement protégés dispensés de traitement:
  - à condition d'appartenir à une liste reconnue pour les conditions tropicales humides de la Caraïbe.
- Traitement préventif anti-termite du sol, après terrassement et avant réalisation des fondations
  - produits physiques ou physico-chimiques agréés
  - Pas d'aspersion pour éviter de polluer la nappe phréatique.
- Dérivés du bois
  - à éviter hors procédures strictes de contrôle (de la production à la mise en œuvre)

## 1.7 Le verre

- **L'ensemble des vitrages**, encadrements et systèmes de fixation
  - doit résister aux chocs courants prévisibles ;
  - aux vibrations des séismes sans se briser ;
  - ne pas présenter d'éclats tranchants lors de leur éventuel endommagement.
- **Surfaces vitrées en partie basse des murs** : vitrages de sécurité ou armés, pour les
- **Extérieur** : protégés par des volets (eux-mêmes conçus pour résister), ou
  - capables de résister aux pressions des vents cycloniques de référence et aux projectiles afférents ;
  - épaisseur calculée en fonction de la pression du vent et de la surface de la baie, avec un minimum de 6 mm.
- **Vitrages situés en toitures** mis en place évitant en cas de bris de glace la chute sur les usagers.
  - N. B. : Pour des vitrages en toiture existants qui présenteraient un danger, un filet de protection devra être disposé en dessous.

**-2-**

# **Exigences relatives à la conception générale de la structure**



## 2.1 Principes généraux pour les fondations (1)

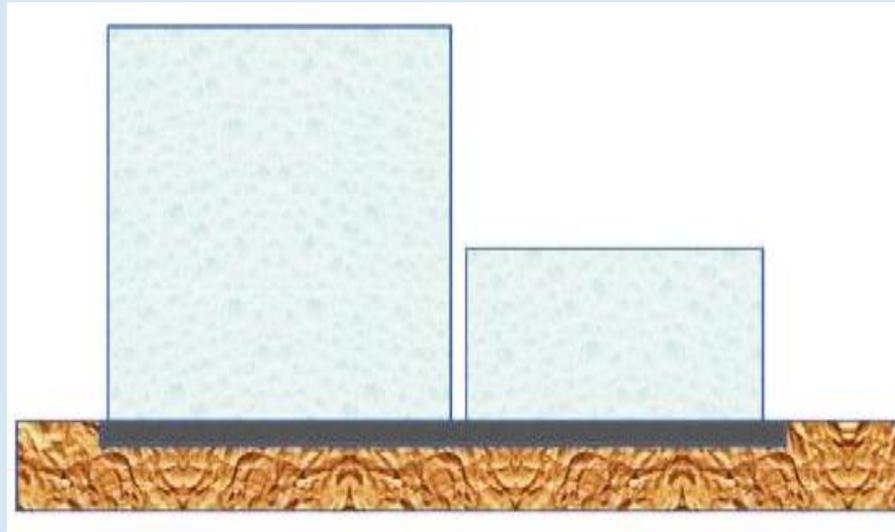
- En plus des charges verticales de la pesanteur,
    - les actions du vent,
    - les poussées des terres,
    - les poussées hydrostatiques
    - et les actions sismiques
- => efforts supplémentaires sur les fondations à prendre en charge selon les prescriptions des normes utilisées.

## 2.1 Principes généraux pour les fondations (2)

- Après les études géotechniques, le choix de fondations se fait,
  - comme en zone non sismique, selon le sol et les descentes de charge admissibles
  - Plus quelques principes propres aux zones sismiques:
    - Homogénéité des fondations sous un même bloc
    - Solidarisation des points d'appui (semelles filantes et radier assurent de fait la solidarisation)

## 2.1 Principes généraux pour les fondations (3)

- Si plusieurs blocs de bâtiments séparés par des joints parasismiques présentent le même système de fondation et la même qualité de sol de fondation, il est conseillé de supprimer les joints au niveau des fondations si les dimensions le permettent.



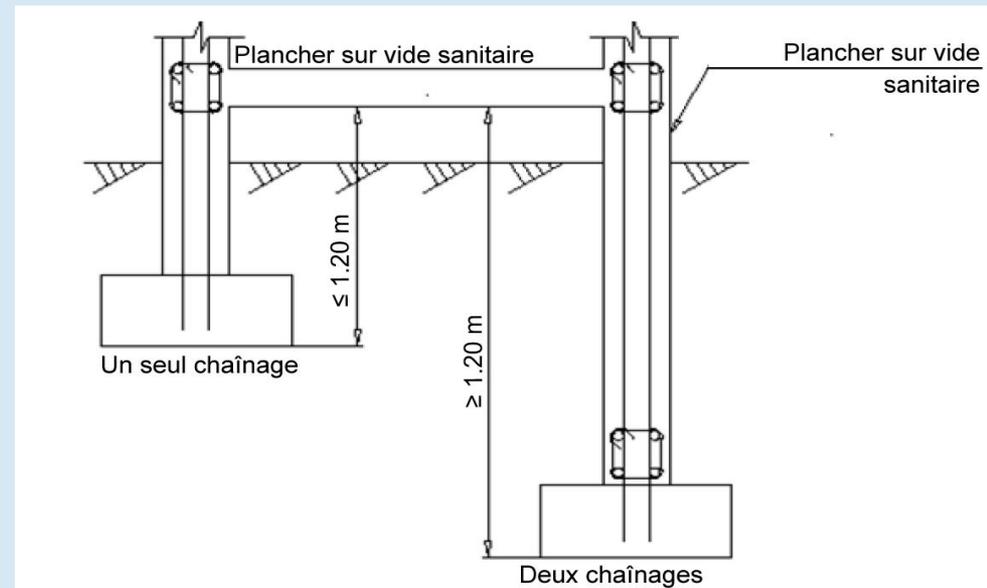
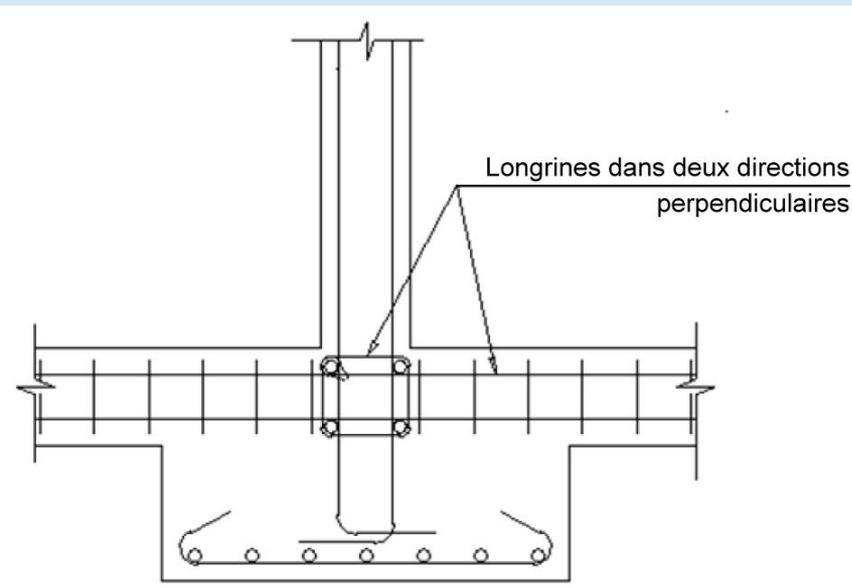
## 2.2 Fondations superficielles (1)

- Ces fondations sont réalisées en béton armé selon les normes en vigueur qui fixent les différentes modalités de calcul, d'exécution et de contrôle.
- Les semelles filantes ou isolées sont ancrées d'au moins 30 cm dans le bon sol sous les panneaux de contreventement.
- Les règles de construction parasismique rajoutent quelques prescriptions.

## 2.2 Fondations superficielles (1)

- **En zone sismique les semelles non continues sont reliées par un système de liaisons parasismiques (longrines, dallage renforcé).**
- Lorsque le premier plancher (rez-de-chaussée) est suffisamment bas au dessus de la sous-face des semelles,
  - il est admis, s'il comporte un réseau de chaînages horizontaux conforme à la réglementation, que le plancher assure cette liaison s'opposant au déplacement des semelles ;
  - les différentes normes actuelles limitent cette hauteur aux environs d'un mètre.

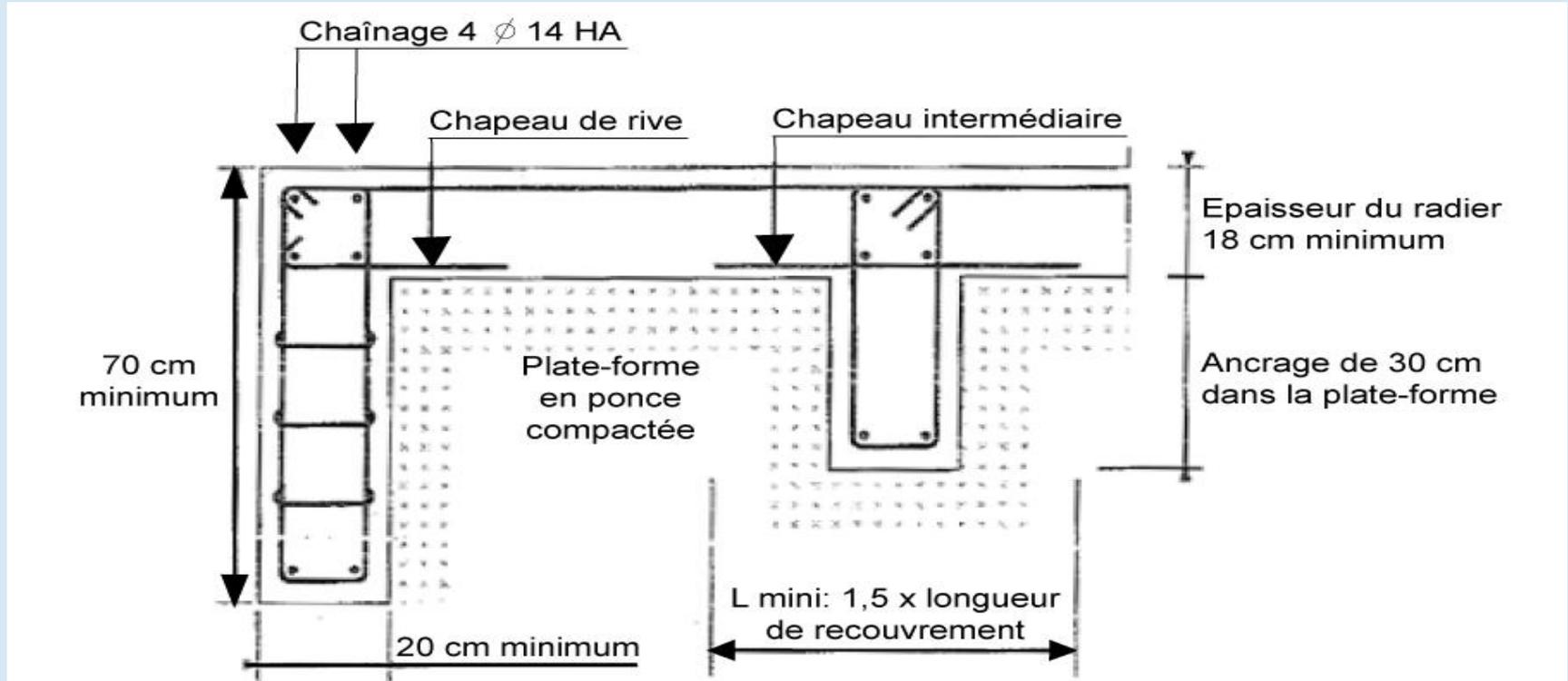
# Positionnement des longrines



## 2.2 Fondations superficielles (2)

- **Radier**
- Par définition les radiers sont utilisés sur des sols médiocres dont le comportement peut ne pas être homogène.
- Vérifications impératives
  - conditions de sa rigidité ;
  - différentiels de charges dynamiques sous les éléments porteurs ;
  - calcul des tassements à éviter, avec l'éventualité de déformations dues aux sols hétérogènes.
- **Les radiers ne peuvent être employés que dans le cas où les caractéristiques du sol s'améliorent en profondeur. Sinon il faudra utiliser des méthodes d'amélioration du sol.**
- La réalisation d'une butée par une bêche périphérique armée selon les règles est impérative. On retient une dimension minimum de 70 cm de hauteur et 20 cm de large. Des nervures (raidisseurs) sont mises en place sur les alignements de descentes de charges.

# Bèches et longrines renforcées

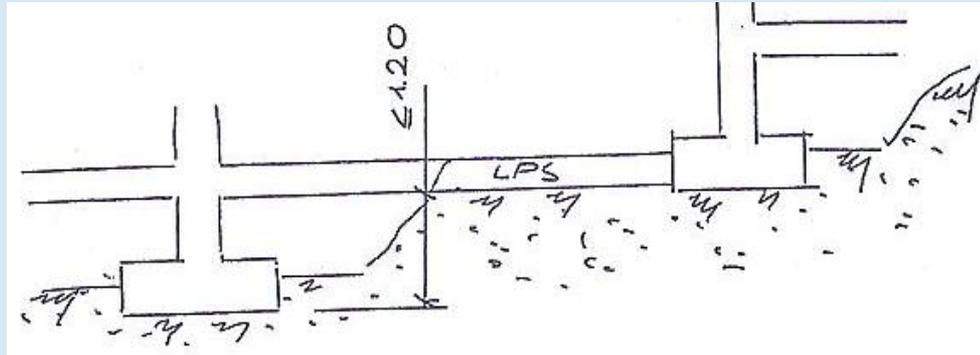


## 2.2 Fondations superficielles (3)

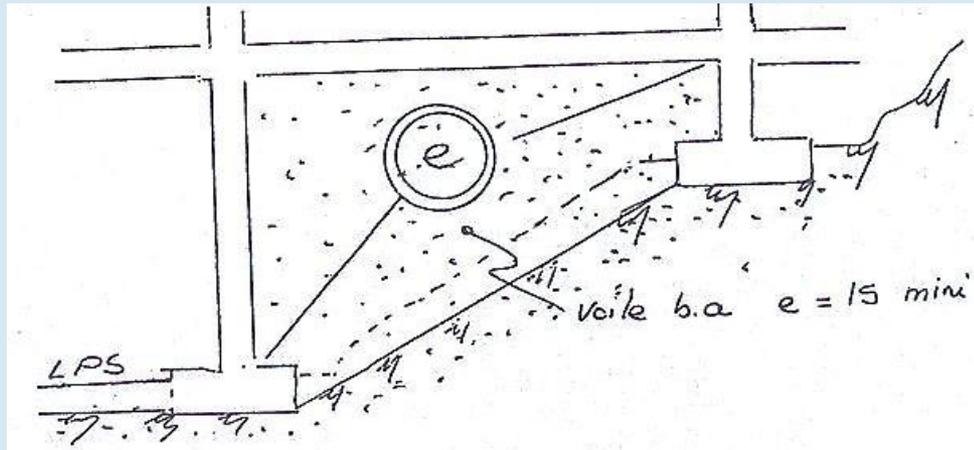
- **Pour les sites en pente les prescriptions générales sont les suivantes :**
  - **Pente jusqu'à 10%** : On peut réaliser un terrassement de fondations horizontal, donc plus profond à l'amont ;
  - **Pente entre 10 et 15 %** : le système de fondation nécessite un terrassement « en escalier » dont chaque niveau est horizontal, des soutènements peuvent être exigés selon l'étude géotechnique ;
  - **Pente entre 15% et 35%** : impérativement sur sol de bonne qualité. Il est préférable de réaliser un « demi sous-sol » calculé pour contribuer au soutènement ;
  - **Pente au delà de 35%** : la construction est plus problématique, même sur sol stable, et est déconseillée pour un hôpital.

## 2.2 Fondations superficielles (4)

- Liaison des semelles isolées en cas de pente



- Longrines parasismiques si pente limitée



- Voiles de béton armé si fortes pentes

## 2.3 Fondations profondes (1)

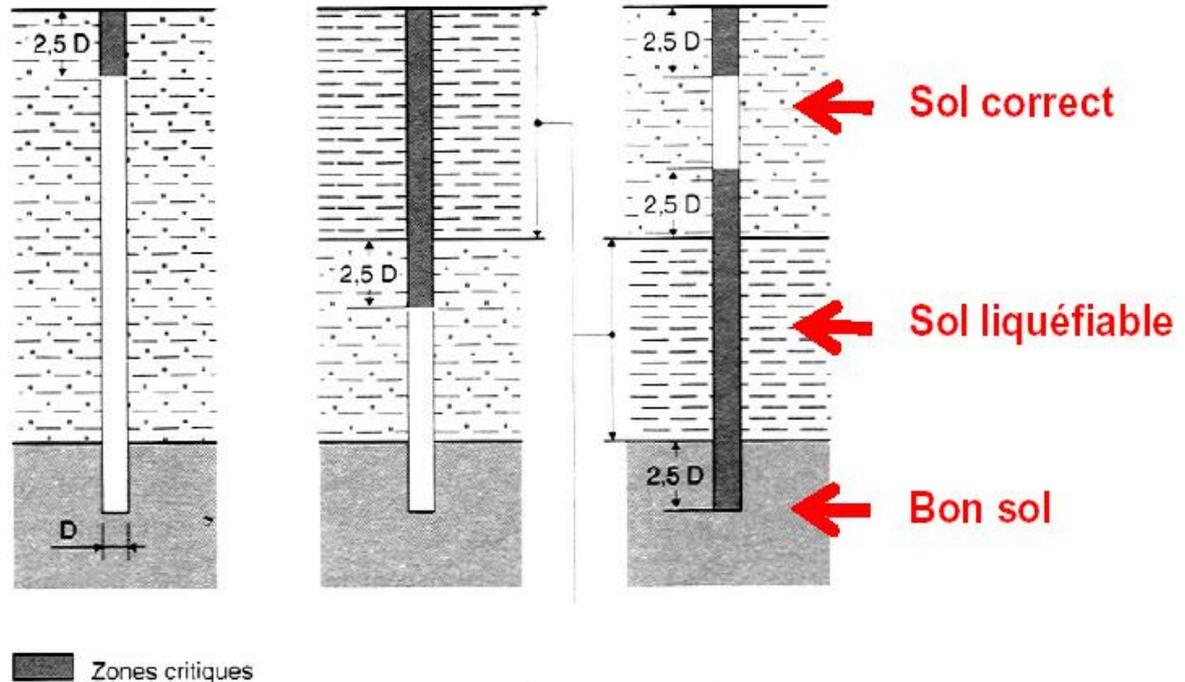
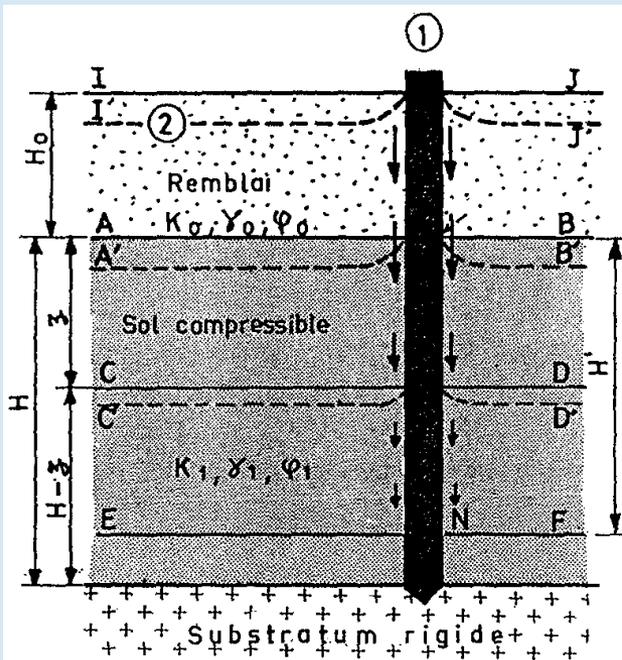
- **Types de fondations profondes :**
  - Puits (fondations semi-profondes) ;
  - Pieux et barrettes ;
  - Micro-pieux.
- **Spécificités parasismiques**
  - **Puits armés ;**
  - **Massifs de têtes de pieux renforcés ;**
  - **Longrines parasismiques.**

## 2.3 Fondations profondes (2)

- **Vérifications des pieux en zone sismique :**
  - Effort tranchant en tête de pieux ;
  - Comportement flexible sur leur longueur ;
  - Déformation avec le sol sans perte de résistance.
- **Protection des têtes de pieu (notamment en cas de tassement de sol)**
  - mobiliser le plus de sol possible,
    - encasturer la superstructure dans le sol par des bêtes périphériques ou par un sous-sol en caisson.
  - les têtes de pieux et leurs autres zones critiques sont renforcées par des cadres plus rapprochés.

## 2.3 Fondations profondes (3)

- **Problème du frottement négatif en cas de tassement de sol**
- Le sol qui normalement résiste aux charges par frottement (forces de friction sur toute leur longueur), devient une charge supplémentaire en cas de tassement.
- Il faut renforcer les « zones critiques »



## 2.4 Exigences générales pour la superstructure (au dessus des fondations) (1)

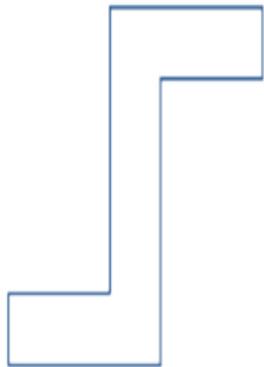
- **Principes**
- Des similitudes existent dans les principes de conception et de construction parasismique et paracyclonique :
  - Les **formes simples, symétriques et compactes** sont préférables pour prévenir des majorations locales d'efforts ou de déformations ;
  - Les **liaisons assurant une bonne continuité des efforts** ont une importance primordiale. Chaque élément critique devant être solidement relié aux éléments adjacents ;
  - La **conception des bâtiments doit être hyperstatique** (redondance des contreventements) et résiliente. En effet les charges de calcul ne sont qu'une estimation de l'intensité maximum des phénomènes naturels.

## 2.4 Exigences générales pour la superstructure (au dessus des fondations) (2)

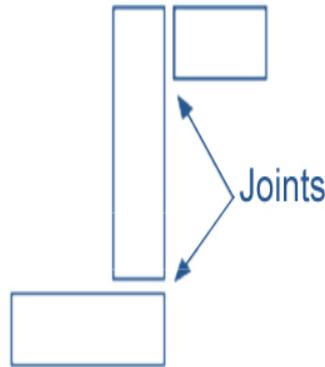
- **Performances optimisées par la bonne conception en amont du calcul**
  - Pas d'imprévisions qui amèneraient à casser partiellement la structure: perte irréversible de la résistance calculée.
  - La hauteur minimum sous dalle conseillée pour la réalisation des hôpitaux est de 4,5 m (les réseaux peuvent passer et être modifiés entre la dalle et le faux-plafond)

## 2.4 Exigences générales pour la superstructure (au dessus des fondations) (3)

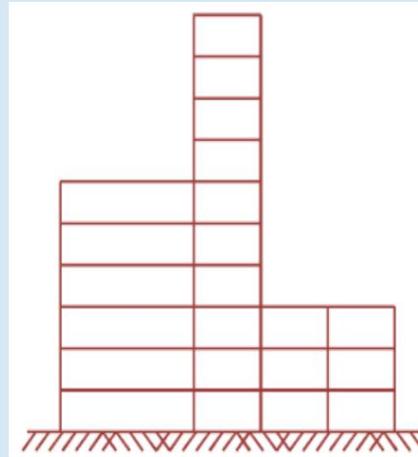
- Formes compactes et joints parasismiques



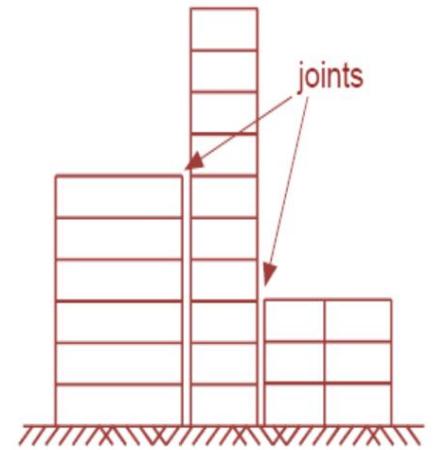
Mauvais



Bon



mauvais



bon

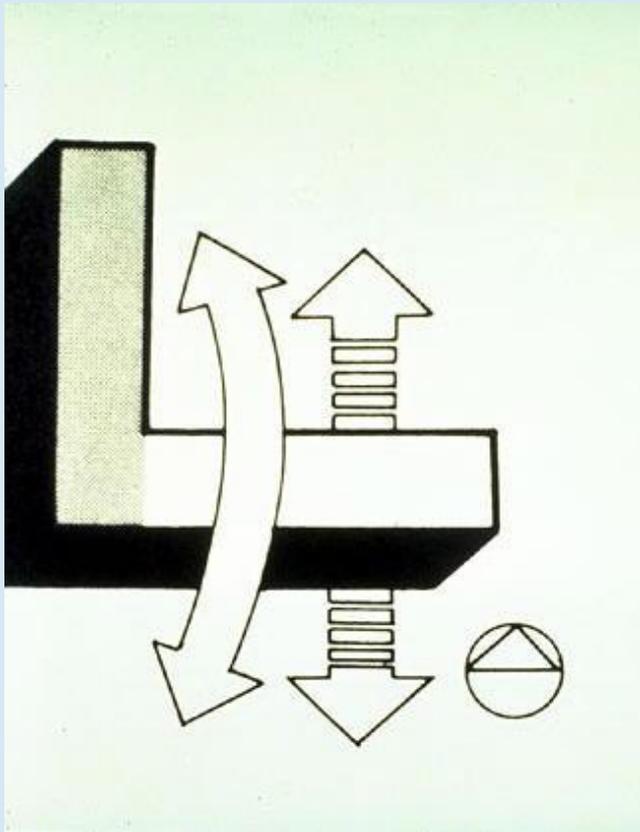
En plan

En élévation

Recouper les bâtiments trop irréguliers en plan ou en élévation OU renforcer les zones très sollicitées après un calcul approprié

# Simplicité en plan

- L'aile du bâtiment perpendiculaire au sens de la sollicitation, subit une torsion autour de l'angle plus rigide dans le sens considéré



# Simplicité en élévation

- La jonction entre la partie large et a partie étroite du bâtiment a subi des efforts plus importants



Chantier à  
Pétionville, Haïti  
2010  
Vue intérieure  
d'un joint  
parasismique de  
plus de 10 cm

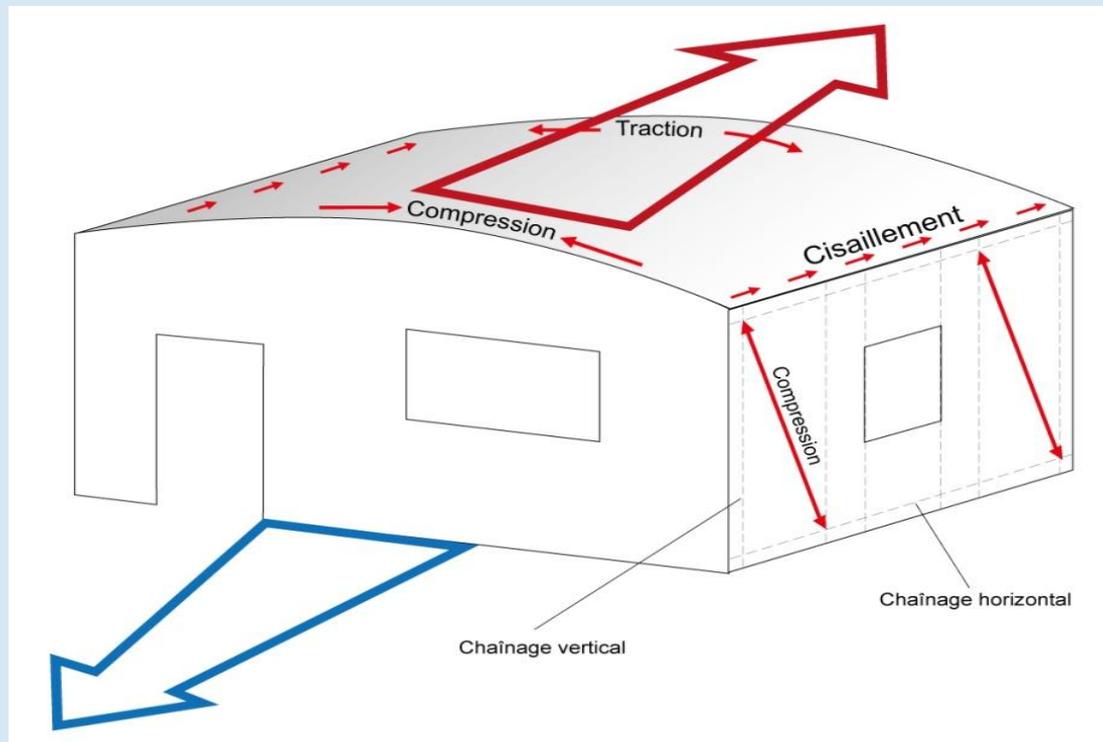


## 2.4 Exigences générales pour la superstructure (au dessus des fondations) (4)

- **En zone sismique, la bonne conception des bâtiments est aussi importante que le calcul de dimensionnement et la mise en œuvre « ductile ».**
- La répartition des masses et des raideurs doit être très régulière d'un étage à l'autre.
- Elle doit être également aussi symétrique que possible en plan à chaque étage.
- Le recoupement des bâtiments à volumes complexes par des joints parasismiques permet d'obtenir des blocs indépendants de géométrie plus favorable à cette nécessaire régularité structurelle.

## 2.4 Exigences générales pour la superstructure (au dessus des fondations) (5)

- Principes du contreventement de trois directions orthogonales (longueur, largeur, planchers) (1)



## 2.4 Exigences générales pour la superstructure (au dessus des fondations) (6)

- **Principes du contreventement de trois directions orthogonales (longueur, largeur, planchers) (2)**
- Pour que la transmission des efforts se fasse correctement, il faut que :
  - Les planchers et la toiture soient suffisamment rigides dans leur plan afin d'assurer la fonction diaphragme (contreventement horizontal) ;
  - Les éléments verticaux de contreventement soient disposés et dimensionnés de manière à transmettre efficacement, jusqu'aux fondations, les efforts transmis par la toiture et les planchers (contreventement vertical) ;
  - Les liaisons entre les éléments du contreventement de la structure soient capables d'assurer le transfert des efforts ;
  - Les fondations soient assises sur un sol de bonne qualité et correctement liaisonnées entre elles ;
  - La conception générale de la structure respecte l'ensemble des principes de conception parasismique.

## 2.5 Exigences de conception propres au risque sismique

- **Les portiques**

- La résistance dépend de celle des poteaux et des assemblages avec les poutres, ce qui impose des renforcements très techniques et onéreux. A éviter si on peut faire autrement.

- **Les murs et la triangulation**

- Ces deux modes de contreventement présentent plusieurs avantages :
  - Les bâtiments réalisés sont naturellement plus raides et l'implantation des raideurs dominantes, qui est déterminée au départ, correspond aux résistances ;
  - Les techniques de mise en œuvre sont généralement plus faciles à vérifier sur chantier ;
  - Et surtout, il y a moins de risque sur la durée de vie du bâtiment que des ouvrages secondaires viennent « brider » des poteaux, créant ainsi des raideurs parasites très dangereuses (poteaux courts, torsions, etc.)

# IMPORTANT

- Lorsque les conditions de qualité des matériaux, d'études très qualifiées, et de réalisation ne garantissent pas l'intégralité des exigences des codes, **il est préférable d'envisager un contreventement par murs et dalles en béton armé dotés de bons chaînages** qui apportent intrinsèquement raideur (réduction des déformations) et continuité des transmissions d'efforts (éviction des points de rupture par faiblesse)
- Pour les bâtiments de dimensions courantes, les surcoûts sont réduits.

## 2.6 Exigences complémentaires propres au risque cyclonique (1)

- **Toitures**

- La forme de toit la plus adaptée à l'action du vent est la toiture avec croupes (toit à quatre versants) avec des angles de pente entre 20 et 30 degrés.
- En deuxième lieu vient le toit à pignon (toit à deux versants) avec des inclinaisons de pente de 20 à 30 degrés.
- Ces pentes garantissent une bonne évacuation des pluies abondantes pour les toitures en tôle réalisées avec les recouvrements réglementaires.
- Les toits à versant unique et les toits plats sont moins adaptés aux vents.
- **Dans le cas du vent, comme du séisme, la charpente de toiture doit impérativement être contreventée.**
- Préférer les ouvertures en tôles.
- Fixations des tôles plus rapprochées au niveau des arêtiers, faîtages et rives de la toiture.
- Limiter les avant-toits afin d'éviter une amorce de soulèvement de toute la toiture.

## 2.6 Exigences complémentaires propres au risque cyclonique (2)

- **Portes et fenêtres**
- Les ouvertures ne doivent normalement pas diminuer la capacité de résistance du bâtiment par une rupture éventuelle des menuiseries (vitrées ou non) qui doivent pouvoir être fermées efficacement pendant un cyclone.
  - Les persiennes à barres renforcées de sécurité et à joints étanches, offrent une bonne sécurité en situation cyclonique.
  - La pose de volets permet la protection des persiennes courantes contre les projectiles et les pluies violentes.

# Arrachement des couvertures

- Cyclone Ivan 2004 Grenade



# Arrachement des toitures

- Cyclone Ivan 2004 Grenade



# Faiblesse des menuiseries

- Cyclone Ivan 2004 Grenade



# Résumé zones sismiques et cycloniques

- **Dans les deux cas :**
  - combinaisons d'efforts horizontaux et verticaux repris par les fondations ;
  - charges additionnelles à partir d'une valeur régionale (vitesse du vent, accélérations du séisme), de facteurs locaux et des caractéristiques de la construction ;
  - formes simples et régulières pour une meilleure répartition des efforts ;
  - nature du contreventement choisie en fonction de multiples critères ;
  - contreventement calculé pour chaque direction principale de la structure ;
  - déformation admissible limitée, en complément de la résistance ;
  - répartition régulière et redondance des éléments de contreventement vertical souhaitable.
- **Pour le séisme :**
  - distribution régulière des masses et des raideurs impérative.
- **Pour les cyclones :**
  - pas de "prises au vent" et menuiseries résistantes.
  - couvertures permettant une bonne évacuation des pluies.

**-3-**

# **Exigences techniques pour la sécurité des éléments non structuraux**



## 3.1 Généralités

- Les éléments « non structuraux » comprennent notamment les cloisons, les façades légères (parements et remplissages), les faux-plafonds et faux-planchers, les menuiseries (fenêtres et portes), et les éléments de second-œuvre comme la plomberie et l'électricité.
- Dans un hôpital, les éléments non structuraux et l'équipement peuvent représenter jusqu'à 80% du coût de la construction.
- Un pourcentage élevé des pertes directes et indirectes causées par les ouragans et les tremblements de terre est dû à la défaillance des éléments non structuraux.

# Niveau de protection requis pour les éléments non structuraux

- Dégâts limités ou nuls en situation sismique ou cyclonique ;
- Fonctionnalité de l'établissement maintenue ;
- Prévention des atteintes aux personnes et aux équipements ;
- N. B. : l'ensemble des matériels et matériaux utilisés, notamment à l'intérieur, doit permettre un entretien facile à l'eau et aux produits détergents, sans recoin inaccessible, et sans vieillissement inapproprié à l'hygiène hospitalière.

## 3.2 Façades (1) panneaux et bardages

- **Séisme :**

- Les panneaux et bardages préfabriqués doivent être conçus et fixés de manière à supporter les déplacements relatifs entre planchers, sans risque de rupture fragile des composants et fixations pour le séisme de calcul.

- **Cyclone :**

- Les panneaux et bardages doivent être, si nécessaire, équipés de raidisseurs, et leurs fixations doivent garantir leur tenue au vent de calcul.
- Tous les systèmes de façades préfabriquées doivent garantir une parfaite étanchéité aux pluies cycloniques et un vieillissement des panneaux et des systèmes de fixation sans perte de fonctionnalité, attestés par un retour d'expérience suffisant dans la Caraïbe.

## 3.2 Façades (2) maçonnerie

- **Séisme :**

- Les maçonneries de remplissage doivent garantir:
  - leur tenue « hors plan » (non renversement vers l'extérieur) ;
  - leur résistance dans le plan (fissurations limitées).
- Un système de chaînage permet d'atteindre ces objectifs.
- Sauf justification par le calcul, ne pas utiliser de maçonnerie de remplissage entre les poteaux des bâtiments contreventés par des portiques (raideurs locales modifiant dangereusement le comportement sismique projeté).

- **Cyclone :**

- Les maçonneries de remplissage qui respectent **toutes les exigences des règles parasismiques sont également efficaces en situation cyclonique.**

## 3.2 Façades (3) carrelage

- **Eviter le carrelage en façade des hôpitaux,**  
sinon:
- **Séisme :**
  - Ils doivent être scellés dans le mur par un système garanti par le fabricant (et non collés).
- **Cyclone :**
  - Le système de scellement éventuel doit être garanti de façon durable contre toute oxydation.

## Parapets et garde-corps

- **Séisme :**
  - Les parapets en maçonnerie doivent être chaînés en respectant les règles de construction parasismique pour la maçonnerie.
  - Les garde-corps métalliques doivent être correctement scellés.
- **Cyclone :**
  - Les garde-corps et parapets doivent être conçus pour que les eaux de pluie s'écoulent librement.
  - Les garde-corps légers doivent être suffisamment ajourés pour que la pression des vents cycloniques ne constitue pas un risque d'arrachement.

## Corniches, enseignes, ornements divers

- Si leur présence n'est pas impérative, mieux vaut éviter la mise en place d'éléments pouvant constituer un risque à terme.
- **Séisme :**
  - TOUS les éléments de décor (enseignes) doivent être choisis et fixés de manière à supporter les secousses sismiques sans risque de chuter en bas des façades.
- **Cyclone :**
  - Les éléments de décor (enseignes) doivent être choisis et fixés de manière à supporter le vent de calcul et les turbulences sans risque d'arrachement.
  - On doit donc prévoir la possibilité de démonter aisément en situation d'alerte cyclonique, les éléments indispensables sensibles aux déformations ou aux pluies violentes

## 3.3 Eléments situés en couverture des toitures

- **Séisme :**
  - Pas d'équipements lourds en toiture.
  - Limiter les chauffe-eaux solaires ou autres réservoirs d'eau de plus de 100 litres (masses exposées aux forces d'inertie).
  - Leurs systèmes d'ancrage doivent être étudiés, d'une part pour éviter leur arrachement, et d'autre part pour ne pas exercer de contraintes inadmissibles sur leur support (charpente et couverture).
  - Les grands réservoirs d'eau, dont l'élévation est indispensable, doivent être placés sur des structures indépendantes, calculées aux séismes, voisines des bâtiments.
- **Cyclone :**
  - Fixation résistant à l'arrachement pour garantir à la fois leur tenue et le non endommagement des supports.
  - Vérifier les conditions d'étanchéité du support, lors de leur mise en place.

## 3.4 Menuiseries

- Les menuiseries en façade et leurs scellements doivent résister aux pressions des vents cycloniques, et aux projectiles, et garantir une étanchéité appropriée.
- La conception et le nombre des issues intérieures et extérieures doivent impérativement prendre en compte les **évacuations en situation de panique**.
- Rappel : Les vitrages doivent respecter les précautions

## 3.5 Faux plafonds et réseaux suspendus

- **Séisme :**
- Les châssis des faux plafonds, les chemins de câbles, les gaines et les canalisations suspendus doivent être contreventés par des « plats métalliques » ou des câbles, afin de prévenir leur balancement et les dommages éventuels en cas de séisme.
- Les plaques de faux-plafonds doivent être fixées sur les châssis de manière à ne pas se décrocher et chuter pendant les secousses.

# Port-au-Prince, 12 janvier 2010



## 3.6 Faux planchers

- **Séisme :**
- Les chandelles qui supportent les châssis des faux-planchers doivent être correctement contreventées.
- Des renforcements-supports contreventés doivent être mis en place sous les équipements lourds qui ne doivent pas être supportés par les faux planchers.
- Pour ces raisons, on ne retiendra la solution des faux planchers que dans les locaux où les faux-plafonds ne sont pas appropriés.

## 3.7 Revêtements de sols

- **Les revêtements de sol :**
- Ne doivent présenter aucun risque de déformation
- Doivent être antidérapants même mouillés
- Doivent être résistants à l'usure

## 3.8 Escaliers et Ascenseurs

- Escaliers / cages d'escalier :
  - Avoir une pente modérée
  - Avoir des mains-courantes latérales
  - Etre isolés par des portes coupe-feu
  - Etre sans décoration ni mobilier
  - Posséder un fléchage des issues
- Ascenseurs :
  - Si les conditions ne semblent pas réunies pour satisfaire les exigences requises pour l'installation d'ascenseurs dans les hôpitaux, exclure les établissements de santé à étages.
  - On peut toutefois envisager, sur une pente stable d'avoir deux niveaux, chacun étant accessible directement par l'extérieur et reliés par des rampes extérieures.

## 3.9 Plomberie et électricité

- Les organisations impliquées dans la prévention des catastrophes, comme la FEMA aux Etats-Unis, ou les associations de génie parasismique, éditent des brochures de recommandations pour la réalisation des réseaux en zone sismique ou cyclonique.
- Ces documents présentent de nombreuses solutions appropriées aux différentes situations.
- Il est recommandé d'en prendre connaissance.

## 3.10 Murs de clôture

- **Séisme :**
  - Les murs de clôture en maçonnerie sont sensibles aux poussées « hors plan »
  - Leur sécurisation est impérative et impose
    - une semelle de fondation en béton armé ;
    - des chaînages ;
    - et des contreforts lorsque les murs ont de grandes dimensions.
- **Cyclone :**
  - La mise en œuvre de la fondation et du mur doit prendre en compte l'écoulement des eaux de part et d'autre. (éviter affouillement ou retenue d'eau).

-4-

# Exigences techniques pour la sécurité des équipements

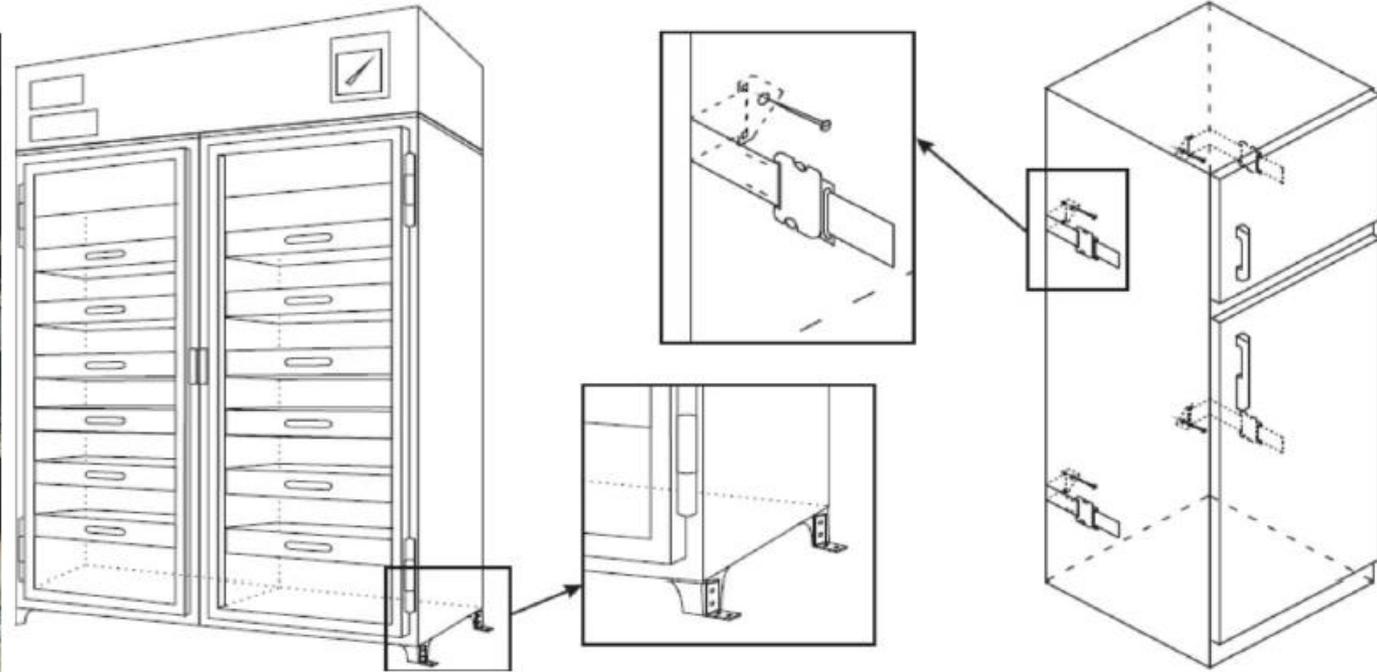


# Préambule

- Les organisations impliquées dans la prévention des catastrophes :
  - FEMA aux Etats-Unis
  - Geohazard International en Inde
  - ASPS en Granceont édité des brochures de recommandations pour la sécurisation des équipements hospitaliers contre les secousses sismique.
- Il est recommandé d'en prendre connaissance.
- Le guide en présente la synthèse et les principes.

## 4.1 Généralités (1) Matériel fixe

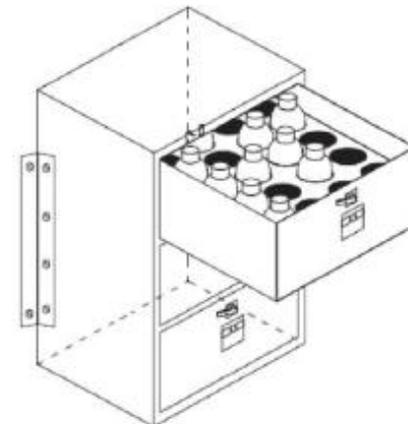
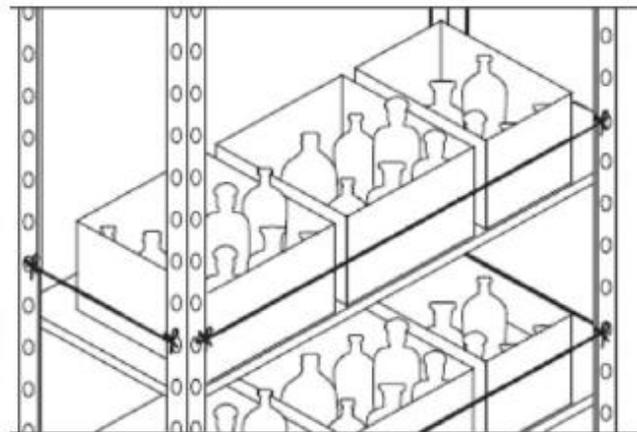
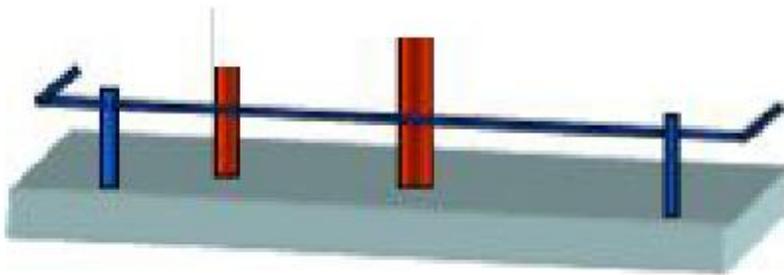
- Prévenir le renversement et l'ouverture des portes des armoires



- A gauche, Delmas, séisme du 12 janvier 2010

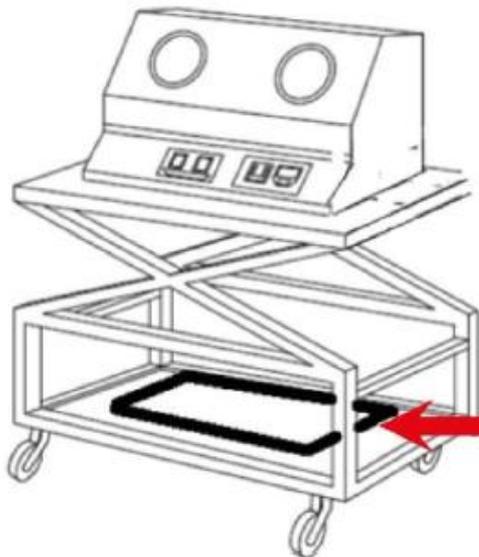
## 4.1 Généralités (2) Matériel fixe

- Etagères et tiroirs
- Rebords empêchant la chute d'objets
- Ergots, clés empêchant la sortie des tiroirs



## 4.1 Généralités (3) Matériel roulant

- Abaisser les centres de gravité (renversement)
- Actionner les freins des roues
- Rebords ou fixations pour éviter la chute des matériels transportés

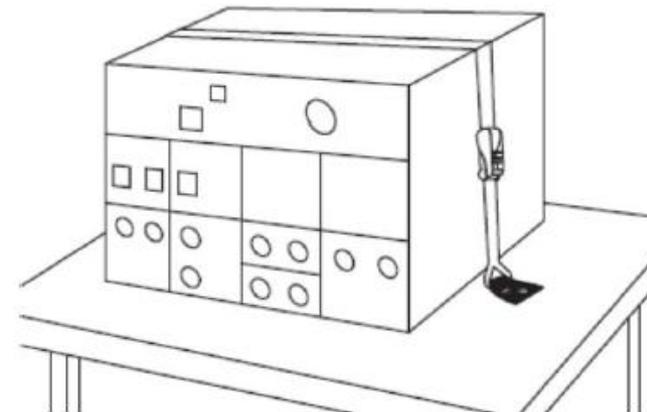
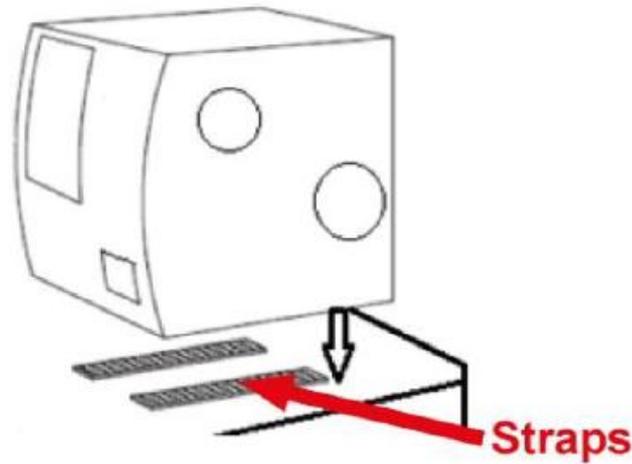
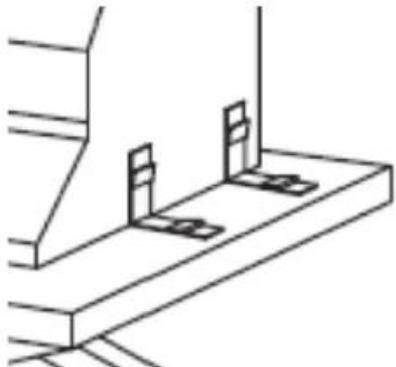


Poids additionnel  
abaissant le centre  
de gravité



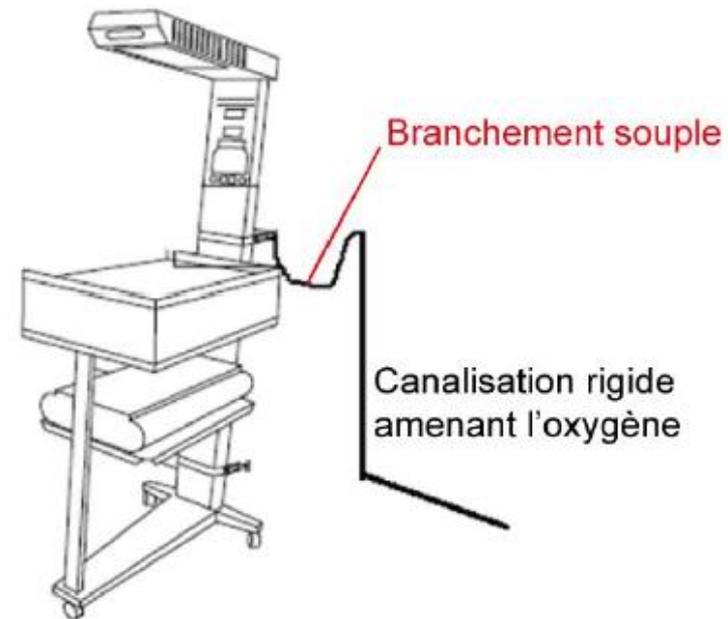
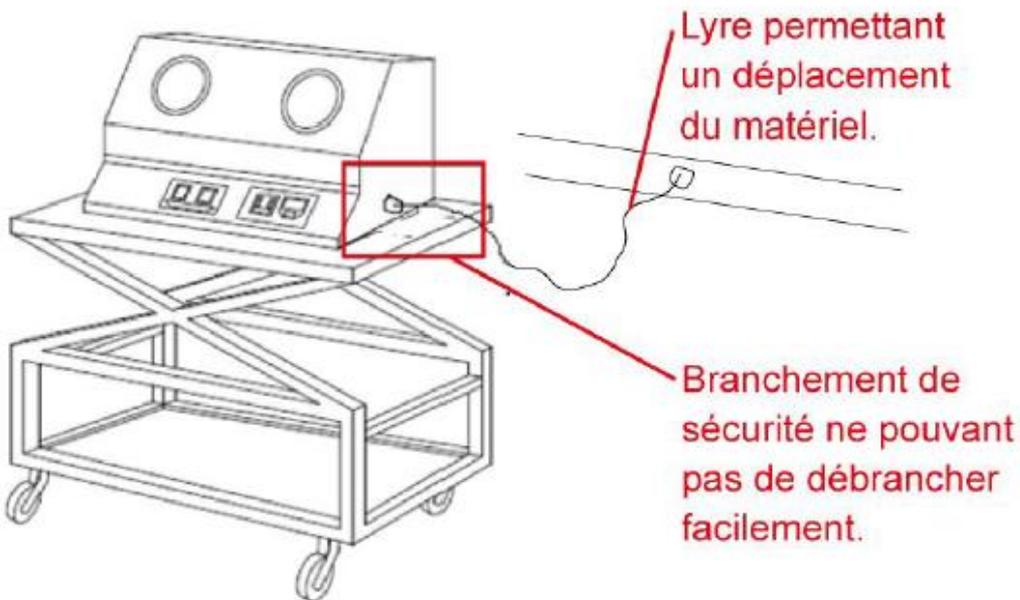
## 4.1 Généralités (4) Matériel posé

- **Fixation anti-chute :**
- **Tous matériels sensibles**
- **Tous matériels dangereux ou en hauteur**



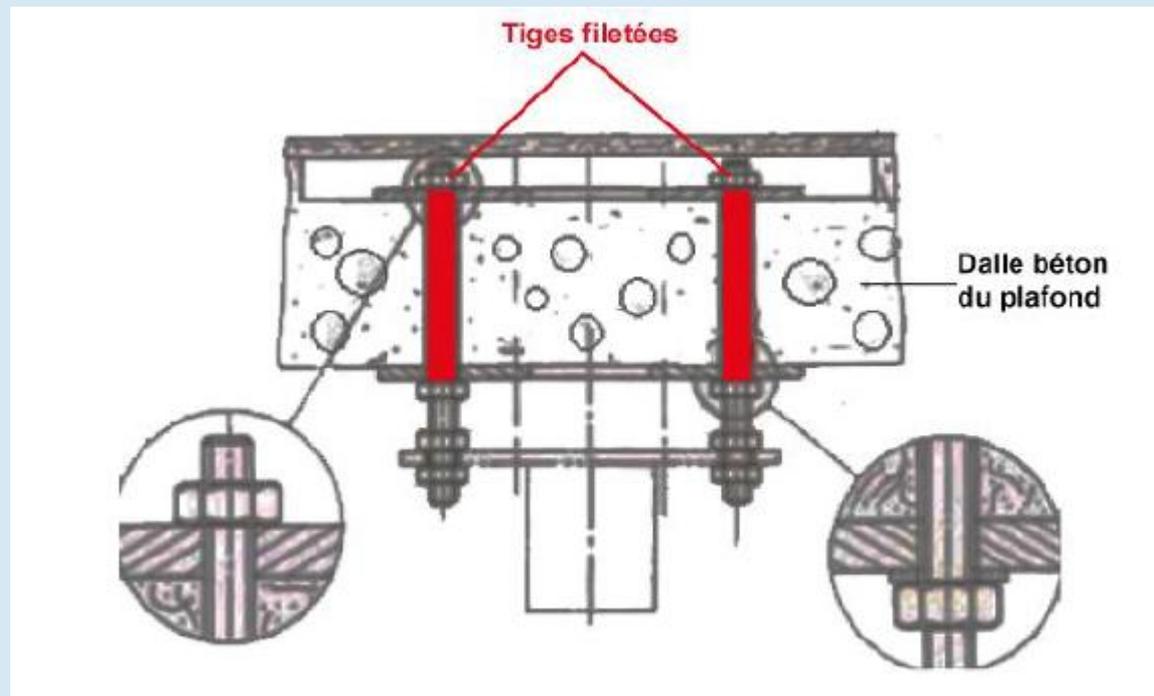
## 4.1 Généralités (5) Matériel connecté

- **Sécuriser le branchement électrique des équipements sensibles si un déplacements relatifs est prévisible**



## 4.2 Equipements médicaux (1)

- Scialytique ou autre équipement lourd suspendu, ancré dans la dalle



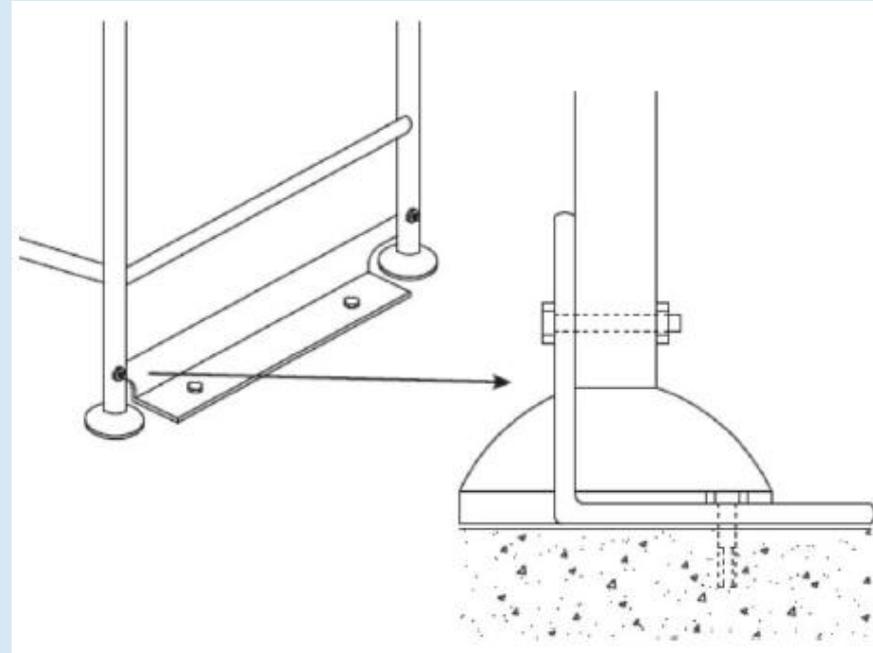
## 4.2 Equipements médicaux (2)

- **Tables d'opération fixation au sol**



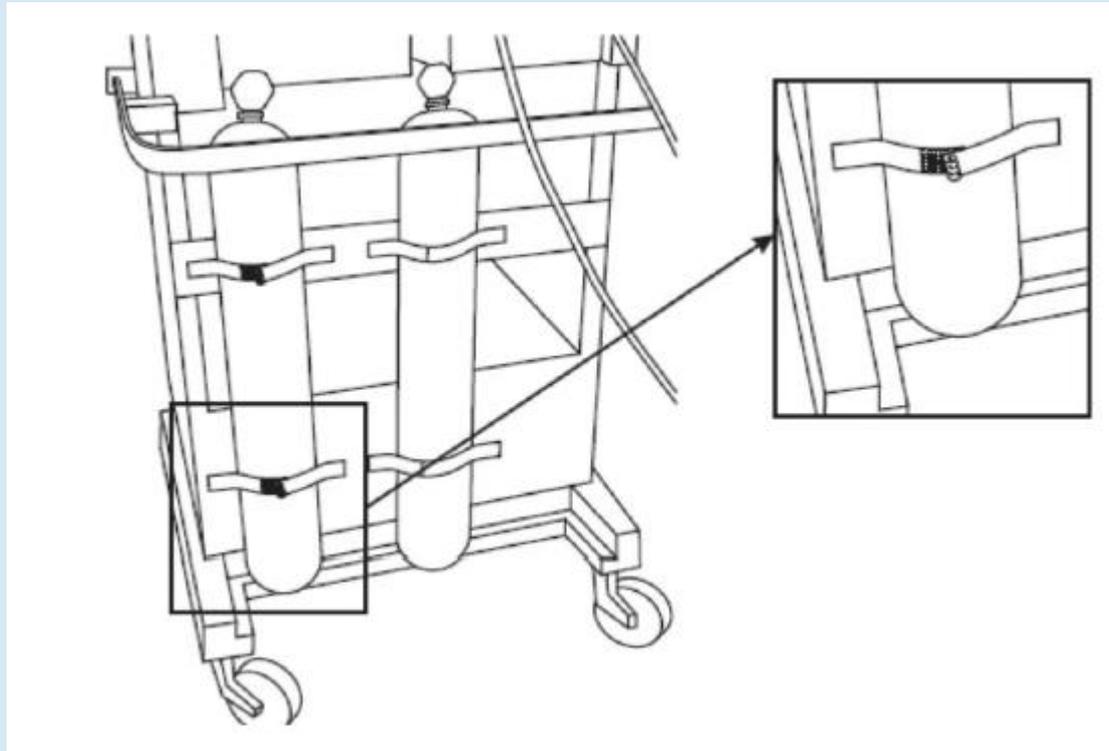
## 4.2 Equipements médicaux (3)

- Imagerie médicale, stérilisation et autres équipements sensibles: fixations permanentes ou amovibles



## 4.2 Equipements médicaux (4)

- **Matériel roulant support de gaz équipé de supports renforcés**



## 4.3 Equipements non médicaux (1)

- **Armoires et étagères des laboratoires et pharmacies à sécuriser (équipement et procédures d'utilisation)**



## 4.3 Equipements non médicaux (2)

- Les luminaires du commerce ne sont pas forcément munis d'ergots empêchant leur démontage intempestif. A vérifier avant l'achat.



-5-

# Exigences relatives à l'accessibilité des locaux et à la sécurité fonctionnelle



## 5.1 Accessibilité aux personnes handicapées

- **L'ensemble des locaux doit être accessible aux personnes handicapées.**
  - En l'absence d'ascenseur ou d'élévateur pouvant fonctionner en toutes circonstances, des rampes à faible pente doivent permettre cette accessibilité aux personnes à mobilité réduite.
  - Les sanitaires et les postes de travail administratif doivent être adaptés pour permettre l'accès aux personnes à mobilité réduite.
  - Les « décalages » dans le sol (fausses marches) supérieurs à 2 centimètres sont prohibés.
  - **On se réfèrera aux recommandations internationales d'accessibilité pour le détail des gabarits, hauteurs, pentes et équipements à choisir lors de la conception de l'établissement.**

## 5.2 Mesures de sécurité incendie et risques technologiques (1)

- **La stratégie la plus adaptée au contexte des établissements de santé haïtiens est de prévoir une sécurité passive réalisée avec des dispositions simples ne nécessitant pas beaucoup de maintenance.**
- Il s'agit principalement :
  - d'éviter la présence de matériaux inflammables ou dégageant des fumées toxiques ou abondantes ;
  - de suivre des règles strictes pour la conception et la réalisation des équipements pouvant être au départ d'étincelles ou de flammes (électricité, gaz et autres combustibles) ;
  - de permettre le désenfumage le plus direct possible vers l'extérieur de chaque local ;
  - de pouvoir isoler efficacement entre eux les différents secteurs d'un bâtiment ;
  - de protéger et optimiser les circuits d'évacuation ;
  - de disposer de moyens de détection et d'extinction de proximité ;
  - de permettre une intervention rapide des moyens « lourds » dans toutes les zones de l'établissement.

## 5.2 Mesures de sécurité incendie et risques technologiques (2)

- **Accessibilité des locaux**
- On retiendra que l'accès aux bâtiments doit respecter les exigences minimales suivantes :
  - Etablissements de premier niveau, ayant un étage maximum et n'assurant pas d'hébergement de nuit des patients : une voie permettant l'accès direct à chaque bâtiment.
  - Etablissements de second niveau ou de premier niveau assurant l'hébergement de nuit des patients ou ayant plus d'un étage : voies permettant l'accès aux façades opposées de chaque bâtiment.
  - Hôpitaux de troisième niveau : voies d'accès à toutes les façades de tous les bâtiments.
  - Les voies et ouvrages permettant le cheminement interne, ne doivent pas devenir inaccessibles ou impraticables par exposition à des ouvrages et arbres instables.

## 5.2 Mesures de sécurité incendie et risques technologiques (3)

- **Un isolement entre bâtiments doit être réalisé**, au choix :
  - création d'écran coupe-feu entre le bâtiment tiers et celui de l'établissement de santé ;
  - respect d'une distance minimum de 8 m entre les constructions de l'établissement de santé et le bâtiment tiers .
- La conception de l'écran coupe-feu doit être conforme aux exigences de l'IBC. Les minimums exigés sont :
  - écran coupe-feu de 30 minutes pour un établissement de niveau 1 ;
  - écran coupe-feu de 60 minutes pour un établissement de niveau 2 ;
  - écran coupe-feu de 120 minutes pour un établissement de niveau 3 ;
- Cet écran coupe-feu doit dépasser la toiture du bâtiment voisin de 1 mètre.

## 5.2 Mesures de sécurité incendie et risques technologiques (4)

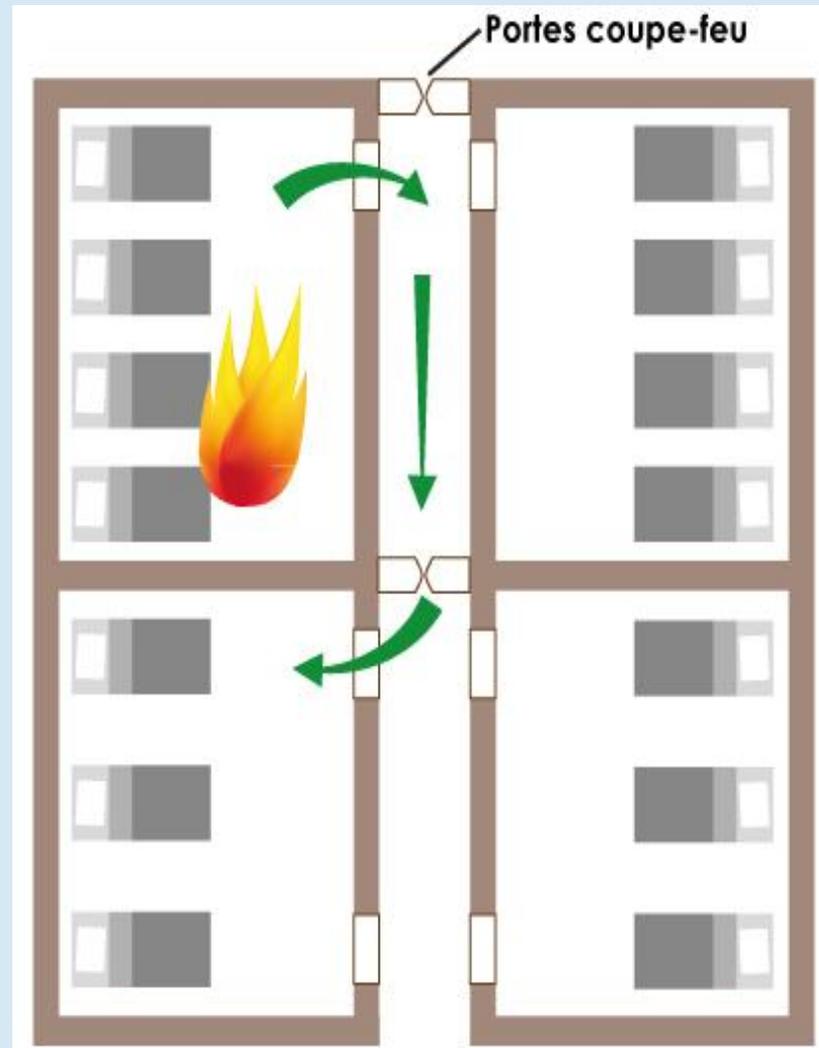
- **Résistance au feu des structures**
  - Etablissement de niveau 1 : structure stable au feu 30 minutes et plancher coupe-feu 30 minutes ;
  - Etablissement de niveau 2 : structure stable au feu 60 minutes et plancher coupe-feu 60 minutes ;
  - Etablissement de niveau 3 : structure stable au feu 90 minutes et plancher coupe-feu 90 minutes.

## 5.2 Mesures de sécurité incendie et risques technologiques (4)

- **Façades**
- Les matériaux de façades doivent être choisis, et mis en œuvre de manière à limiter, voire éviter leur combustion.
- Outre la stabilité et l'isolement des planchers, les dispositions en façade doivent empêcher le feu de se propager d'un étage à l'autre.

## 5.2 Mesures de sécurité incendie et risques technologiques (5)

- Compartimentage des grands bâtiments



## 5.2 Mesures de sécurité incendie et risques technologiques (6)

- **Locaux à risque**
  - Locaux présentant un risque plus élevé de départ d'incendies, d'explosion, ou d'émanation de gaz toxiques (réserves de fuel /gaz, de papier (archives), de produits potentiellement inflammables ou toxiques (dépôts, pharmacie, etc.))
  - Les locaux à risque doivent être isolés, par rapport aux autres locaux et leurs circulations accessibles au public, par des **parois coupe-feu de degré minimum 60 minutes, et des portes coupe-feu 30 minutes.**
  - **Les locaux à risque important**, (archives, stockage de gaz, groupe électrogène, etc. ) doivent être isolés des circulations par des sas (doubles portes coupe-feu).
  - Si possible, séparer les locaux à risque particulier des bâtiments de soins.

## 5.2 Mesures de sécurité incendie et risques technologiques (7)

- **Dégagements**

- Les règles de prévention des risques de panique des codes de construction, dont IBC, précisent les largeurs des dégagements et des portes, et le nombre d'issues vers l'extérieur en fonction des dimensions du bâtiment, du nombre de personnes qui peuvent s'y trouver et des activités qui s'y déroulent (notamment locaux de sommeil ou non).
- Le projet doit mentionner explicitement la « classification » qui découle de ces éléments et respecter strictement les exigences afférentes.
- Ces dégagements doivent être protégés du feu et des fumées et mener le plus directement possible vers l'extérieur avec un fléchage bien visible des issues

## 5.2 Mesures de sécurité incendie et risques technologiques (8)

- **Aménagements intérieurs**
  - Faux-plafonds, revêtements muraux et de sol, mobilier, etc.
  - Les matériaux utilisés doivent être certifiés ininflammables et ne générant pas de fumées toxiques par combustion sans flammes.
  - Les certificats doivent être fournis pour tous ces matériaux et mobiliers

## 5.2 Mesures de sécurité incendie et risques technologiques (9)

- **Désenfumage des locaux sans fenêtre**
  - Un système de désenfumage doit permettre que les fumées éventuelles puissent être évacuées vers l'extérieur, et prévenir leur propagation dans les locaux voisins et sur les circuits d'évacuation intérieurs.
  - Le désenfumage peut être mécanique ou naturel, sauf dans les escaliers où il est obligatoirement naturel.

## 5.2 Mesures de sécurité incendie et risques technologiques (10)

- **Fluides, gaines, passages de canalisations**
  - Tous les fluides doivent circuler dans des canalisations adaptées à leur nature et à leur température.
  - Les gaines ou les percements pour le passage des canalisations, ne doivent pas permettre la propagation des fumées d'un étage à l'autre, d'un local vers une circulation protégée, d'un local à risque vers des locaux où sont hébergés des patients.

## 5.2 Mesures de sécurité incendie et risques technologiques (11)

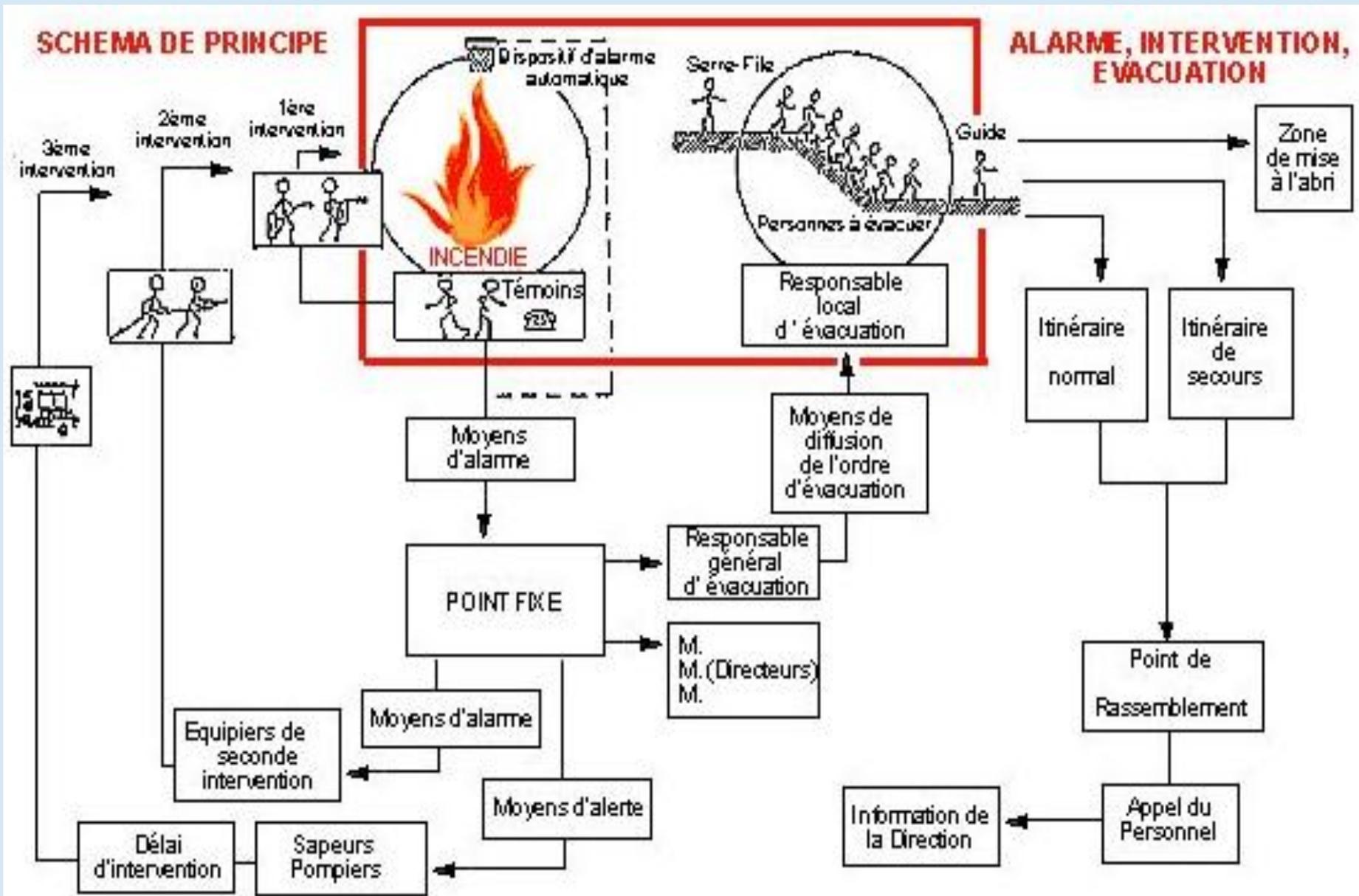
- **Autonomie et sécurité électriques**
  - Groupes électrogènes de secours, et stockage de carburant permettant d'avoir une réserve en cas d'interruption vraisemblable de service (durée appropriée au contexte d'isolement de l'établissement), et d'attendre une livraison ;
  - Utilisation de câbles électriques non propagateurs de flamme ;
  - Protections pour prévenir les court-circuit ;
  - Circuits de secours permettant de pallier immédiatement à toute faille due à un incendie sur une partie du circuit primaire ;
  - Mise en œuvre de blocs autonomes de sécurité permettant la signalisation lumineuse vers les sorties en cas d'incendie ou de coupure de courant.

## 5.2 Mesures de sécurité incendie et risques technologiques (12)

- **Alarme**

- Le système d'alarme choisi doit permettre de donner d'abord une alarme restreinte au personnel désigné pour les situations d'urgence, afin de permettre à celui-ci d'annuler l'alarme générale en cas de fausse alerte.
- L'activation du système de sécurité (par exemple la fermeture automatique des portes assurant le compartimentage qui sont tenues ouvertes en service normal) doit être mis en œuvre au moyen de systèmes d'asservissement simples (notamment déclenchement par défaut d'impulsion électrique).

# Principes du système d'alarme



## 5.2 Mesures de sécurité incendie et risques technologiques (13)

- **Moyens de secours internes**
  - L'importance et la nature des moyens de secours exigibles dépendent de la taille de l'établissement et de la nature des locaux et activités à risques.
  - Les **moyens de secours minimum exigibles** sont des extincteurs accessibles et régulièrement vérifiés, à chaque niveau et dans chaque compartiment, et dans chaque local à risque (dans ce cas, la nature du fluide d'extinction sera adaptée au combustible potentiel).
  - **Pour les grands bâtiments**, la mise en place de réseaux d'incendie armés et d'arroseurs peuvent être exigibles.

## 5.2 Mesures de sécurité incendie et risques technologiques (14)

- **Consignes de sécurité**
  - La sécurité nécessite une information détaillée du contexte et des consignes, accessible aux personnels (procédures à mettre en œuvre) et aux visiteurs (règles de mise en sécurité et d'évacuation, consignes d'utilisation du matériel).
  - L'affichage informatif (posters) et la signalisation des moyens de secours et issues doivent permettre à toute personne de se mettre en sécurité, voire de participer activement à la mise en sécurité d'autres occupants et visiteurs.

## 5.3 Stockage de l'eau

- Chaque établissement hospitalier doit disposer d'une réserve d'eau en amont de son réseau de distribution interne.
- L'alimentation des points d'eau secondaires doit pouvoir être coupée pour éviter tout gaspillage en période de pénurie.
- Le réservoir doit respecter les règles de construction parasismique et paracyclonique avec la sur-résistance d'un équipement de classe de risque IV.
- Il doit également être protégé du vandalisme.
- Le réservoir doit être dimensionné pour couvrir les besoins de trois journées minimum pour l'ensemble des postes.
- Les circonstances locales (éloignement, routes d'accès vulnérables) peuvent amener à augmenter cette capacité.

## 5.4 Stockage de carburant

- Chaque établissement hospitalier doit disposer d'une réserve de carburant pour faire fonctionner un groupe électrogène.
- Le dimensionnement de cette réserve, qui ne peut être inférieur à 3 journées de production d'électricité pour les besoins courants, peut être augmenté en fonction de l'isolement de l'établissement.
- Le réservoir doit respecter les règles de construction parasismique et paracyclonique avec la sur-résistance d'un équipement de classe de risque IV.
- L'ensemble des équipements d'alimentation du groupe électrogène (stockage, conduites, etc.) doit être conçu pour éviter toute pollution ou risque d'incendie (séismes, cyclones, vandalisme, etc.).
- La consommation quotidienne (éclairages et équipements prioritaires) doit être calculée pour justifier la capacité du groupe électrogène et du stockage.

## 5.5 Vérifications périodiques

- La maintenance est un point essentiel pour la bonne tenue des matériels liés à la sécurité dans l'hôpital (notamment : électricité, issues, désenfumage, climatisation / ventilation, groupes électrogènes et réserves de carburant, citernes d'eau, systèmes de sécurité éventuels).
- La vérification périodique de leur état et de leur fonctionnement respectera les exigences légales, et en outre les recommandations des fournisseurs.

# En forme de conclusion

- Le ***Guide pour la Construction d'Hôpitaux Résistants aux Aléas Naturels en Haïti*** ne se substitue pas à une compétence professionnelle dans les domaines exposés dans cette première partie.
- Au delà de cette initiation à son contenu, il est un aide mémoire utile et on y trouvera des informations détaillées sur des questions complémentaires, notamment :
  - Partie 3, chapitre 2: une liste très illustrée des contrôles formels de la qualité des constructions