



Pour la Construction d'Hôpitaux Résistants aux Aléas Naturels



Ministère de la Santé
Publique et de la Population

Pour la Construction d'Hôpitaux Résistants aux Aléas Naturels



REMERCIEMENTS

Le *Guide pour la Construction d'Hôpitaux Résistants aux Aléas Naturels* est le résultat d'une collaboration entre le Ministère de la Santé Publique et de la Population d'Haiti, l'Organisation Panaméricaine de la Santé, Bureau régional de l'Organisation Mondiale de la santé, et la Banque mondiale.

Ce projet a été conçu suite au tremblement de terre du 12 janvier 2010. Il est basé sur la volonté et l'espoir que la reconstruction d'Haiti intègre la mise en œuvre de mesures concrètes pour mieux protéger les infrastructures de santé face aux aléas auxquels le pays est confronté. Il s'agit non seulement de mettre les établissements de santé à l'abri des catastrophes mais également de leur donner les moyens d'être prêts à faire face aux situations d'urgence et à fournir à tout instant les soins qui sauvent des vies.

Le Ministère de la Santé Publique et de la Population d'Haiti et l'Organisation Panaméricaine de la Santé sont très reconnaissants à la *Facilité mondiale pour la prévention des risques de catastrophes et le relèvement*, (GFDRR) et au *Department For International Development*, DFID du Gouvernement Britannique, pour leur support financier sans lequel ce Guide n'aurait pu être élaboré.

Ce guide a été rédigé par la *Direction d'Organisation des Services de la Santé* (DOSS) du MSPP avec l'appui du programme de *préparation aux situations d'urgence et des secours en cas de catastrophe* de l'OPS/OMS, grâce à un effort conjoint de nombreux contributeurs. Son élaboration a été coordonnée par Dana Van Alphen (OPS), Gaetano Vivo (BM), Chantal Calvel (OPS), Roland Palme (MSPP), Tony Gibbs (Consultant), Didier Deris (Consultant), Patricia Balandier (Consultant), Anthony Farrell (Consultant), Gladys Christophe (Consultant) et Magali B. Jussome (OPS).

Le MSPP et l'OPS tiennent à remercier les nombreuses personnes qui ont donné des avis et des conseils durant la préparation de la présente publication et expriment leur reconnaissance aux ingénieurs du Groupe de Révision Technique notamment ceux du Ministère des Travaux Publics, Transports et Communications dont les précieuses contributions ont permis à ce document de voir le jour.

Membres du Groupe de Révision Technique :

Eddy A. Pierre-Louis, (MSPP/DSO)
Fritz Auplan, (MTPTC)
Jehanne C. Jean Parisien (LGL)
Joan D. Fomi (BM)
Marilyn Elie Joseph (MSPP/DOSS)
Patrick Chikel, (MSPP/DOSS)
Paulette Valentin Jean, (MSPP/UPE)
Rene Domersant Jr, (SPGRD/RHHF)
Suze Gesse, (MTPTC/SPGRD)
Telicio Noel (MSPP/DOSS)

PREAMBULE

Contexte

La catastrophe du 12 janvier 2010 en Haïti nous a rappelé que l'effondrement des constructions reste la cause principale des décès et pertes socio-économiques consécutives aux tremblements de terre. Les phénomènes cycloniques, plus fréquents, restent encore à l'origine de nombreux morts, blessés et sans abris du fait de la vulnérabilité des bâtiments et des grands équipements des zones affectées.

Les pays des Amériques, ainsi que 160 autres pays dans le monde, ont adopté une approche nationale de réduction des risques dite « Hôpitaux à l'abri des catastrophes », pour garantir à chaque nouvel hôpital un niveau de sécurité assurant sa fonctionnalité en situation de crise.

D'après le groupe consultatif sur la mitigation des désastres de l'OPS/OMS, *un hôpital sûr*, est un établissement de santé qui, entre ses murs, gardent des services accessibles et fonctionnels à pleine capacité, pendant et immédiatement après l'impact d'un aléa naturel.

Le présent guide est spécifiquement dédié à la construction des établissements de santé dans le contexte haïtien de la « reconstruction », consécutive au séisme de 2010. Ce programme ne concerne pas uniquement la région sinistrée, mais couvre l'ensemble du territoire national où sont reconsidérées les stratégies face aux phénomènes sismiques et cyclonique.

Un effort particulier doit être consacré aux établissements de santé, qui sont des bâtiments stratégiques en situation de crise sismique ou cyclonique. En effet, ils doivent non seulement garantir la sécurité des personnels et des patients présents, mais il leur revient également de prendre en charge, au plus vite et dans les meilleures conditions les victimes de la crise.

Ainsi, la conception et la réalisation des infrastructures de santé doivent leur permettre de rester fonctionnelles en toutes circonstances prévisibles. C'est pourquoi, elles font l'objet de recommandations spécifiques fondées non seulement sur les techniques de construction mais également sur un ensemble de savoir-faire et de « bon sens » qui leur permettront d'assurer, à tout moment, la continuité des services.

Réduire le risque passe par la mise en place de procédures de prévention et par le respect d'une réglementation dont l'objectif premier est de minimiser, voire d'éviter les préjudices humains et sociétaux.

Moyens

Les connaissances et les outils de prévention des risques liés aux aléas naturels sont en évolution constante. Les scientifiques et les techniciens doivent s'assurer que leur pratique quotidienne est à jour de ces connaissances. Les pouvoirs publics, quant à eux, ont pour rôle de faire appliquer des dispositions « réglementaires » qui permettent d'assurer un niveau de sécurité considéré comme minimum au regard des connaissances et des techniques disponibles. Il résulte de l'évolution des connaissances et des arbitrages politiques, la production de documents à caractère technique, indiquant la direction à suivre pour atteindre le niveau de sécurité et de fiabilité accessible.

Parmi la littérature dédiée à la réduction des risques de catastrophes, on distingue notamment:

- **Les études techniques et scientifiques** ; Leurs avancées motivent l'évolution de l'ensemble des documents cadres (codes, manuels, guides) qui en découlent.
- **Les codes et normes** ; Ils permettent d'arbitrer juridiquement les obligations et responsabilités professionnelles. Ces documents édictent les obligations sans les expliquer ou les motiver. Ils doivent réduire au minimum les marges d'interprétation par la clarté de leur rédaction.
- **Les documents pédagogiques** ; Supports de cours ou non, ils servent à former les professionnels à leurs obligations. Ces documents expliquent les tenants et les aboutissants des normes, partant des phénomènes physiques en jeu, et arrivant aux arbitrages réglementaires. Ils en précisent les marges et paramètres de sécurité retenus et leurs motivations financières, technologiques, sociétales et autres.
- **Les guides** ; Et c'est le cas du présent ouvrage, ont la vocation de faciliter le travail des professionnels déjà compétents dans leur domaine. Généralement spécialisés (types de constructions, régions exposées à des aléas, spécificités particulières, etc.), ils ont pour but, d'une part, de rappeler simplement les fondements de la réglementation relative à leur domaine d'application spécifique, et d'autre part, de résumer les précautions générales, les paramètres du calcul, les coefficients appropriés à chaque cas, et les obligations de mise en œuvre, afin d'éviter les omissions ou erreurs d'appréciation inacceptables dans leur contexte.

Ainsi, ce *Guide pour la Construction d'Hôpitaux Résistants aux Aléas Naturels*, n'a pas vocation à être autonome, car cela en ferait un document lourd et complexe à l'utilisation. Il s'agit plutôt d'un aide-mémoire à la programmation, à la conception et à la réalisation sécuritaire des ouvrages.

Cadre réglementaire

A la date du 12 janvier 2010, le projet de réalisation d'un Code de la Construction Haïtien était en phase de lancement. Suite à la catastrophe du 12 janvier, le gouvernement haïtien a dû revoir les priorités et en février 2011, en attendant la parution du code de construction officiel de la République d'Haïti, le Ministère des Travaux Publics, Transports et Communications (MTPTC) a approuvé les **Règles de calcul intérimaires pour les bâtiments en Haïti**, préparées par *SNC-Lavalin inc.*

De même, à la suite du tremblement de terre, le Ministère de la Santé Publique et de la Population (MSPP) a préparé un Plan de Santé du Secteur Intérimaire (2010-2011)¹ dans

¹ *Plan Intérimaire du Secteur Sante*, Ministère de la Sante Publique et de la Population, Mars 2010 (disponible sur:

lequel il met en exergue la nécessité d'intégrer la réduction des risques de catastrophes dans les projets de reconstruction des établissements de santé, mais aussi dans les opérations de réhabilitation. Ainsi le gouvernement haïtien a bénéficié d'un don du Department For International Development (DFID) du gouvernement britannique alloué à cet effet par le biais de la Banque Mondiale, pour confier à l'Organisation Panaméricaine de la Santé l'exécution d'un projet visant à augmenter la résilience des établissements de santé vis-à-vis des aléas naturels. Parmi les activités de ce projet figure la rédaction de spécifications techniques, adaptées au contexte haïtien, permettant d'assurer la sécurité structurelle ainsi que la fonctionnalité des établissements de santé pendant et après une catastrophe. Cette activité a été menée à bien grâce aux concours de spécialistes caribéens bien connus dans le domaine du génie parasismique, paracyclonique et anti-incendie qui ont réalisé de concert le présent guide.

A la date de préparation de ce guide, le **Code National du Bâtiment d'Haïti** (CNBH) est en cours de préparation. Il est basé sur des règles qui ont fait leurs preuves dans les pays exposés aux mêmes aléas qu'Haïti.

Dans l'attente de la publication du code national, le présent *Guide pour la Construction d'Hôpitaux Résistants aux Aléas Naturels* s'appuie sur le niveau d'exigences sécuritaires du futur code haïtien, et des *Règles de calcul intérimaires pour les bâtiments en Haïti* encore en vigueur à la date de rédaction du guide.

Contenu

Le présent Guide synthétise les dispositions parasismiques et paracycloniques à respecter pour la construction d'établissements de santé afin que ceux-ci soient opérationnels avant, pendant et après une crise. Ces dispositions sont issues de règlements nationaux et internationaux compatibles avec le contexte géophysique haïtien, mais aussi de recommandations de groupements de professionnels expérimentés dans les sujets abordés.

La typologie / hiérarchie des établissements de santé publics et privés en Haïti, ainsi que les besoins spécifiques au contexte du pays ont été pris en compte. Cependant certaines dispositions relatives à des éléments rares en Haïti, mais en développement dans les établissements de santé de pays étrangers, n'ont volontairement pas été écartées dans l'éventualité où un projet de construction neuve présenté au MTPTC et au MSPP intégrerait l'un de ces éléments. Lorsque nécessaire, des exigences plus sévères que celles du projet de CNBH sont proposées et explicitées dans un commentaire, en veillant toutefois à ce qu'elles restent adaptées au contexte haïtien.

Comme précisé plus haut, ce guide n'est pas une aide au dimensionnement des structures, ni un cours ; il est rédigé de manière à pouvoir être utilisé assez simplement par des ingénieurs, architectes et techniciens compétents, en charge, soit de la conception et des travaux de construction, d'équipement, et dans une moindre mesure de réhabilitation d'établissement de santé, soit de la maîtrise d'ouvrage et de la supervision de ce même type de travaux.

Le Guide est organisé en cinq parties :

- Eléments contextuels :
 - *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 ;*

- *Eléments pour la démarche de conception et le calcul, qui découlent du contexte et des exigences :*
- *Eléments formels pour l'application d'IBC 2009 et ASCE 7-05 en Haïti.*
- **Prescriptions techniques pour les projets de construction neuve :**
 - *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.*
- **Termes de référence et éléments formels du contrôle technique :**
 - *Exigences pour la préparation des contrats de mission des contrôleurs techniques ;*
 - *Vérifications formelles exigibles sur chantier.*
- **Evaluation et entretien des constructions existantes en vue de la réduction de leur vulnérabilité :**
 - *Eléments des termes de référence pour la maintenance des bâtiments existants ;*
 - *Eléments des termes de référence des diagnostics de vulnérabilité des constructions anciennes.*

Cette publication traduit le savoir-faire et les compétences d'une communauté d'architectes, d'ingénieurs et de maîtres d'œuvre de la Caraïbe. En ce sens, elle contribuera à soutenir tous ceux qui dans un souci d'excellence travaillent à conférer aux hôpitaux une résistance et une fonctionnalité efficace lors de catastrophes liées aux aléas naturels.

SOMMAIRE GENERAL

1 ^{ère} PARTIE : ELEMENTS CONTEXTUELS	11
1. Contextes géophysiques et climatiques haïtiens contraignant les règles de construction	17
1.1. Contexte sismique d'Haïti dans la Caraïbe	17
1.2. Contexte cyclonique d'Haïti dans la Caraïbe	26
2. Exigences de comportement des bâtiments de santé et cadre réglementaire pour leur construction en Haïti.....	32
2.1. Exigences de comportement en situation courante	32
2.2. Exigences de comportement en situation sismique	32
2.3. Exigences de comportement en zone cyclonique.....	35
2.4. Normes et directives réglementaires en vigueur.....	35
2.5. Cadre national pour la classification des établissements de santé en Haïti	36
2.6. Paramètres typologiques, exigences techniques et limitations	38
2.7. Polyvalence en prévision des afflux de victimes et de soignants	40
3. Exigences complémentaires liées aux conditions locales	41
3.1. Notion d'aléas locaux	41
3.2. Eléments de l'aléa sismique local.....	41
3.3. Eléments des aléas climatiques	54
3.4. Principes devant guider le choix d'un terrain	60
3.5. Maîtrise de l'impact des établissements de santé sur l'environnement.....	61
3.6. Etudes de sol préliminaires à la construction de tout projet d'établissement de santé	63
4. Eléments pour la démarche de conception et de calcul	65
4.1. Intégration des exigences sécuritaires aux différentes phases de réalisation d'un établissement de santé	65
4.2. Actions sismiques et cycloniques sur les bâtiments et stratégies de résistance	67
4.3. Calculs et analyses	76
5. éléments formels pour l'application d'IBC 2009 et ASCE 7-05 en Haïti.....	81

2 ^{ème} Partie : prescriptions techniques pour les projets de construction neuve	93
1. Exigences formelles pour les matériaux à utiliser	99
1.1. Critère général : Respect des critères des méthodes de calcul utilisées.....	99
1.2. Critères particuliers : Adaptation au contexte	99
1.3. Le béton armé	100
1.4. La maçonnerie	104
1.5. L'acier pour charpente métallique.....	106
1.6. Le bois	107
1.7. Le verre.....	107
2. Exigences relatives à la conception générale de la structure.....	109
2.1. Principes généraux pour les fondations.....	109
2.2. Fondations superficielles	110
2.3. Fondations profondes.....	114
2.4. Exigences générales pour la superstructure (au dessus des fondations)	118
2.5. Exigences de conception propres au risque sismique	120
2.6. Exigences complémentaires propres au risque cyclonique.....	123
2.7. Méthodes de protection spécifiques contre les séismes	125
3. Exigences techniques pour la sécurité des éléments non structuraux	126
3.1. Généralités.....	126
3.2. Façades	126
3.3. Eléments situés en couverture des toitures	128
3.4. Menuiseries.....	129
3.5. Faux plafonds et réseaux suspendus	130
3.6. Faux planchers.....	131
3.7. Revêtements de sols.....	131
3.8. Escaliers et Ascenseurs	132
3.9. Plomberie et électricité	133
3.10. Murs de clôture.....	134
4. Exigences pour les équipements.....	135
4.1. Généralités.....	135
4.2. Equipements médicaux	138
4.3. Equipements non médicaux	141
5. Exigences relatives à l'accessibilité et à la sécurité fonctionnelle	143
5.1. Accessibilité aux personnes handicapées	143
5.2. Mesures de sécurité incendie et technologique	143
5.3. Stockage de l'eau.....	150
5.4. Stockage de carburant	151

3 ^{ème} partie : Termes de référence et éléments formels du contrôle technique.....	153
1. Exigences pour la préparation des contrats de mission des contrôleurs techniques....	157
1.1. Introduction : Cadre du contrôle technique.....	157
1.2. Définition des missions de contrôle technique.....	158
1.3. Modalités d'intervention du bureau de contrôle.....	161
2. vérifications formelles exigibles sur chantier.....	168
2.1. Préambule.....	168
2.2. Fondations superficielles.....	168
2.3. Joints parasismiques.....	174
2.4. Béton armé de structure.....	174
2.5. Murs en maçonnerie chaînée.....	184
2.6. Charpente métallique.....	185
2.7. Charpente bois.....	187
2.8. Couverture des charpentes en toiture.....	188
2.9. Étanchéité des toitures terrasse.....	188
2.10. Scellement des cadres des menuiseries extérieures.....	189
2.11. Electricité.....	189
2.12. Plomberie.....	189
4 ^{ème} partie : Evaluation et entretien des constructions existantes en vue de la réduction de leur vulnérabilité.....	191
1. Eléments des termes de référence pour la maintenance des bâtiments existants.....	195
1.1. Contexte.....	195
1.2. Système d'entretien proposé.....	195
1.3. Planification des activités d'entretien.....	196
1.4. Vérification du clos et du couvert.....	196
1.5. Organisation de l'entretien « courant » et du personnel nécessaire.....	197
1.6. Check-lists pour les opérations d'entretien.....	198
1.7. Formulaire de rapport mensuel.....	198
2. Eléments des diagnostics de vulnérabilité des constructions anciennes.....	203
2.1. Contexte.....	203
2.2. Approche probabiliste et analyse de la vulnérabilité aux séismes et aux cyclones.....	203
2.3. Les quatre niveaux d'analyse d'un établissement de santé dans son contexte.....	205
2.4. Evaluation de la vulnérabilité structurelle.....	206
2.5. Evaluation de la vulnérabilité des éléments non structuraux et des équipements.....	210

5 ^{ème} PARTIE : Annexes	211
1. Annexe : Explication simplifiée du phénomène d’amplification des oscillations sismiques dans les bâtiments par résonance	212
2. Annexe : Notion de ductilité et coefficients de comportement	214
3. Annexe : Charges généralement utilisées pour le calcul de dimensionnement des hopitaux	216
4. Annexe : Note d'hypothèses	218
5. Annexe : Questionnaire pour l’inventaire des potentielles défaillances de sécurité des établissements de santé en Haïti	222
6. Bibliographie	256

1^{ère} PARTIE : ELEMENTS CONTEXTUELS

La première partie du Guide pour la Construction d'Hôpitaux Résistants aux Aléas Naturels rassemble et explicite les éléments contextuels qui définissent les niveaux d'exigences à retenir pour les projets et leurs paramètres.

Elle est divisée en cinq sous-parties :

- *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.*

Introduction

Les séismes et les ouragans sont des événements naturels qui conduisent parfois à des catastrophes par négligences d'origine humaine : mauvaises implantations (sites dangereux) et conception de bâtiments inappropriée.

Le contrôle de l'impact environnemental des futurs établissements de santé, comme celui de l'impact des aléas naturels et anthropiques sur leur fonctionnement, doit être obligatoirement intégré dans les termes de référence des projets.

La majeure partie des îles de la Caraïbe est menacée par les cyclones et les séismes. La protection des établissements de santé contre leurs effets n'est pas seulement un but à atteindre, c'est une obligation réglementée.

Le territoire haïtien est vaste et différencié, il est divisé en zones plus ou moins exposées aux séismes et aux cyclones. Ceci a un impact sur les résistances requises et sur le coût des constructions.

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

Chaque site d'implantation est particulier et impose des questionnements. 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 ?

Une fois les vérifications faites dans tous les domaines précités, et le terrain approuvé, le projet d'architecture et de structure peuvent commencer. Il sera conditionné par les résultats des études préliminaires, et les paramètres du calcul en dépendront pour partie.

Ce sont toutes ces problématiques liées au contexte qui constituent cette première partie du guide. Le cadre réglementaire et/ou technique des problèmes est exposé. Les vérifications préliminaires à chaque projet doivent être réalisées par des professionnels compétents connaissant le contexte.

Contenu de la 1^{ère} partie

1 ^{ère} PARTIE : ELEMENTS CONTEXTUELS	11
1. Contextes géophysiques et climatiques haïtiens contraignant les règles de construction	17
1.1. Contexte sismique d'Haïti dans la Caraïbe	17
1.1.1. Phénomène sismique	17
1.1.2. Cadre tectonique de la Caraïbe	17
1.1.3. Notion de cycle sismique d'une faille active	18
1.1.4. Notion de Magnitude d'un séisme	18
1.1.5. Etudes de l'aléa sismique	19
1.1.6. Événements sismiques historiques dans la Caraïbe	20
1.1.7. Contexte national haïtien de la sismicité et valeurs de calcul régionales	22
1.2. Contexte cyclonique d'Haïti dans la Caraïbe	26
1.2.1. Phénomène cyclonique	26
1.2.2. Contexte cyclonique de la Caraïbe	28
1.2.3. Echelle de Saffir/Simpson	28
1.2.4. Etudes de l'aléa de vent cyclonique	29
1.2.5. Événements cycloniques historiques dans la Caraïbe	29
1.2.6. Contexte national haïtien de l'aléa de vents cycloniques	29
2. Exigences de comportement des bâtiments de santé et cadre réglementaire pour leur construction en Haïti	32
2.1. Exigences de comportement en situation courante	32
2.2. Exigences de comportement en situation sismique	32
2.2.1. Niveaux de performance concernant la structure et son exploitation	32
Non effondrement de la structure et sauvegarde des vies	34
Limitation des dommages structuraux	34
Limitation des dommages non structuraux	34
Fonctionnement des équipements	34
2.3. Exigences de comportement en zone cyclonique	35
2.4. Normes et directives réglementaires en vigueur	35
2.4.1. En termes de construction	35
2.4.2. En termes d'équipements	36
2.5. Cadre national pour la classification des établissements de santé en Haïti	36
2.5.1. Préambule	36
2.5.2. Classification sanitaire nationale	36
2.5.3. Catégories d'importance des constructions sanitaires au regard de la sécurité en situation de crise	37
2.6. Paramètres typologiques, exigences techniques et limitations	38

2.7.	Polyvalence en prévision des afflux de victimes et de soignants	40
3.	Exigences complémentaires liées aux conditions locales	41
3.1.	Notion d'aléas locaux	41
3.2.	Eléments de l'aléa sismique local.....	41
3.2.1.	Généralités.....	41
3.2.2.	Effets directs des séismes.....	42
3.2.3.	Effets de site	43
3.2.4.	Effets induits par les secousses sismiques.....	47
3.3.	Eléments des aléas climatiques	54
3.3.1.	Généralités.....	54
3.3.2.	Effets dus au vent	54
3.3.3.	Effets dus aux pluies	56
3.3.4.	Effets dus à la marée de tempête et à l'état de la mer.....	58
3.3.5.	Sècheresse prolongée	60
3.4.	Principes devant guider le choix d'un terrain	60
3.5.	Maîtrise de l'impact des établissements de santé sur l'environnement.....	61
3.5.1.	Principes	61
3.5.2.	Collecte, tri et conditionnement des déchets	62
3.5.3.	Site de stockage et élimination des déchets.....	62
3.5.4.	Evacuation des eaux usées.....	62
3.6.	Etudes de sol préliminaires à la construction de tout projet d'établissement de santé	63
3.6.1.	Généralités.....	63
3.6.2.	Niveaux d'investigation en fonction de l'avancement du projet.....	63
3.6.3.	Moyens de reconnaissance.....	64
4.	Eléments pour la démarche de conception et de calcul.....	65
4.1.	Intégration des exigences sécuritaires aux différentes phases de réalisation d'un établissement de santé.....	65
4.2.	Actions sismiques et cycloniques sur les bâtiments et stratégies de résistance	67
4.2.1.	Généralités sur les actions sismiques et cycloniques	67
4.2.2.	Action sismique sur les bâtiments	67
4.2.3.	Effet du vent sur les bâtiments	70
4.3.	Calculs et analyses	76
4.3.1.	Préambule.....	76
4.3.2.	Paramètres de l'action sismique.....	76
4.3.3.	Charges liées aux vents cycloniques.....	78
4.3.4.	Calcul aux pluies cycloniques.....	80
4.3.1.	Notes d'hypothèses.....	80

5. éléments formels pour l'application d'IBC 2009 et ASCE 7-05 en Haïti.....	81
5.1. Préambule.....	81
5.2. Précisions et modifications pour l'application d'IBC 2009 en Haïti	82
5.3. Précisions et modifications pour l'application d'ASCE 7-05 en Haïti	86

1. CONTEXTES GÉOPHYSIQUES ET CLIMATIQUES HAÏTIENS CONTRAIGNANT LES RÈGLES DE CONSTRUCTION

1.1. Contexte sismique d'Haïti dans la Caraïbe

1.1.1. Phénomène sismique

Les plaques continentales et océaniques qui constituent la surface solide du globe terrestre se déplacent les unes par rapport aux autres sous l'effet des courants thermiques qui animent le magma visqueux situé en profondeur. Ce phénomène est étudié sous le nom de « *Tectonique des plaques* ».

Les déplacements relatifs entre ces plaques sont gênés par des forces résistantes (principalement la friction) qui empêchent un glissement régulier sur les limites. Ces blocages génèrent des déformations et des contraintes croissantes à l'intérieur des plaques. Les contraintes croissent d'autant plus vite (traction, compression, cisaillement, etc.) que l'on est à proximité immédiate des limites inter-plaques. Lorsque le niveau de contrainte admissible est atteint, une rupture brutale, un déplacement, se produit sur un plan du substratum rocheux : un séisme sur une faille.

Ces ruptures se produisent donc essentiellement dans les zones situées à proximité des limites entre les plaques, là où les tensions sont les plus élevées. Ces régions sont considérées comme « sismiques ». Les réglementations nationales les considèrent comme plus ou moins sismiques en fonction des degrés de magnitude possibles et de la période de retour des événements potentiellement destructeurs.

1.1.2. Cadre tectonique de la Caraïbe

Le cadre tectonique de la Caraïbe est illustré par la carte suivante qui montre les limites approximatives de la plaque Caraïbe et les déplacements relatifs des plaques voisines.

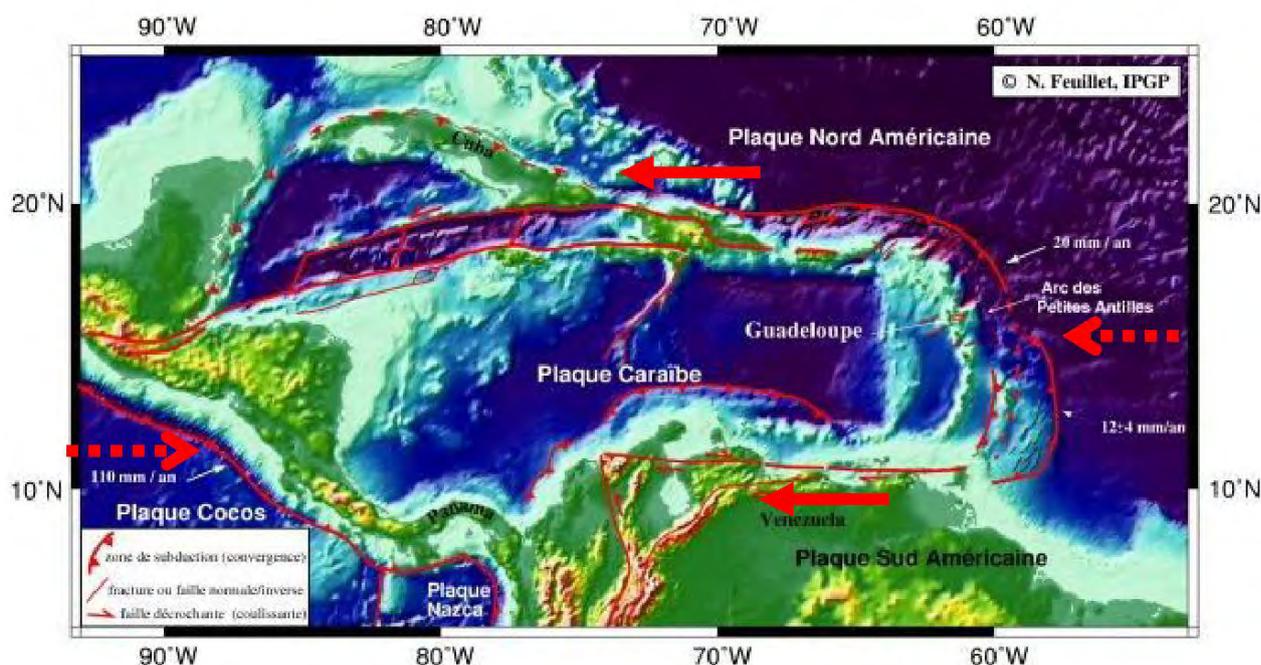


Figure 1 : Carte de la plaque Caraïbe. Les limites (grands systèmes de failles) sont représentées en rouge. Les flèches représentent les déplacements relatifs des plaques voisines (en considérant la plaque Caraïbe comme immobile). En pointillés les plaques plongeantes (D'après document Nathalie Feuillet pour IPGP).

Comme on peut le voir, toutes les îles de la Caraïbe, à l'exception des Bahamas, sont situées à proximité de ces limites. Le déplacement entre la plaque Caraïbe et les plaques adjacentes Nord-Américaine et Sud-Américaine, se fait à une vitesse d'environ 20 millimètres par an.

Une activité sismique modérée, mais potentiellement très forte, existe le long de ces limites inter-plaques. Sur la frontière nord, qui concerne Haïti, des tremblements de terres violents, généralement de faible profondeur¹, sont générés avec des périodes de retour assez longues. On note également l'existence de séismes intraplaques, sur des failles secondaires, à proximité des limites de la plaque Caraïbe.

1.1.3. Notion de cycle sismique d'une faille active

Chaque faille a un cycle sismique qui lui est propre et qui dépend de son mécanisme, de la vitesse de progression des contraintes, de la nature des roches et de sa géométrie. Le cycle de retour des séismes de différentes magnitudes de chaque faille obéit donc à des lois de probabilité qui permettent d'évaluer l'aléa² sismique régional.

CYCLE SISMIQUE D'UNE FAILLE SISMOGENE:

Phases d'un cycle sismique sur une faille sismogène : Processus en 3 étapes:

- Accumulation de contraintes (des décennies, voire des siècles) ;
- Déclenchement de la rupture au delà du seuil de résistance des roches ;
- Arrêt de la rupture sismique (quelques secondes plus tard, ou plus justement après une série de « répliques », c'est à dire d'autres ruptures de proximité avant « équilibre » des contraintes et des résistances).

Cycle sismique d'une faille : Le cycle sismique d'une faille est une succession de périodes d'augmentation des contraintes et de ruptures brutales dont il faut établir la périodicité pour définir son activité.

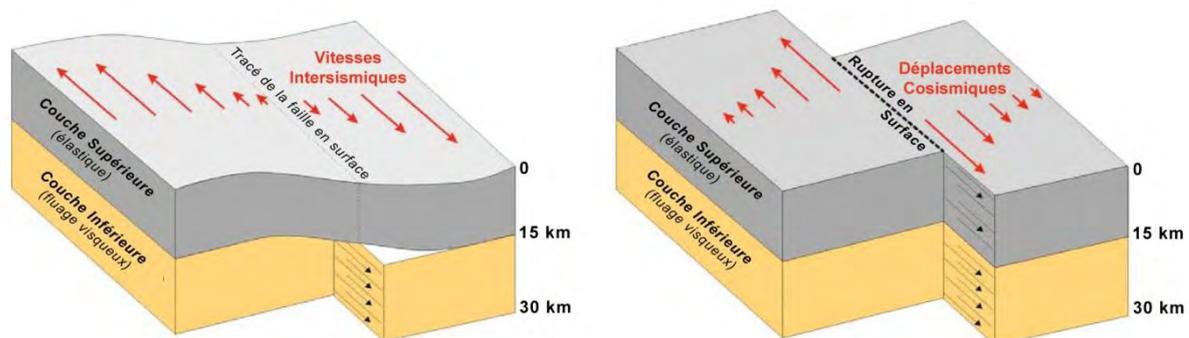


Figure 2 : Représentation schématique du cycle sismique. (Document Prim.net)

A gauche, déformation schématique peu de temps avant le séisme. A droite, situation après le séisme.

1.1.4. Notion de Magnitude d'un séisme

La Magnitude d'un séisme (M, exprimée en chiffres arabes) est une fonction logarithmique (donc pas une échelle à degrés d'intervalles réguliers) représentative de la quantité d'énergie rayonnée par la source sismique (rupture) sous forme de chaleur et d'ondes élastiques (déformations réversibles). Le tableau ci-après donne une corrélation entre les ordres de grandeur de la rupture sismogène et de la magnitude du séisme.

¹ Sur les zones de subduction, à l'est (Petites Antilles) et à l'ouest (Côte Pacifique), les ruptures sismiques peuvent être profondes.

² Aléa : probabilité qu'un événement d'une intensité donnée survienne pendant une durée donnée.

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

Figure 3 : Quand on passe d'un degré de magnitude à l'autre, on multiplie l'énergie par 33 environ, soit 1 000 pour 2 degrés (Source BRGM)

Il n'y a qu'une seule valeur de magnitude pour un séisme donné (ne pas confondre avec l'intensité locale qui décroît globalement avec la distance et augmente localement sur certains sites). Puisqu'il s'agit d'une fonction logarithmique, le second chiffre (exemple 7.3) n'est pas une décimale.

1.1.5. Etudes de l'aléa sismique

L'évaluation de l'aléa sismique régional passe par la caractérisation des failles : localisation, géométrie, mécanisme, etc., de façon à pouvoir leur associer une magnitude maximum (pour déterminer l'aléa sismique déterministe) et des magnitudes possibles pour des périodes déterminées (aléa sismique probabiliste). L'étude du cycle sismique des failles nécessite donc une collecte de données par différents moyens.

Cette collecte de données passe entre autres par l'observation de la microsismicité³ actuelle, des déformations du sol (GPS) et par des recherches sur les indices de la sismicité passée.

Pour les ouvrages à risque normal, on ne peut demander aux populations de se protéger contre un événement qui ne surviendra que tous les 5 000 ans, même si l'événement est susceptible de se produire « demain ». Par l'étude des cycles sismiques des différents domaines sismotectoniques (Lois de fréquence-magnitude) on peut identifier la valeur de la magnitude maximum pouvant être associée à un laps de temps choisi.

L'arbitrage politico-économique définit quel est le laps de temps retenu pour la réglementation. Par exemple, pour les ouvrages à risque normal de catégorie d'importance 2 (bâtiments courants), l'Eurocode n°8 retient une période de référence de 475 ans, soit une probabilité de 10% pour que la valeur d'accélération affectée à une zone soit dépassée sur une période de 50 ans (valeurs issues du calcul probabiliste).

Le laps de temps retenu par la puissance publique pour l'application réglementaire de ce type de zonage est un arbitrage politique dépendant des conditions économiques. En effet, si l'on retient une période plus longue, on prend en considération des magnitudes plus élevées dont la récurrence est moindre, et par conséquent l'action sismique de calcul sera plus élevée et le coût de la construction plus important. Pour les bâtiments à enjeux plus élevés comme les établissements de santé, cette exigence est aggravée par le biais d'un coefficient d'importance⁴.

Sous-estimer ainsi un peu l'aléa pour les constructions courantes ne présente pas de risque si les bâtiments peuvent s'endommager sans s'effondrer, et en dissipant une partie de l'énergie sismique (ductilité). Pour les hôpitaux l'endommagement n'est pas admis.

³ Etude de tous les petits séismes, souvent non ressentis, enregistrés par des appareils très sensibles.

⁴ Ceci revient à prendre en compte des valeurs sismiques plus fortes. Cette notion est présentée plus loin avec les paramètres du calcul.

1.1.6. Événements sismiques historiques dans la Caraïbe

C'est depuis le début de la période coloniale (XVI^{ème} siècle), avec les échanges épistolaires et comptables transatlantiques, que l'histoire sismique de la Caraïbe peut être retracée avec une relative précision.

La carte suivante situe les principaux séismes destructeurs connus de l'ère post-colombienne.

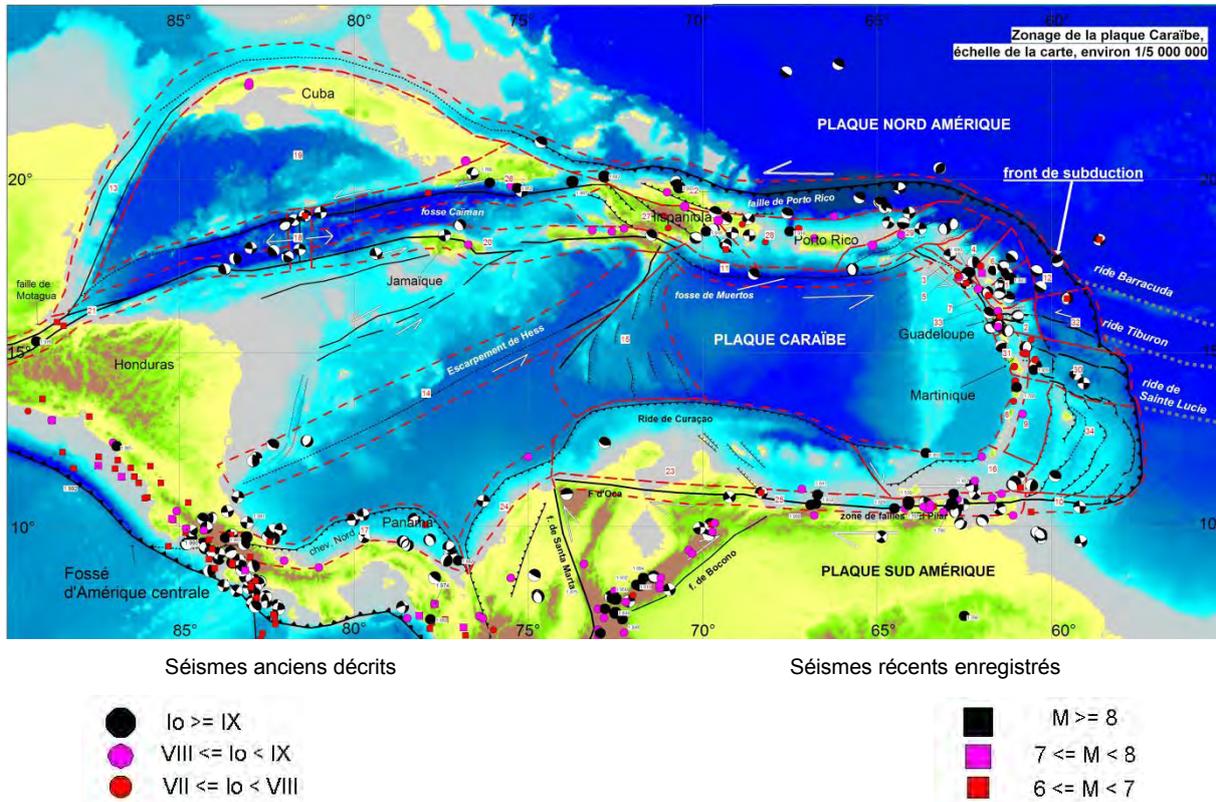


Figure 4 : Carte sismotectonique de la plaque Caraïbe avec localisation des séismes forts à caractère historique. (Document BRGM)

Le tableau suivant (extrait de la base de données du NOAA-USA) liste de façon chronologique quelques séismes historiques significatifs de la Caraïbe insulaire. Cette liste n'est volontairement pas exhaustive, elle présente plus particulièrement les séismes connus en Haïti ou à proximité, et les grandes catastrophes de façon plus générale. Ils sont classés de façon chronologique et la liste reproduite a été arrêtée fin 2007. Plus les événements sont anciens, moins il est possible de les référencer avec précision.

N. B. : La colonne « Tsu » indique la présence d'un tsunami, même d'amplitude modérée.

Année	Mo	Jr	Tsu	Lieu	Profond.	Magn.	Morts	Pertes \$Mill
1690	4	6		ANTIGUA	33	8.0		
1692	6	7	Tsu	JAMAICA: PORT ROYAL	10		2000	
1701	11	9		HAITI: LEOGANE,PETIT GOAVE				
1751	9	15	Tsu	REPUBLIQUE DOMINICAINE & HAITI: PORT-AU-PRINCE				
1766	6	12	Tsu	CUBA: SANTIAGO DE CUBA	25	6.8	40	
1770	6	3	Tsu	HAITI: PORT-AU-PRINCE	10		200	
1771	9	3		JAMAICA: PORT ROYAL,KINGSTON				
1775				HAITI				

1780	10	3	Tsu	JAMAICA: SAVANNA LA MAR			300	
1783				DOMINICAN REPUBLIC: SANTIAGO DE LOS CABALLEROS				
1784	7	29		HAITI: PETIT GOAVE, LEOGANE, PORT-AU-PRINCE				
1787	10	27	Tsu	JAMAICA: MONTEGO BAY				
1788	10	12		SAINT LUCIA			900	
1793	4	12		HAITI: SANTO DOMINGO (ST DOMINGUE)				
1810	10			CUBA: HAVANA,SANTIAGO DE CUBA				
1812	11	11	Tsu	JAMAICA: KINGSTON				
1824	4	10		JAMAICA: KINGSTON				
1826	9	18		CUBA: SANTIAGO DE CUBA				
1831	8	11		BARBADOS, SAINT VINCENT, DOMINICA, ANTIGUA			3000	
1831	12	3	Tsu	TRINIDAD & ST. CHRISTOPHER		7.0		
1839	1	11		MARTINIQUE: FORT-DE-FRANCE, ST PIERRE; CASTRIES	33	7.8	390	
1842	5	7	Tsu	HAITI: CAP-HAITIEN		8.1	5000	
1843	2	8	Tsu	GUADELOUPE: POINTE-A-PITRE	33	8.3	5000	
1860	4	8	Tsu	HAITI: ANSE-A-VEAU				
1861	4	27		JAMAICA: KINGSTON				
1864	5	19		HAITI				
1867	11	18	Tsu	VIRGIN ISLANDS	33	7.5		
1887	9	23	Tsu	HAITI: MOLE SAINT NICOLAS				
1897	12	29		DOMINICAN REPUBLIC: SANTO DOMINGO				
1899	6	14		JAMAICA	60	7.8		
1900	6	21		CUBA	60	7.9		
1907	1	14	Tsu	JAMAICA: KINGSTON		6.5	1000	30.000
1916	4	24		DOMINICAN REPUBLIC: SANTO DOMINIGO	80	7.2		
1918	10	11	Tsu	PUERTO RICO: MONA PASSAGE	60	7.3	76	29.000
1943	7	29		PUERTO RICO: SAN JUAN		7.8		
1946	8	4	Tsu	DOMINICAN REPUBLIC: NORTHEASTERN COAST	60	8.1		
1946	8	8	Tsu	DOMINICAN REPUBLIC: NORTHEASTERN COAST	50	7.9		
1953	1	25		HAITI		5.7	2	
1953	5	31	Tsu	DOMINICAN REPUBLIC: PUERTO PLATA	33	7.2		
1994	3	2		HAITI: SAINT-LOUIS DU NORD	59	5.4	4	
2003	9	22		DOMINICAN REPUBLIC: PUERTO PLATA, SANTIAGO	10	6.4	3	
2004	11	21	Tsu	GUADELOUPE: BASSE-TERRE, LES SAINTES	14	6.3	1	
2006	9	29		TRINIDAD: GASPARILLO	52	5.5	1	
2007	11	29		MARTINIQUE	148	7.4	1	

Le niveau de sismicité pour la plupart de la région Caraïbe est donc considéré comme modéré à fort. Il ne peut donc être négligé par les constructeurs.

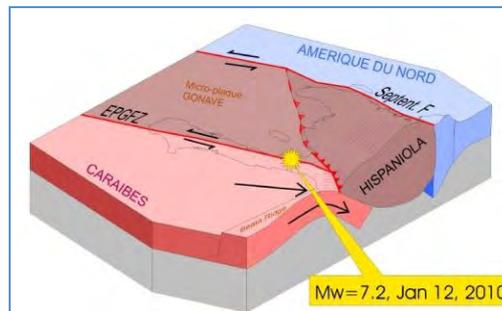
1.1.7. Contexte national haïtien de la sismicité et valeurs de calcul régionales

1.1.7.1. Contexte tectonique national

L'île d'Hispaniola (Haïti et République Dominicaine) se trouve à la limite entre la plaque Caraïbe et la plaque Amérique du Nord.

L'activité sismique historique en Haïti est caractérisée par des séismes de magnitudes possiblement élevées ayant une période de retour assez longue. L'île est située sur la frontière tectonique « transformante senestre⁵ » entre la plaque Caraïbe et la plaque Nord-Américaine.

Cette frontière est caractérisée en Haïti par deux grands systèmes de failles Est – Ouest en *décrochement*⁶, l'un longeant le Nord du pays (Faille Septentrionale) et l'autre en traversant le Sud (Faille d'Enriquillo). Il faut noter dans la région une composante de *subduction*⁷ de la plaque Caraïbe sous la plaque Nord-Américaine (faille de Neyba-Matheux).



Figures 5 : Représentation axonométrique. (Source : Mercier de Lépinay, CNRS - Géoazur, Univ. de Nice-Sophia Antipolis)

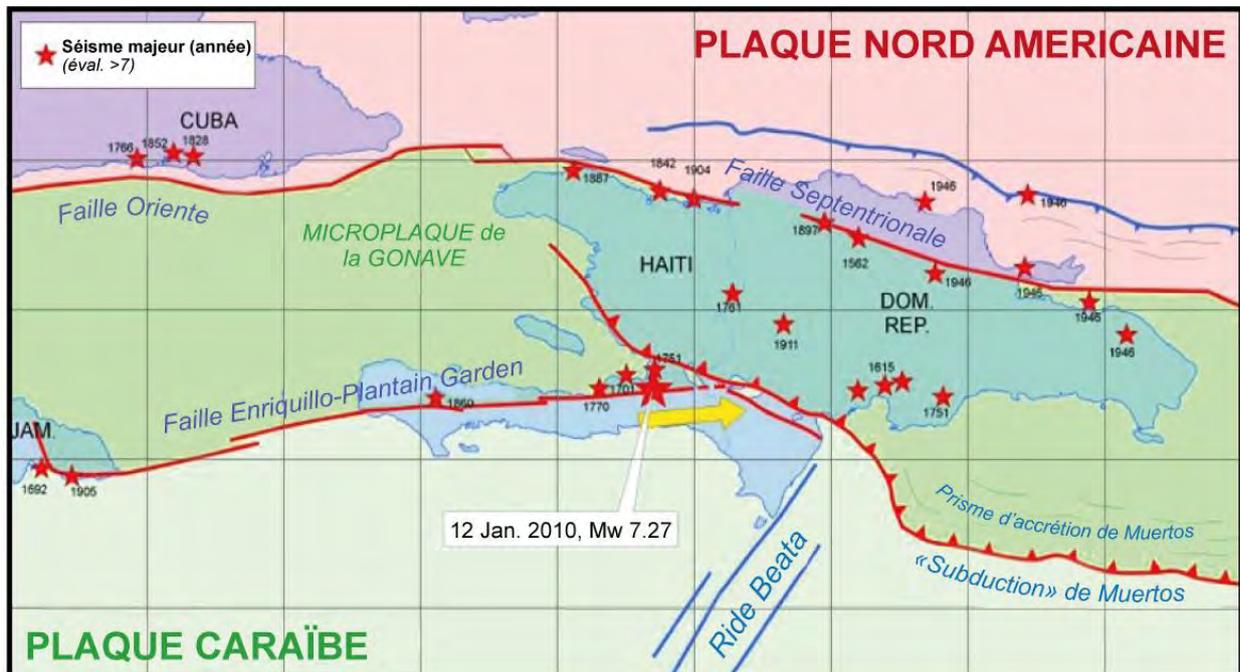


Figure 6 : Carte des principales failles en Haïti. (Source : Mercier de Lépinay, CNRS - Géoazur, Univ. de Nice-Sophia Antipolis)

⁵ La plaque Nord-Amérique coulisse vers l'ouest (la gauche) si on la regarde depuis la Caraïbe. De même la plaque Caraïbe coulisse vers l'Est (la gauche) si on la regarde depuis l'Amérique du Nord.

⁶ Les deux plaques coulissent l'une par rapport à l'autre.

⁷ Une plaque glisse sous l'autre.

La lenteur du déplacement entre les deux plaques⁸ explique la rareté des séismes majeurs. Cette rareté a malheureusement amené à négliger un aléa sismique potentiellement élevé.

L'événement sismique historique majeur sur la faille d'Enriquillo a eu lieu en 1751 et a provoqué de graves destructions aux environs de Port-au-Prince notamment. En 1770 la région était à nouveau frappée par les destructions d'un séisme dont l'épicentre était plus à l'ouest.

L'événement sismique majeur historique sur la faille septentrionale a détruit Le Cap Haïtien en 1842.

Le séisme du 12 janvier 2010 semble s'être produit sur une faille secondaire, proche de la faille d'Enriquillo, en cours d'identification au moment de la rédaction de ce guide.

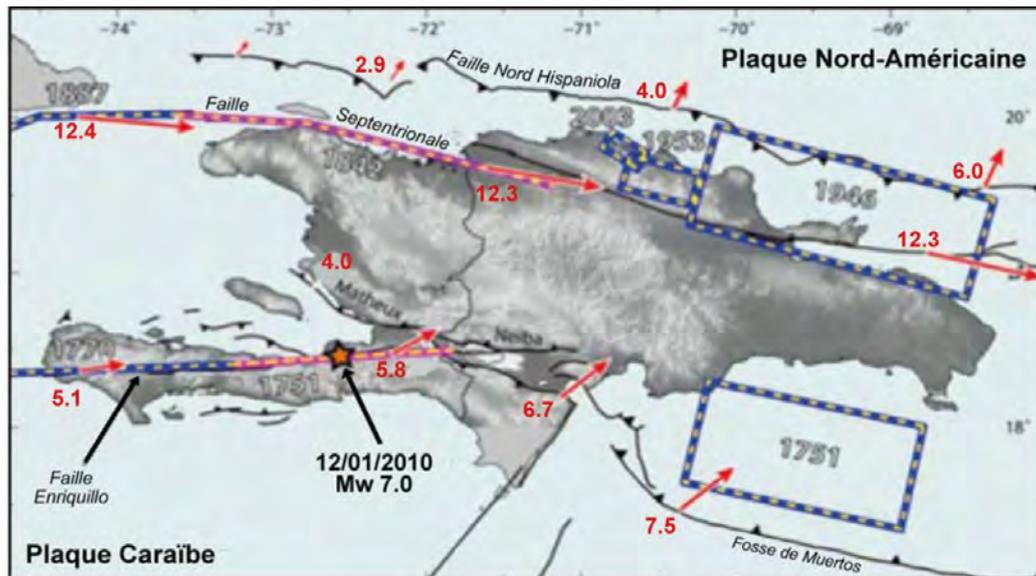


Figure 7 : Synthèse des failles actives de l'île d'Hispaniola (traits noirs), de leur déplacement (flèches rouges et valeurs en mm/an) et des séismes majeurs historiques associés (tracés ou zones en bleu ou rose).

(D'après Mann et al. ; source : rapport MULTI-MENACES-HA mars 2010)

En résumé, les recherches visant à établir les cartes d'aléa sismique d'Haïti retiennent actuellement les failles suivantes :

- La faille en décrochement (coulissage) d'Enriquillo-Plantain Garden (EPGFZ), traversant la péninsule sud d'Haïti, et associée à des segments « inverses » (prolongés en mer). Déformation de l'ordre de 6 mm/an.
- La faille septentrionale en décrochement (coulissage) longeant la côte nord d'Haïti, en passant dans le canal de la Tortue puis se prolongeant sur terre dans la vallée du Cibao en République dominicaine. Déformation de l'ordre de 12 mm/an.
- Le système de failles en subduction (plongeant) de Muertos-Neiba-Matheux, dont la morphologie suggère qu'il s'agit de failles actives mais dont on connaît relativement mal l'activité (la déformation serait inférieure à 1 mm/an).
- La faille « Nord Hispaniola » située à environ 50 km au nord de l'île, est parallèle à la côte. Le risque qui y est associé reste indéterminé (déformation inférieure à 3 mm/an).

Les recherches sont en cours. Elles doivent définir avec plus de précisions le potentiel sismogénique de ces failles et identifier la présence d'autres éléments sismogènes, en particulier dans le plateau central d'Haïti.

⁸ De l'ordre d'un centimètre par an sur chacune des deux grandes failles du pays.

1.1.7.2. Cartographie préliminaire de l'aléa sismique national

Depuis la publication des « Règles de calcul intérimaires pour les bâtiments en Haïti » du Ministère des Travaux Publics, Transports et Communications (MTPTC) le 15 février 2011, une première carte officielle de l'aléa sismique régional haïtien est disponible.

Cette carte a été établie sur la base d'accélération maximale du sol (PGA) pour une probabilité de dépassement de 2% sur une période de 50 ans (soit une période de retour de 2 500 ans).

Même si les valeurs d'accélération mentionnées ne peuvent être utilisées directement pour le calcul sismique, cette carte apporte une information officielle préliminaire fondamentale sur les régions plus ou moins sismiques du pays.

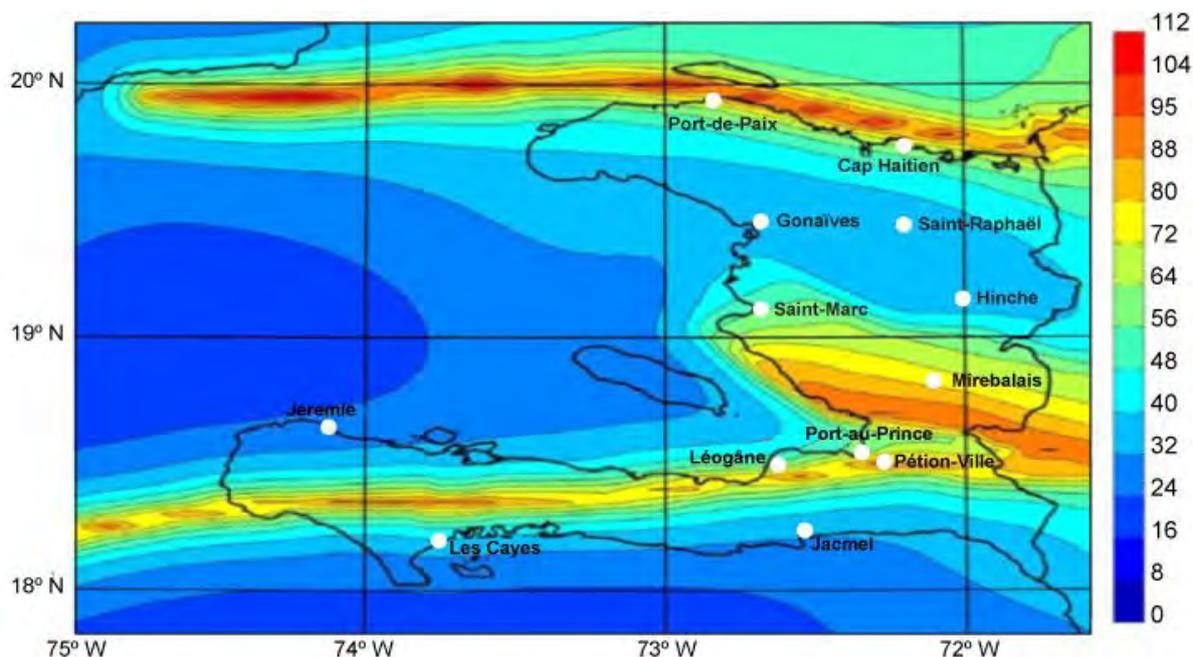


Figure 8 : Carte de l'aléa sismique régional probabiliste proposée par « Les Règles de calcul intérimaires pour les bâtiments en Haïti (2011) »

La valeur de la période de retour à retenir pour le calcul doit être fixée par arbitrage politique. Elle doit être cohérente avec la méthode de calcul utilisée et la classification des ouvrages à construire.

Elle doit également prendre en compte la capacité nationale à suivre économiquement les surcoûts liés aux impératifs de cet arbitrage pour chacune des catégories d'importance, sans exposer la population et l'économie à une crise inacceptable.

A la date de préparation de ce guide, le zonage réglementaire officiel du pays, adapté aux règles de calcul du futur Code National du Bâtiment Haïtien est attendu.

En attendant, l'USGS, qui est à l'origine de la carte d'aléa « officialisée » par les règles intérimaires a produit un certain nombre de cartes compatibles avec les codes de construction parasismiques étrangers acceptés par l'Etat haïtien⁹. Ces cartes sont reproduites et commentées ci-après.

Aucune négligence ne pouvant être acceptée pour les établissements de santé à construire, en cas de doute sur la localisation entre deux zones, du fait de l'échelle de la carte, on retiendra l'accélération la plus élevée. En outre, les coefficients d'importance et les coefficients de comportement doivent être ceux imposés pour des établissements de santé afin d'éviter tout sous-dimensionnement et tout dommage significatif aux structures à calculer.

⁹ A la date de rédaction du guide, les règles dites « intérimaires » sont en vigueur.

Pour les utilisateurs d'IBC 2009 & ASCE 7-05

5 Hz Spectral Acceleration (%g) with 2% Probability of Exceedance in 50 Years

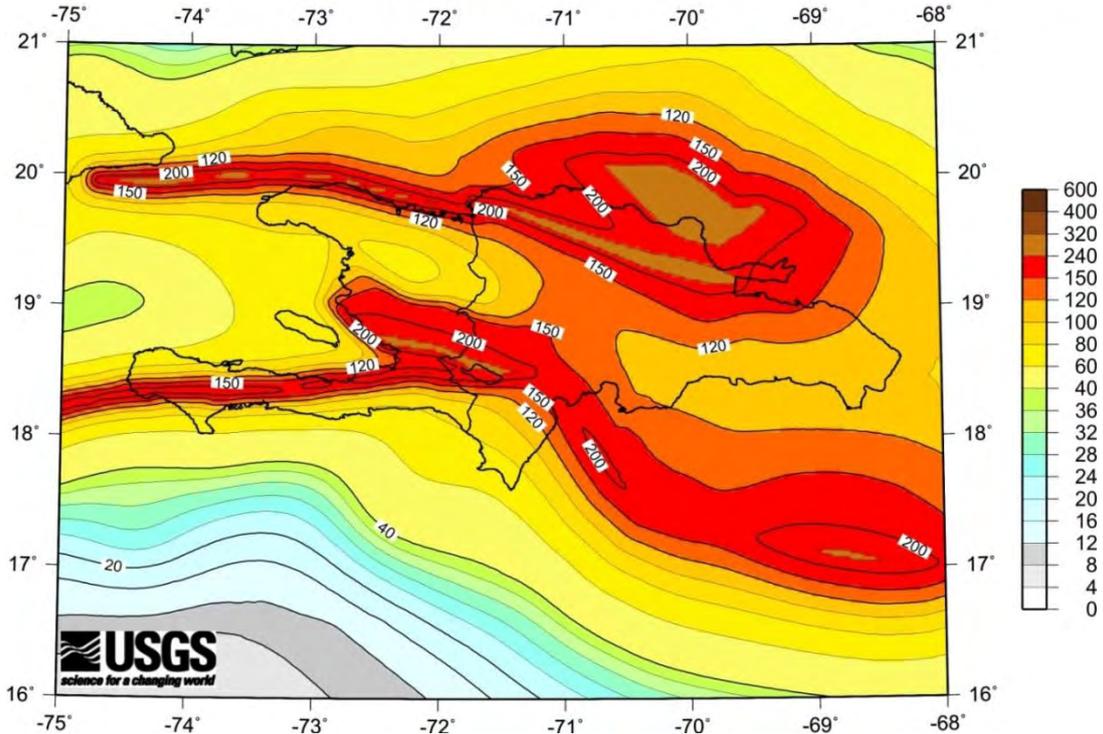


Figure 6 : Zonage préliminaire établi par l'USGS, pour une accélération spectrale de 0,2 s et une probabilité de dépassement de 2% à 50 ans (2 500 ans), compatible avec l'utilisation d'ASCE-7, sa méthode de calcul et ses coefficients majorants. Il en découle qu'à Port-au-Prince et au Cap Haïtien, SS ne peut être inférieure à 15 m/s².

1 Hz Spectral Acceleration (%g) with 2% Probability of Exceedance in 50 Years

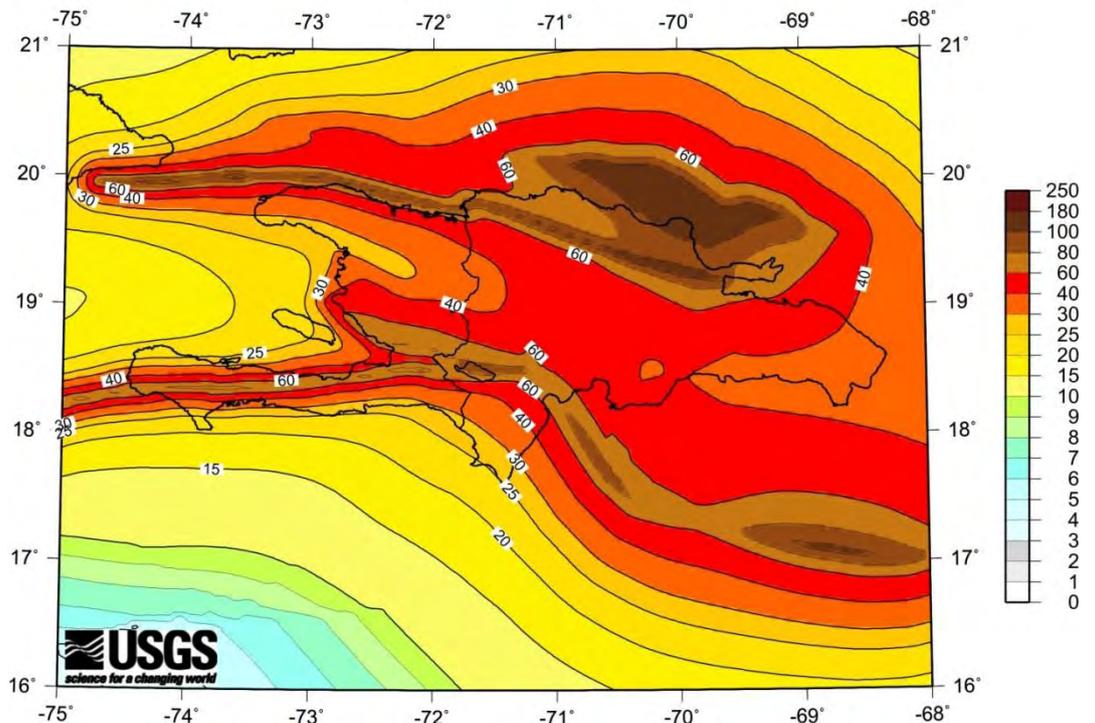


Figure 7 : Zonage préliminaire établi par l'USGS, pour une accélération spectrale de 1s et une probabilité de dépassement de 2% à 50 ans (2 500 ans), compatible avec l'utilisation d'ASCE-7, sa méthode de calcul et ses coefficients majorants. Il en découle qu'à Port-au-Prince et au Cap Haïtien, S1 ne peut être inférieure à 4 m/s².

Pour les utilisateurs des Eurocodes, dont EC8

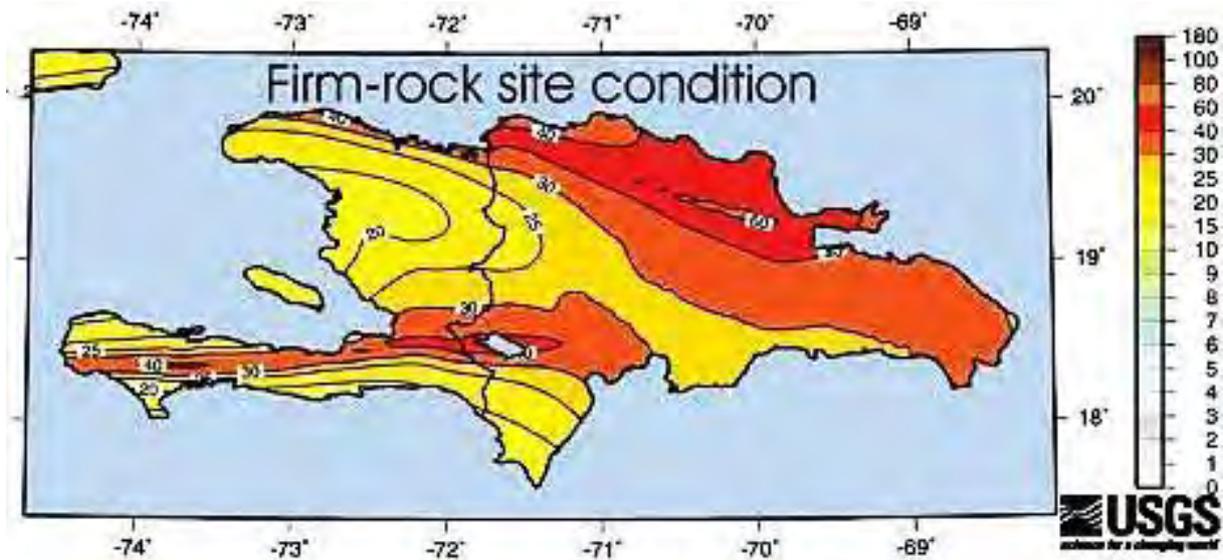


Figure 8 : Zonage préliminaire établi par l'USGS, pour une probabilité de dépassement de 10% à 50 ans (475 ans), compatible avec l'utilisation de l'EC8, sa méthode de calcul et ses coefficients majorants. Il en découle qu'à Port-au-Prince et au Cap Haïtien, a_g ne peut être inférieure à 3 m/s^2 .

En amont de ces cartes préliminaires, des tableaux de valeurs d'accélération pour les communes haïtiennes ont été produits par l'USGS. Pour plus de précisions en attendant la promulgation d'un zonage et d'un code haïtien, on peut se rapprocher des institutions haïtiennes qui ont travaillé avec cet organisme scientifique en veillant à ce que les valeurs découlent d'une approche probabiliste compatible avec la méthode de calcul retenue.

La valeur d'accélération régionale à retenir pour le calcul doit être au minimum celle qui est exigée par les textes réglementaires en vigueur, ou, à titre transitoire, des codes étrangers acceptés par les autorités haïtiennes au moment du projet.

1.2. Contexte cyclonique d'Haïti dans la Caraïbe

1.2.1. Phénomène cyclonique

Un cyclone est une perturbation atmosphérique tourbillonnaire, à grande échelle, due à une chute importante de la pression atmosphérique. Elle est caractérisée par des pluies diluviennes et des vents très violents (jusqu'à 350 km/h), tournant dans le sens des aiguilles d'une montre (hémisphère sud) ou dans le sens inverse (hémisphère nord) ; les vents sont d'autant plus violents que l'on est proche de l'œil, qui est une zone de calme.

Cinq conditions sont impératives pour la formation et le développement d'un cyclone tropical. Si l'une au moins de ces conditions n'est pas remplie, le cyclone ne peut se former. Si un cyclone est formé et qu'une de ces conditions disparaît, il s'affaiblit et peut se désagréger en quelques heures.

1) Une perturbation

La première condition est l'existence d'une zone perturbée : une ligne de grains (bande nuageuse orageuse), ou une onde tropicale. Ces conditions propices se trouvent principalement entre les tropiques, au niveau d'une vaste zone de mauvais temps dénommée Zone Intertropicale de Convergence.

2) Sur une vaste étendue d'eau chaude

Autre condition, celle qui assure le " carburant " du système : l'eau chaude. Ce qui explique le début de la « saison cyclonique » à l'issue des jours les plus longs, l'ensoleillement prolongé agissant sur la température de la mer qui doit atteindre une température minimum de 26°C sur au moins 50 mètres de profondeur. L'évaporation en surface de grandes quantités de vapeur fournit l'énergie nécessaire pour entretenir la formation cyclonique. Sur une eau moins chaude, le cyclone ne peut pas se former ou, s'il était déjà formé préalablement, il s'affaiblit.

3) Des vents homogènes sur la hauteur de la perturbation

Il faut également que les vents régnant dans l'environnement du système soient relativement homogènes depuis la surface de la mer jusqu'aux sommets nuageux, au-delà de 12 à 15 km d'altitude (même direction et même vitesse ou presque). Une fois cette condition réalisée, la partie active de la perturbation reste concentrée et un renforcement du système peut s'effectuer.

4) Génération d'un courant ascendant

Ces premières conditions réunies, les nuages se développent et s'agglomèrent ; un courant d'air chaud ascendant se met en place. Cette ascendance généralisée provoque une baisse de pression à la surface de la mer, et une hausse de pression à haute altitude au sommet de la masse nuageuse, *effet de cheminée*. La dépression de surface ne se creuse que si, en altitude, les particules d'air qui montent peuvent s'échapper, grâce à la *divergence*, situation météorologique favorisant le développement de ces mouvements ascendants, et permettant ainsi au système de s'entretenir de manière quasi-autonome.

5) Présence d'une force de Coriolis significative

La pression atmosphérique en un point est le résultat du poids de la colonne d'air au-dessus de ce point. Si la Terre ne tournait pas sur son axe, le déplacement des masses d'air (vent) serait direct entre les centres de haute et de basse pression dépendant des variations locales / régionales du réchauffement de l'air par le soleil.

La rotation terrestre dévie le vent généré par les variations de pression dans la direction perpendiculaire au déplacement d'un point fixe au sol. On appelle ce phénomène « force de Coriolis ».

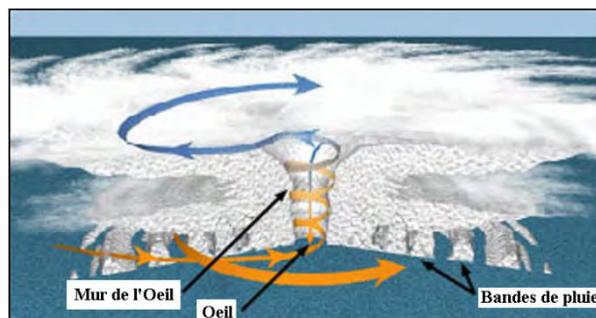


Figure 9 : Structure d'un ouragan dans l'hémisphère Nord. (Source: NOAA)

Dénomination

Un ouragan à maturité peut avoir un diamètre allant de 150 km à 1 000 km, avec des vents moyens, près du centre, supérieurs à 52 m/s et des rafales de vent plus rapides encore.

La classification des cyclones est basée sur la vitesse moyenne des vents au centre du système. Dans l'Atlantique nord, lorsque la vitesse des vents atteint 17 mètres par seconde (m/s), on parle de dépressions tropicales, entre 18 et 32 m/s ce sont des tempêtes ou orages tropicaux, et lorsque la vitesse des vents est supérieure à 32 m/s, le système est appelé ouragan.

1.2.2. Contexte cyclonique de la Caraïbe

La Caraïbe se situe dans l'océan Atlantique nord, une des six régions principales du monde où chaque année se forment les ouragans. La carte suivante est une représentation géographique des probabilités de vitesses de vent dans la Caraïbe. On peut voir que plus l'on se déplace vers le Nord et l'Ouest, plus l'intensité des ouragans augmente. Ceci est dû, d'une part à la « force de Coriolis » qui tend à détourner leurs trajectoires dominantes (Est-Ouest) vers le Nord, et d'autre part à la vitesse des vents qui augmente avec la durée de leur parcours au-dessus des mers chaudes.

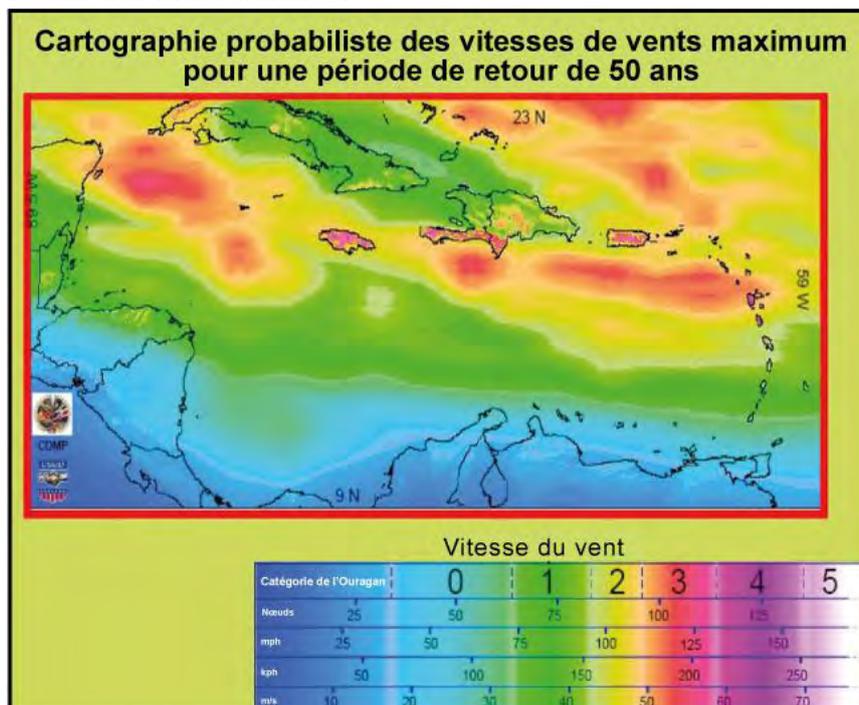


Figure 10 : Vitesses de vent maximum (période de retour de 50 ans)

(Document Chuck Watson pour OAS : Caribbean Disaster Mitigation Project financé par USAID vers 1990)

1.2.3. Echelle de Saffir/Simpson

Le potentiel destructeur d'un ouragan est considérable, d'une part en raison des vents violents, ensuite du fait des pluies potentiellement diluviennes qui provoquent des inondations, et enfin à cause des éventuelles ondes de tempête/surcotes cycloniques qui peuvent atteindre plusieurs mètres de hauteur au dessus du niveau de la mer.

L'échelle des vents cycloniques de Saffir/Simpson est généralement utilisée pour catégoriser les ouragans en fonction de la vitesse des vents (et des dommages potentiels). Cinq catégories d'ouragans sont reconnues (tableau modifié de la version révisée pour 2012) :

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 ¹⁰
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

Figure 11 : Tableau de la classification des ouragans. (Source : <http://www.nhc.noaa.gov/aboutsshws.php>)

¹⁰ Constructions courantes, mais non paracycloniques.

1.2.4. Etudes de l'aléa de vent cyclonique

Dans les années 2007-2009, dans le cadre de la campagne intitulée «Hôpitaux à l'abri des catastrophes» (qui fait partie de la campagne mondiale de réduction des catastrophes) et avec l'implication de spécialistes en recherche appliquée, l'OPS/OMS a développé de nouvelles cartes d'aléa vent pour les îles de la Caraïbe et les régions côtières d'Amérique centrale et du sud.

Ces cartes utilisent les méthodes et enregistrements météorologiques les plus récents, avec pour objectif de remplacer les anciennes cartes utilisées pour le dimensionnement des structures et l'évaluation des risques. Ces cartes constituent une aide importante pour les ingénieurs, promoteurs immobiliers et autres professionnels de la construction dont le travail requiert la connaissance des aléas associés au vent.

Les cartes d'aléas ont été développées pour des périodes de retour à 50, 100, 700 et 1 700 ans, et sont destinées à être utilisées avec la norme ASCE 7 (Société Américaine du Génie Civil – Charges minimales pour le dimensionnement des bâtiments et autres structures).

Il convient de noter que la tendance des normes caribéennes est l'adoption et l'adaptation de l'approche ASCE 7.

Les calculs de dimensionnement devraient être basés sur des périodes de retour de 700 ans pour les bâtiments courants et de 1 700 ans pour les hôpitaux de référence (hôpital de troisième niveau). Dans les combinaisons de charge à l'état limite ultime (*Load and Resistance Factor Design*), il convient d'appliquer un coefficient de 1 (*load factor*) aux valeurs de pressions et forces de vent déterminées pour cette période de retour.

Compte tenu du fait que les régimes des vents des ouragans perdent en intensité lorsqu'ils traversent les terres, des cartes ont été spécifiquement développées pour les quatre plus grandes îles de la Caraïbe : Cuba, Hispaniola, Porto Rico et la Jamaïque.

1.2.5. Événements cycloniques historiques dans la Caraïbe

On estime à plus de 4 000 le nombre d'orages tropicaux qui se sont produits dans la région atlantique nord (y compris la Caraïbe) depuis les quelques 500 dernières années qui ont suivi l'arrivée de Christophe Colomb. Près de la moitié de ces orages se sont transformés en ouragans.

Parmi les records d'intensités avérés pour la mer des Caraïbes et le golfe du Mexique, on peut citer les ouragans suivants, ayant eu des 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).

N. B. : En ce qui concerne les petites Antilles, les ouragans majeurs sont plutôt de classe 4 (un peu moins de 250 km/h de vitesse de vents soutenus, comme le Grand Cyclone de 1928 (230 km/h) et HUGO en 1989 (220 km/h)).

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.

La tendance actuelle est à la réduction du nombre de morts et de blessés (principalement grâce à l'amélioration des systèmes d'alerte et autres mécanismes de préparation), et à l'augmentation des dommages matériels (en raison de la densification des populations et des pratiques de constructions inappropriées).

1.2.6. Contexte national haïtien de l'aléa de vents cycloniques

Haïti, comme le Nord de la Caraïbe est situé sur une zone de trajectoires à haute probabilité pour les phénomènes cycloniques.

L'histoire récente montre que le pays est régulièrement frappé par les ouragans.

ANNÉE	Nom	Zones impactées
1935 (octobre)	Pas de Nom	Jérémie (+ 2.000 morts)
1954 (octobre)	Hazel	Grande Anse, Ouest, Artibonite, Nord-Ouest (très étendu)
1963 (octobre)	Flora	Grande Anse, Ouest, côte sud (Cayes)
1964 (septembre)	Cléo	Grande Anse
1966 (septembre)	Inès	Sud et Ouest
1979 (août)	David	Faible impact sur Nord-Ouest
1980 (août)	Allen	Cote sud (Cayes)
1994 (août)	Gordon	Jérémie (192 victimes)
1998 (septembre)	Georges	Ouest - Centre
2004 (septembre)	Jeanne	Nord Haut Artibonite (Gonaïves très touchée)
2008 (août)	Fay	Ensemble Pays
2008 (août)	Gustav	Sud et Grande Anse
2008 (août)	Hanna	Artibonite et Nord Est (Ville de Gonaïves très touchée)
2008 (septembre)	Ike	Effleure le Nord - (Ville de Cabaret touchée)

Figure 12 : Cyclones principaux ayant affecté Haïti depuis 1935. (Source Mora S. et al., MULTIMENHAS-2, 2011)

En Haïti, dans le contexte de la reconstruction parasismique, les *Règles de calcul intérimaires pour les bâtiments en Haïti* proposent une approche règlementaire paracyclonique pour le pays.

L'aléa vent a été estimé pour quatre périodes de retour. On observe sur les cartes produites que les vitesses de vent décroissent vers le nord-ouest. Ceci est dû au fait que les ouragans majeurs viennent principalement du sud-est (République Dominicaine) ou du sud, or les vitesses de vent sont atténuées par les distances parcourues sur terre.

Ce document propose, sur la base de ces observations, de diviser le pays en quatre zones.

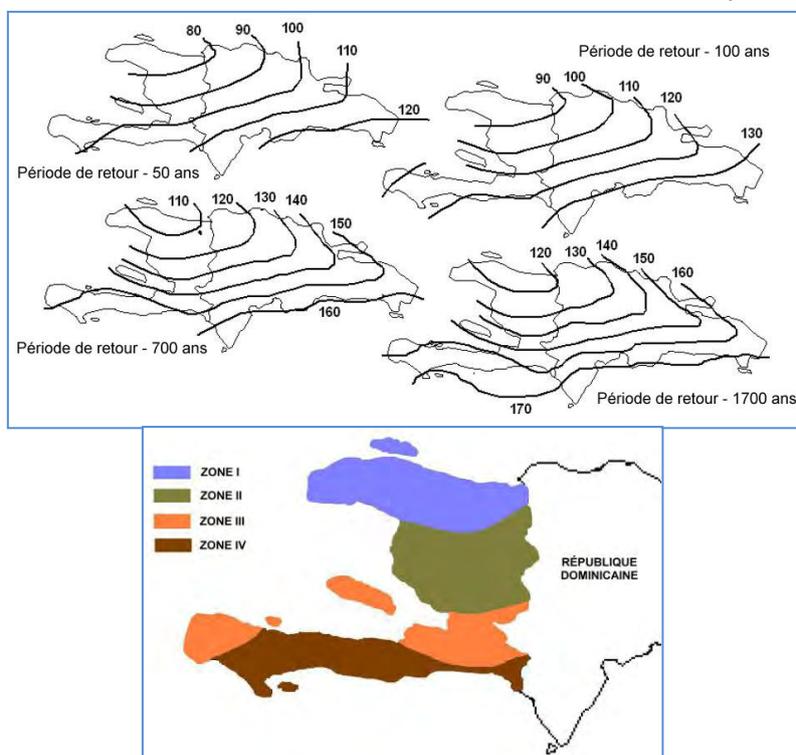


Figure 13 : Cartographie de l'aléa vent (en miles/heure) retenue par « Les Règles de calcul intérimaires pour les bâtiments en Haïti (2011) ». (Etude Gibbs/Vickery/PAHO Caribbeanwindhazardmaps)

Figure 14 : Zonage « vent » proposé par « Les Règles de calcul intérimaires pour les bâtiments en Haïti (2011) ». (Etude Gibbs/Vickery/PAHO Caribbeanwindhazardmaps)

Le document propose également des vitesses de vent à retenir pour chacune des quatre zones, en fonction de la méthode de calcul utilisée.

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)				
BS 6399-2 : 1997 (Code britannique)				
Zone de vent	I	II	III	IV
Vitesse de référence du vent (m/s)	31	35	38	41
Note : Vitesses de référence associées à des vitesses horaires moyennes de vent mesurées à une hauteur de 10 m en terrain plat non obstrué				
CNBC 2005, Part 4 – Règles de calcul (Code canadien)				
Zone de vent	I	II	III	IV
Pression dynamique de référence du vent (kPa)	0,61	0,73	0,87	1,02
Note : Pressions dynamiques de référence, associées à des vitesses horaires moyennes de vent mesurées à une hauteur de 10 m en terrain plat non obstrué (exposition de Catégorie A du CNBC)				
Eurocode EN 1991-1-4 et EN 1990 (Code européen)				
Zone de vent	I	II	III	IV
Vitesse fondamentale de référence du vent (m/s)	32	35	39	42
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				
CUBiC 1985 (Code des Caraïbes)				
Zone de vent	I	II	III	IV
Pression dynamique de référence du vent (kPa)	0,68	0,82	0,98	1,15
Vitesse de référence du vent (m/s)	33	37	40	43
Note : Pressions dynamiques de référence et vitesses de référence associées à des vitesses moyennes de vent mesurées sur une période de 10 minutes à une hauteur de 10 m en terrain plat non obstrué. Il convient de noter que la prochaine édition de CUBiC, en phase de rédaction, proposerait l'adoption des recommandations de l'ASCE 7 pour le vent [14].				

Figure 15 : Tableau des vitesses de vent proposées en fonction de la zone et de la méthode de calcul retenue selon « Les Règles de calcul intérimaires pour les bâtiments en Haïti (2011) ».

La vitesse de vent régionale à retenir pour le calcul doit être, au minimum, celle qui est exigée par les textes réglementaires en vigueur au moment du projet.

A titre transitoire on retiendra le zonage et les éléments du tableau des règles intérimaires jusqu'à la publication d'un zonage et d'un code haïtien.

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

2.1. Exigences de comportement en situation courante

Il est retenu qu'en situation de service correspondant à sa destination, un bâtiment ne doit présenter que des signes de vieillissement mineurs et en aucun cas des dommages entraînant l'impropriété à son usage courant.

Cette dernière notion implique que les bâtiments de soins d'un établissement de santé, où les conditions d'hygiène sont très exigeantes, ne doit pas du tout fissurer, alors que quelques fissures mineures peuvent être tolérées sur des bâtiments courants.

Outre les exigences de résistance qui sont stipulées plus loin, 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

2.2.1. Niveaux de performance concernant la structure et son exploitation

Tous les bâtiments de santé à construire en Haïti doivent être considérés comme exposés à des actions sismiques potentiellement destructrices. Le niveau d'exposition varie selon les régions et les sites. Tous doivent respecter des règles de construction performantes et agréées par l'Etat haïtien.

En outre, les principes qui régissent les établissements de santé en matière de sécurité vis-à-vis des phénomènes naturels sont les suivants :

- après un séisme ou un cyclone, ils ne doivent pas nécessiter d'évacuation;
- après un séisme ou un cyclone, ils doivent rester opérationnels.;

Cela impose une fonctionnalité plus ou moins complète des services dans les instants qui suivent immédiatement l'événement. L'accès au site et aux locaux par les patients et les soignants en fait partie.

Il convient donc que le programmiste du projet définisse des exigences de sécurité appropriées pour les différents corps de bâtiments qui composent l'établissement, ceci en concertation avec le maître de l'ouvrage, et conformément à la réglementation.

Les règles de construction, notamment parasismiques, envisagent plusieurs niveaux de performances. Lequel retenir en fonction des activités hébergées par chaque bâtiment ?

Au regard des séismes, les performances structurales sont bien caractérisées par l'approche dite en « poussée progressive » ou « pushover », qui définit les niveaux de performances croissants suivants :

- Non effondrement de la structure et sauvegarde des vies humaines ;
- Limitation des dommages structuraux ;
- Limitation des dommages non structuraux et pas de dommages structuraux significatifs ;
- Fonctionnement des équipements (aucun dommage significatif).

Il est admis par les états ayant une politique de prévention du risque sismique, et c'est désormais le cas d'Haïti, que :

- 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).
- Tous les bâtiments des établissements de santé hébergeant au moins un local « fonctionnel » doivent être conçus et réalisés pour un niveau de performance élevé (limitation des dommages non structuraux en toutes circonstances prévisibles).
- Les autres bâtiments éventuels, peu équipés, peuvent se satisfaire de la limitation des dommages structuraux.

Doivent être considérés comme « 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.

Les locaux à caractère fonctionnel sont les locaux nécessaires au bon fonctionnement de l'établissement (administration, cuisines, sanitaires, réserves diverses, etc.).

Les « autres locaux » correspondent à ceux qui ne renferment aucun équipement sensible ou fonctionnel, et pour ces locaux une fissuration contrôlée est admise.

Un seul local « sensible » ou « fonctionnel » dans un bâtiment est suffisant pour conférer son niveau d'exigence à l'ensemble du bâtiment¹¹.

La courbe contrainte-déformation suivante représente ces niveaux d'exigence. Chaque point d'inflexion sur la courbe représente l'apparition d'une aggravation significative des dommages (tous dommages pris en compte).

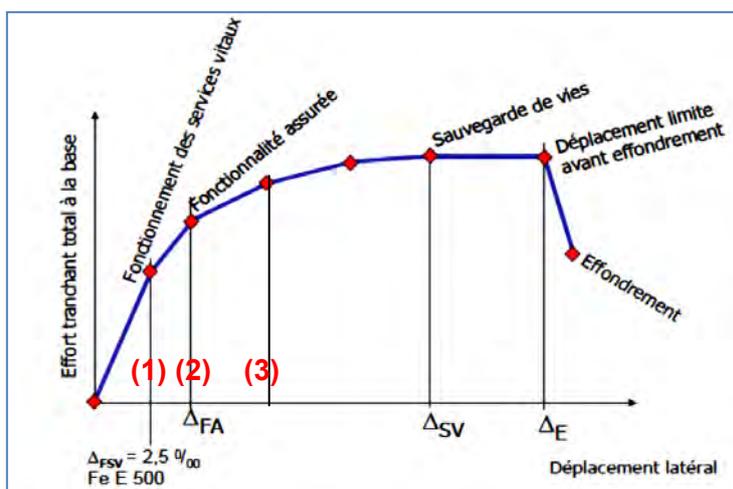


Figure 16 : Courbe contraintes-déformations représentant les niveaux d'endommagement de la structure. (AFPS)

Interprétation :

- Sur le premier segment (1) : aucun dommage, fonctionnalité totale des locaux sensibles.
- Sur le deuxième segment (2) : pas de dommage structural et dommages limités sur les équipements, fonctionnalité possible des services.
- Sur le troisième segment (3) : dommages maîtrisés et limités sur la structure et les équipements, fonctionnalité possiblement limitée ou momentanément interrompue des bâtiments annexes.

N. B. : Les stades d'endommagement suivants, jusqu'à « sauvegarde des vies humaines » acceptent l'éventualité de réparations lourdes, voire la reconstruction. A ce titre ils ne sont admis que pour les constructions courantes, sans enjeu collectif particulier.

Les règles de construction parasismique définissent les moyens et les coefficients de comportement, pour atteindre chacun des niveaux de performances pour

¹¹ Bâtiment, ou bloc de construction séparé des autres par un ou des joints parasismiques.

l'accélération de calcul, qui elle, dépend de la région, du site, du sol et de la construction elle-même.

Ces exigences de construction doivent être complétées par celles données par les guides pour l'équipement des hôpitaux en zone sismique. Ceux-ci n'ont pas de caractère réglementaire, mais, pour un grand nombre, sont réalisés avec la même rigueur scientifique et technique.

Synthèse des niveaux de performances sismiques

Non effondrement de la structure et sauvegarde des vies

La structure doit être construite de manière à résister aux actions issues du séisme sans effondrement qu'il soit local ou général. L'endommagement est toléré, mais la structure doit conserver une capacité portante résiduelle satisfaisante après séisme.

Le bâtiment va résister aux efforts sismiques en mobilisant à la fois une capacité de résistance et une capacité de dissipation d'énergie par fissuration « contrôlée ».

La réglementation précise les exigences de dimensionnement et de mise en œuvre pour y parvenir. Cette stratégie ne concerne que les bâtiments courants.

Limitation des dommages structuraux

La limitation des dommages structuraux correspond à la possibilité d'avoir des dégâts mineurs sur les éléments structuraux. Ces dégâts sont potentiellement réparables sans évacuation générale des locaux.

Les réparations éventuelles ou le remplacement de certains équipements peuvent être différés.

Cette stratégie peut concerner des bâtiments devant fonctionner en situation de crise, mais éventuellement de façon « adaptée », comme les cuisines et l'administration.

Limitation des dommages non structuraux

La limitation des dommages non structuraux correspond à la possibilité d'avoir des dégâts mineurs sur les équipements du bâtiment, mais pas sur la structure.

Tous les matériels sensibles, soigneusement inventoriés, font l'objet de protections particulières, les dommages mineurs ne pouvant affecter que des équipements secondaires.

Les services doivent pouvoir fonctionner, éventuellement avec des restrictions mineures et temporaires.

Cette stratégie concerne par exemple les laboratoires, les hébergements, etc.

Fonctionnement des équipements

Ce niveau doit permettre la continuité de la fonctionnalité du bâtiment. Seuls des dommages limités, plutôt d'ordre esthétique, peuvent être enregistrés.

La structure doit être conçue et construite pour résister aux actions sismiques de référence, sans qu'apparaissent des dommages et des limitations d'exploitation. Dans ce cas, le calcul de dimensionnement est réalisé sans utiliser de coefficient de comportement autorisant la fissuration contrôlée... et des économies financières !

Les déformations sont donc limitées pour protéger la structure et les équipements. Ce qui implique soit des bâtiments assez raides et surdimensionnés, soit le recours à des équipements modifiant son comportement : isolation à la base, amortisseurs, etc.

Les équipements eux-mêmes sont sécurisés par fixation appropriée à la structure, et dispositions protégeant leurs éventuels contenus.

Cette stratégie est impérative pour les locaux où se déroulent des actes vitaux, blocs opératoires, réanimation, etc.).

2.3. Exigences de comportement en zone cyclonique

Les exigences relatives aux situations cycloniques sont globalement plus faciles à atteindre pour les constructions à volumes simples que les exigences sismiques. La notion d'endommagement progressif propre aux actions cycliques n'est pas utilisée, on considère la résistance aux pressions-dépressions, à l'arrachement, aux chocs, etc.

L'ensemble des bâtiments de l'établissement (leurs structures, leurs façades, les baies et les toitures) doit résister sans dommages autres qu'esthétiques aux effets du vent de référence pour la zone, et aux projectiles (ce qui impose souvent la pose de vitrages renforcés, de grilles à mailles fines, ou plutôt de volets massifs).

Une exigence d'étanchéité vent et eau doit être formulée pour tous les locaux de soins et d'hébergement, pour les laboratoires, pharmacies, etc. ce qui implique le recours à des menuiseries performantes. Dans les locaux non sensibles (ateliers, cuisines, etc.), il peut être toléré, en situation cyclonique seulement, qu'un peu d'eau soit « vaporisée » à l'intérieur sous l'effet de la surpression entre les lames des persiennes.

L'étanchéité et les pentes appropriées des terrasses, toitures, cours, patios et abords en général, doivent permettre une évacuation rapide des eaux de pluie vers des collecteurs adaptés au volume d'eau de référence.

2.4. Normes et directives réglementaires en vigueur

2.4.1. En termes de construction

En février 2011, le Ministère des Travaux Publics, Transports et Communication (MTPTC) a approuvé les Règles de calcul intérimaires pour les bâtiments en Haïti, préparées par SNC-Lavalin inc., qui spécifient :

qu'en attendant la parution du code de construction officiel de la République d'Haïti, les codes suivants, sans préséance, sont en vigueur jusqu'à contre ordre pour toutes les nouvelles constructions et travaux de réparation et de renforcement de bâtiments dûment autorisés : CNBC, ACI-318, International Building Code, Eurocode 8¹² et CUBiC 1985 et que l'utilisation d'autres codes doit recevoir l'autorisation expresse du MTPTC.

A la date de rédaction de ce guide le CNBH (Code National du Bâtiment en Haïti) n'est pas finalisé. C'est pourquoi le guide propose une stratégie pour la conception et la réalisation des établissements de santé en Haïti, fortement appuyée sur des expériences concluantes dans les autres territoires de la Caraïbe aussi exposés qu'Haïti aux phénomènes naturels.

Le niveau de performances retenu est celui d'IBC, la formulation se veut accessible, et les moyens proposés sont soit clairement exposés, soit référencés dans la littérature normative et technique.

N. B. : Le guide rappelle aux constructeurs l'étendue de leurs obligations, mais ne se substitue pas aux textes normatifs et techniques diffusés par les organisations spécialisées (Ministère en charge de la construction, Ministère de la santé, Agences pour la prévention des catastrophes, Associations d'ingénieurs, Agences pour la santé publique, etc.).

Le présent guide est basé sur les exigences de performances du projet de Code National du Bâtiment d'Haïti (CNBH), mais aussi sur celles des agences de santé et des organisations d'ingénierie exerçant dans le contexte insulaire de la Caraïbe.

Le niveau d'exigence est celui d'IBC 2009.

Les moyens proposés par d'autres normes aussi performantes sont acceptables, et doivent être soumis à l'approbation du MTPTC avant le permis de construire.

¹² Il faut noter que l'Eurocode 8, qui n'a pour objet que les exigences parasismiques, n'est pas un document autonome, mais doit s'utiliser avec les Eurocodes et Euronormes correspondant au type de système constructif choisi.

2.4.2. En termes d'équipements

A la date de rédaction de ce guide, il n'existe pas de référence réglementaire haïtienne pour les équipements hospitaliers exposés aux cyclones et séismes.

Les recommandations du présent guide, basées sur le retour d'expérience d'experts et d'organisations compétentes, constituent donc un premier référentiel pour les établissements de santé haïtiens.

Les organisations scientifiques et techniques des pays exposés aux séismes ont publié des ouvrages très détaillés, disponibles en ligne, qui constituent de bonnes références.

2.5. Cadre national pour la classification des établissements de santé en Haïti

2.5.1. Préambule

Tous les établissements de santé du pays ou d'une région, et tous les bâtiments d'un même établissement de santé, ne sont pas soumis au même niveau d'exigences techniques en situation courante. Ils ne sont pas non plus assujettis au même niveau de performances en situation d'urgence extrême (notamment catastrophes post-sismiques ou post-cycloniques).

Avant d'aborder un projet d'établissement de santé, qu'il s'agisse du petit dispensaire de proximité, d'une clinique urbaine 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 de chacune de ces classifications.

N.B. : Ces classifications concernent également les établissements existants, dont les performances actuelles sont parfois faibles. Elles permettent d'établir le niveau de performances souhaité et de le comparer au niveau constaté. C'est la première étape pour la programmation de modifications, si elles sont possibles, ou de reconstructions partielles ou totales, voire de relocalisations, dans le cadre d'un objectif global de sécurisation des établissements de santé en Haïti.

2.5.2. Classification sanitaire nationale

Le classement de l'établissement à construire doit être vérifié dans la pyramide sanitaire du Ministère de la Santé Publique et de la Population d'Haïti.

Le niveau 1 est formé d'institutions de proximité, de cabinets médicaux, et cabinets de soins.

Ce premier niveau comprend deux échelons :

- les SSPE (service de santé du premier échelon) ;
- et les HCR (hôpitaux communautaires de référence) où les patients sont susceptibles de dormir.

Le niveau 2 est constitué des hôpitaux départementaux qui délivrent des soins spécialisés.

Le niveau 3 est constitué des hôpitaux universitaires et spécialisés qui délivrent des soins de références nationales.

Les exigences sanitaires et de service, exigées par le MSPP, doivent être vérifiées en fonction du type d'établissement.

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

Le projet de CNBH a défini une première classification de l'importance des bâtiments pour Haïti. Le tableau suivant précise les quatre catégories d'importance.

Cette classification concerne tous les bâtiments pouvant être construits, parmi lesquels les établissements de santé.

Usage du bâtiment	Catégorie du risque
Les bâtiments dont l'effondrement représente un risque faible de pertes en vie humaine : bâtiments à faible occupation humaine, petits bâtiments de stockage, bâtiments de ferme, étables	I – Faible
Tous les bâtiments sauf ceux des trois autres catégories	II – Normal
Les bâtiments susceptibles d'être utilisés comme refuge de protection civile : écoles, centres communautaires Les installations contenant des produits toxiques, explosifs ou dangereux en quantité suffisante pour représenter un danger : entrepôts, usines de fabrication	III – Elevé
Les bâtiments de protection civile où sont fournis les services essentiels en cas de catastrophe : 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)	IV – Protection civile

Figure 17 : Tableau des catégories d'importance définies par le projet de CNBH. (2011)

La catégorie d'importance doit être définie pour chaque bâtiment ou bloc de bâtiment séparé par un ou des joints parasismiques. Elle dépend des activités pratiquées dans ce bâtiment. Si un bâtiment héberge plusieurs activités d'enjeux variables (bloc opératoire et administration par exemple), c'est l'activité dont la catégorie est la plus « importante » qui donne son classement à l'ensemble du bâtiment.

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).

Ainsi, 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 ».

La précision n'est pas apportée nommément pour les dispensaires et autres centres de soins non intensifs, qui 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.).

Coefficients d'importance

Au moment de la rédaction de ce guide, l'Etat haïtien n'a pas encore arbitré les coefficients d'importance à utiliser pour le calcul des bâtiments des quatre catégories d'importance.

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 : $\gamma = 1,4$

Coefficients de comportement / Response modification factor

Pour les bâtiments devant garantir la fonctionnalité des services après un séisme, l'usage est de renoncer à réduire l'accélération de calcul (même si toutes les exigences garantissant la ductilité sont scrupuleusement suivies) pour que la structure reste dans le domaine élastique.

Pour les deux codes, le coefficient de comportement / response modification factor (q pour EC8 / R pour ASCE 7) ne devra pas dépasser 1,5.

2.6. Paramètres typologiques, exigences techniques et limitations

Il ressort de tout ce qui précède que la définition des termes de référence de tout projet doit tenir compte de plusieurs paramètres qui vont conditionner son niveau de performances sanitaires et sécuritaires.

- 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, sites plus ou moins exposés) ;
- La taille de l'établissement (complexité des opérations d'évacuation et capacité d'accueil) ;
- Le principe constructif (matériaux, produits et technologie utilisés).

Restrictions sur les types de construction et de contreventement des bâtiments

Le guide restreint volontairement son champ d'application, et ainsi limite les choix constructifs, en fonction des paramètres précités. Il s'agit de restrictions réalistes au regard du contexte technique et économique haïtien observé suite aux catastrophes de ce début de XXI^{ème} siècle.

a. Les bâtiments neufs (parties 1, 2 et 3 du guide)

- Structures en murs et dalles de béton armé et structures dites « mixtes »¹³ en béton armé : Tous les bâtiments respectant les règles de calcul et de mise en œuvre sont autorisés. Dans le cas des structures mixtes, il faut toutefois 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, avant que les efforts sismiques horizontaux soient repris par les poteaux.
- Structures en portiques (poteaux-poutres) et planchers de béton armé : L'usage de cette technique est a priori prohibé pour la construction des établissements de santé en raison

¹³ Les structures mixtes comprennent des murs et des poteaux porteurs pouvant contribuer au contreventement (structure principale).

du niveau de maîtrise du projet et de la réalisation qu'elle requiert¹⁴.

- Structures en maçonnerie chaînée : Seuls les bâtiments de catégorie d'importance inférieure à IV, de surface unitaire inférieure à 150 m² et construits sur un seul niveau (plain-pied)¹⁵ sont admis si leur conception, leur dimensionnement et leur réalisation respectent scrupuleusement les exigences d'un code admis par le MTPTC, ou à défaut d'un guide de conception et de dimensionnement forfaitaire admis par ce même ministère.
- Ossature et charpente métallique :
 - En toiture seule (sur des murs en béton armé ou en maçonnerie chaînée) : pour tous les bâtiments respectant les règles de construction parasismique et paracycloniques, sans restriction.
 - En système porteur et de contreventement : pour tous les bâtiments respectant les règles de calcul et de mise en œuvre (notamment assemblages et protection contre la corrosion). Le comportement des systèmes de façades et de cloisonnement des ossatures métalliques devra être particulièrement justifié vis-à-vis du vent cyclonique et de l'action sismique de référence.
- Ossature et charpente en bois :
 - En toiture seule (sur murs en béton armé ou en maçonnerie chaînée) : pour tous les bâtiments respectant les règles de construction parasismique et paracycloniques, sans restriction.
 - En système porteur et de contreventement : seulement pour les petits bâtiments de catégorie d'importance inférieure à IV, de surface unitaire inférieure à 50 m² 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 admis par le MTPTC, ou à défaut d'un guide de conception et dimensionnement forfaitaire admis par ce même ministère.
- Construction sur isolation parasismique à la base : Technique autorisée 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. En outre, le contrôle formel de la réalisation du chantier « pas à pas » jusqu'au premier plancher au dessus des isolateurs, est requis avec des rapports précisant les mesures de précision relevées et incluant la photographie des ferrailages de tous les massifs d'infrastructure avant coffrage et bétonnage : vérification de tous matériaux et matériels, des ancrages des isolateurs et des amortisseurs, précision des niveaux et de la mise en œuvre.

b. Les bâtiments existants (partie 4 du guide)

En ce qui concerne les bâtiments existants, la partie 4 du guide traite principalement les principes du bon entretien des constructions existantes et, pour information seulement, les principes de l'évaluation de leur vulnérabilité.

Le « bon entretien » vise la réduction des pertes de résistance pouvant survenir dans le temps, avec l'altération des matériaux. Il concerne aussi bien les bâtiments anciens « non conformes », que ceux qui viennent d'être achevés en respectant les nouvelles règles en vigueur.

¹⁴ Le problème ne concerne pas seulement Haïti. L'architecture et l'ingénierie de ce type de construction, dont la stabilité est conditionnée aux performances des poteaux, qui doivent éviter « tout effort parasite », demandent un haut niveau de maîtrise de la construction parasismique. Aucune modification du bâtiment ne doit être réalisée ultérieurement sans vérification, et la mise en œuvre est particulièrement complexe et exigeante.

¹⁵ Ces limitations tiennent compte de la difficulté à se procurer, actuellement en Haïti, des matériaux normalisés, notamment dans les sections rurales où les constructions en maçonnerie ont le plus de chance d'être adoptées.

L'évaluation de la vulnérabilité concerne les bâtiments anciens. Elle appelle généralement une expertise de haut niveau, sauf à conclure que tout bâtiment « non conforme » présente un risque d'effondrement. Elle doit déboucher sur des propositions concrètes et efficaces. Ce n'est pas l'objet du guide qui, toutefois, expose les principes de cette analyse et une liste d'indicateurs de vulnérabilité à vérifier.

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

En situation de crise sismique, cyclonique, ou épidémique, les établissements de santé sont confrontés à un afflux massif de victimes en attente de soins. Si la situation est grave, des équipes médicales supplémentaires sont nécessaires pour renforcer les effectifs de l'établissement.



Figure 18 : A Port-au-Prince, afflux de blessés « désorganisé » à l'hôpital de la Paix, suite au séisme du 12 janvier 2010. (Document PAHO)

La médecine de catastrophes obéit à des règles de tri des blessés et malades, de priorités et d'orientation vers les unités de soins appropriées.

Dans ce contexte, la conservation de la fonctionnalité des services existants est un impératif déjà mentionné. En outre, la capacité d'adaptation de l'établissement à cet afflux, qui peut durer des jours, voire des semaines, doit être considérée comme une exigence dès la conception des lieux.

L'organisation des espaces intérieurs doit rechercher une certaine polyvalence permettant la réaffectation de locaux à moindres enjeux, à l'accueil d'équipes de soins intensifs et de patients supplémentaires en situation de crise. La localisation, l'équipement et l'accessibilité de ces locaux « réaffectables » doit permettre cette polyvalence dans de bonnes conditions pour le fonctionnement normal et pour le fonctionnement de crise.

L'idéal est que la parcelle sur laquelle est implanté l'établissement permette la réorganisation des espaces extérieurs dans l'enceinte de l'établissement. Le plan des circulations (véhicules, piétons) doit réserver des surfaces planes et bien drainées, pour l'implantation de tentes médicalisées, et au minimum, près de l'accès principal, d'un lieu d'accueil et de triage des victimes.

Lorsque le projet le permet, la présence de patios entre les corps de bâtiments, outre les avantages divers de cette disposition au quotidien, constitue une réserve d'espaces protégés pouvant être momentanément occupés.

Il doit être prévu que le stationnement puisse être strictement limité, les véhicules ou ambulances déposant les patients devant repartir, afin de réquisitionner les parkings pour y installer des tentes ou préfabriqués. Le jardinage doit prévoir des pelouses de taille suffisante pour d'éventuelles tentes de soins entre les arbres et massifs floraux...

3. EXIGENCES COMPLÉMENTAIRES LIÉES AUX CONDITIONS LOCALES

3.1. Notion d'aléas locaux

Les deux principaux phénomènes naturels violents pouvant affecter les établissements de santé sur le territoire haïtien sont les cyclones et les séismes. Les conséquences d'une sécheresse prolongée ou d'incendies de forêt ne peuvent être écartées, mais sont a priori moins directement préoccupantes.

Les cyclones apportent vents violents et pluies abondantes. Les conditions de ruissellement ou de montée des eaux de pluie dépendent de la topographie, de la géologie et de la couverture végétale. Le ruissellement peut entraîner les sols instables gorgés d'eau. Le vent et la dépression agitent la mer et les lacs, et modifient leur niveau, ce qui génère la submersion des zones littorales basse altitude.

Les secousses sismiques s'atténuent globalement avec la distance du segment de faille qui a rompu, mais la topographie ou la géologie peuvent provoquer l'amplification locale du phénomène. En outre les sols de mauvaise qualité peuvent tasser ou glisser sur les pentes. Si la rupture sismique est proche de la surface, le déplacement de part et d'autre de la faille peut se voir... et traverser des bâtiments, ou causer un tsunami s'il est en mer...

Ces phénomènes induits et leur ampleur dépendent du site. Le présent chapitre liste les « aléas locaux » qui doivent être vérifiés pour toute construction d'établissement de santé en Haïti.

Certaines menaces locales n'ont pas de parade, le site ainsi exposé (pentes instables, zones inondables, etc.) ne peut être choisi pour le projet. D'autres menaces peuvent être corrigées ou atténuées par des travaux appropriés, qui peuvent parfois, compte tenu du coût excessif, dissuader de retenir le site. D'autres problèmes nécessitent une correction ou une adaptation du projet qui peut être acceptable au regard des qualités du site.

3.2. Eléments de l'aléa sismique local

3.2.1. Généralités

Les bâtiments, les voies d'accès et les réseaux publics de distribution peuvent être sujets à des effets générés par le séisme, parfois très localisés, pouvant aggraver les conséquences du séisme. C'est pourquoi il convient de toujours vérifier l'adéquation du projet avec le site choisi. Cette vérification doit prendre en compte trois types d'effets :

- **Les effets directs** : Déformations du sol, dues directement à la rupture sismique sur la faille (rejet de la faille en surface, subsidence et surrection) ;
- **Les effets de site** : Amplification locale du mouvement sismique de référence, dû à la géologie ou à la topographie du site ;
- **Les effets induits** : Conséquences indirectes, générées par le mouvement vibratoire sur des sites « sensibles ». Il s'agit des glissements de terrain, chutes de blocs, liquéfaction des sols, effondrements de cavités, tsunamis et effets anthropiques.

Progressivement les pays se dotent d'une cartographie des sites exposés à ces phénomènes, et de réglementations appropriées.

Si l'on ne peut se référer ni à des cartes d'aléas actualisées (microzonages), ni à un Plan de Prévention des Risques, les effets du séisme sur les sites doivent être évalués par des

spécialistes en géotechnique ou en géophysique qui définiront l'ensemble des précautions à prendre et les éléments du calcul sismique propres au site (coefficient de sol, spectre de réponse, coefficient topographique, etc).

3.2.2. Effets directs des séismes

3.2.2.1. Rejet de faille en surface

Le risque lié au *rejet d'une faille* (déplacement apparent du sol en surface de part et d'autre du plan de faille lors d'un séisme) ne doit pas être négligé. En effet, ce déplacement peut varier de quelques centimètres à plusieurs mètres.



Figure 19 : « Décrochement » dans une station-service lors du séisme d'Izmit (Turquie) en août 1999.

En rouge, le tracé de la faille, en noir (flèches) les évidences d'un déplacement de l'ordre de 2 mètres, en orange l'alignement décalé des pompes, en bleu l'alignement décalé de la bordure de plateforme. (Cliché H. Grooser)

Un hôpital implanté sur un plan de faille présentant un important rejet en surface se verrait gravement affecté voire totalement détruit. Le rejet de faille en surface est possible pour les séismes superficiels de magnitude supérieure à 5,5.

En Haïti, c'est surtout sur le tracé de la faille d'Enriquillo-Plantain que le problème concerne des zones urbanisables et urbanisées. Des décrochements supérieurs à un mètre pour des magnitudes supérieures à 7 ne peuvent être exclus.

Les signes évidents de tracés de failles, de type escarpement, incitent à tenir les constructions à l'écart. Mais lorsque la faille n'est pas visible en surface, seule une cartographie précise issue d'études approfondies peut renseigner.

En Haïti, le Bureau des Mines et de l'Energie centralise les résultats des recherches en cours et peut renseigner sur les tracés connus des failles. Une distance minimum de 1 km aux tracés supposés doit être retenue en attente de cartes précises.

3.2.2.2. Subsidence et surrection

En cas de séisme superficiel de magnitude élevée, la topographie peut se voir modifiée par *surrection* (élévation de l'altimétrie) ou *subsidence* (abaissement de l'altimétrie). Le phénomène n'est pas intrinsèquement dangereux, mais des zones littorales peuvent se retrouver immergées en cas de subsidence.

Les études ont montré que le séisme du 12 Janvier 2010 a provoqué la surrection d'une section de 50 km de long de la côte ouest de Port-au-Prince sur une soixantaine de centimètres de haut et une subsidence vers Léogane.



Figure 20 : Vue du littoral vers Léogane, un an et demi après le séisme du 12 janvier 2012. On observe les effets d'une subsidence de quelques décimètres, le littoral s'est affaissé. Des arbres, des anciennes plages et des bâtiments et murs sont partiellement sous le niveau de la mer. (Cliché P. Balandier)

Ces phénomènes sont rares, mais pour d'autres raisons (marées cycloniques, tsunamis) les établissements de santé ne doivent en aucun cas être implantés en zone littorale à basse altitude.

3.2.3. Effets de site

3.2.3.1. Problématique

Lors des séismes, la distribution géographique irrégulière des dégâts s'explique le plus souvent par ce que l'on appelle *un effet de site*. L'effet de site est une modification des vibrations du sol du fait des caractéristiques topographiques ou géologiques du site.

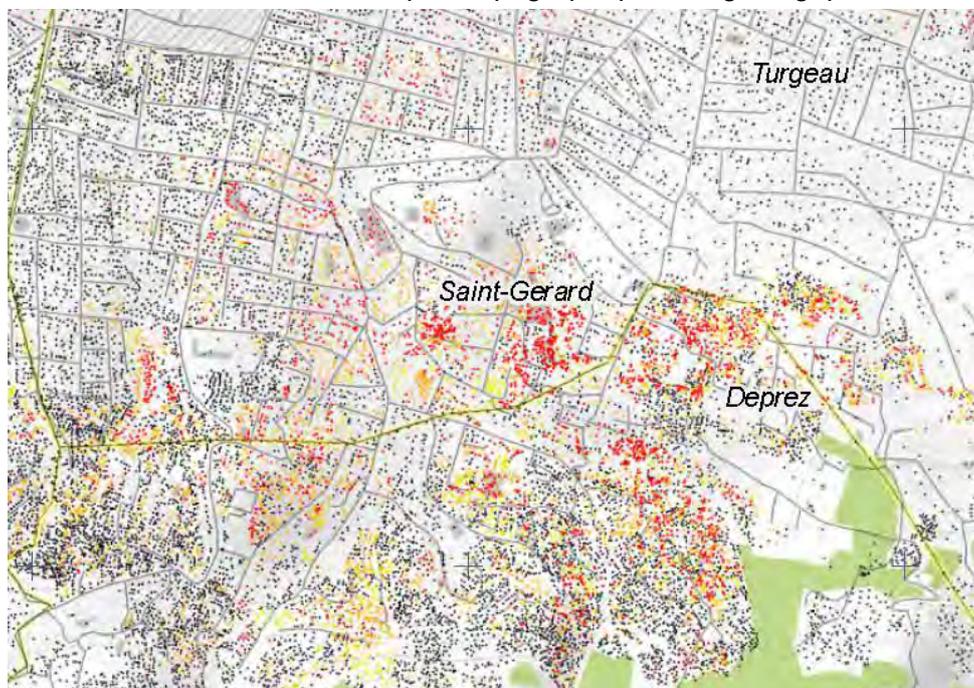


Figure 21 : Extrait d'une carte des dommages sur Port-au-Prince suite au séisme du 12 janvier 2010. Les points noirs sont des maisons ou immeubles non effondrés, les points orange et rouges des bâtiments partiellement ou totalement effondrés. On observe des concentrations de dommages qui sont vraisemblablement dues à des effets de site. (Source UNOSAT)

Ainsi certains sites sont susceptibles d'amplifier les secousses qui y parviennent. Leur fréquence propre de vibration devra être déterminée par des études géotechniques.

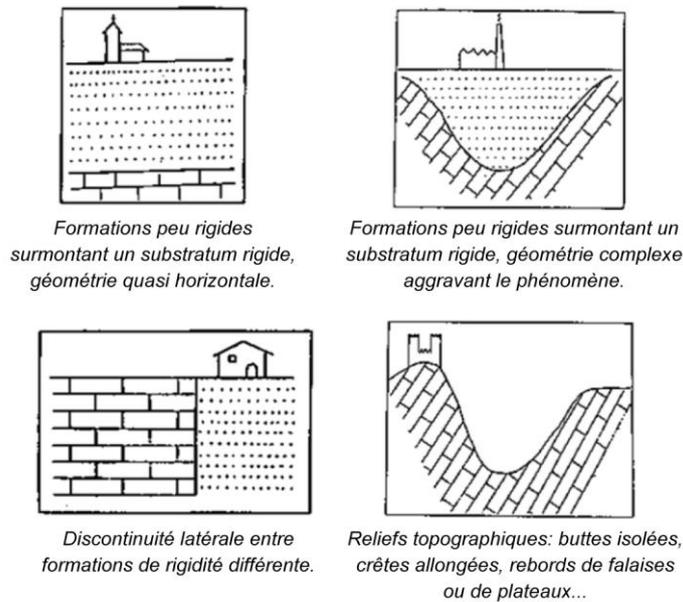


Figure 22 : Coupes schématiques sur les différentes configurations pouvant donner lieu à des effets de sites. Les remplissages à rectangles figurent un sous-sol rocheux. Les remplissages pointillés un sol meuble. (Document BRGM)

3.2.3.2. Effets de site géologiques

La traversée des couches de sols de densités beaucoup plus faibles que la roche sous-jacente par les ondes sismiques, favorise la réflexion de ces ondes sur les différentes interfaces, provoquant alors l'amplification et la prolongation des secousses sismiques à la surface. Le phénomène peut être sur-amplifié dans le cas où la couche de surface, composée de sols meubles, est profonde et se transforme en véritable caisse de résonance.

Ainsi, les ouvrages fondés sur un site amplifiant des fréquences défavorables doivent être renforcés. Un séisme modéré de magnitude 5,5 peut, sur un site très défavorable, avoir sur certains ouvrages, les effets d'un séisme de magnitude 7 sur un terrain sans effet de site amplifiant les secousses.

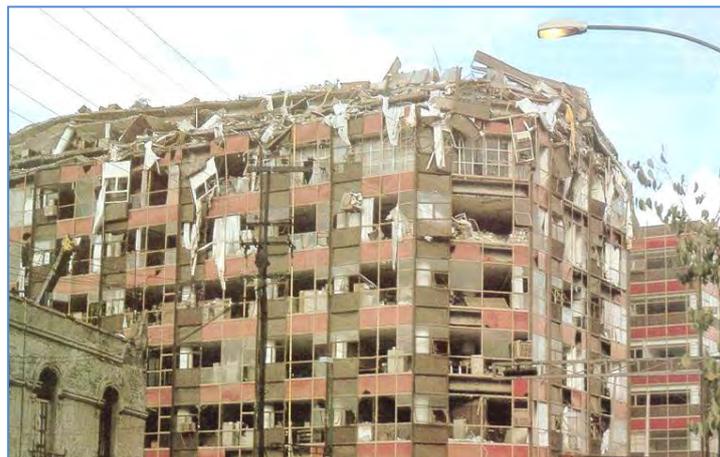


Figure 23 : Le phénomène de résonance a été remarquablement illustré à Mexico en 1985. La ville implantée à près de 400 km de l'épicentre, dans une cuvette sur 50 m de sols limoneux de faible consistance, a très fortement amplifié les oscillations d'une période de 2 s. Les immeubles dont une période propre d'oscillation était proche de celle du site se sont mis en résonance et se sont effondrés. Sur le cliché ci-dessus un bâtiment (au centre) entré en résonance est très endommagé. La petite maison en pierres (à gauche) et l'immeuble ressemblant (à droite), qui n'avaient pas plus de résistance, n'ont pas de dommages apparents. (Document NISEE)

On utilise les *spectres de réponse* des règles de construction parasismique en vigueur pour établir la valeur du coefficient d'amplification des effets de site. Certains codes, comme l'EC8, imposent également un coefficient de sol.

Seules les conclusions des études géotechniques permettent de se prononcer sur le choix du spectre à utiliser en fonction de la raideur du sol et de son épaisseur sur le substratum rocheux. Il est possible d'établir, à partir d'enregistrements des vibrations courantes ou sismiques, des spectres de réponse propres au site même.

Le séisme du 12 janvier 2010 a rappelé l'importance de la prise en compte de tels phénomènes notamment sur les formations alluviales dans les plaines et aux abords des rivages. En effet, la carte des intensités des dommages causés par le séisme montre nettement une répartition très irrégulière des dommages à Port-au-Prince, alors que la résistance objective des constructions ne le justifiait pas. Parmi ces zones :

- La partie basse de Port-au-Prince (centre-ville), où le sol est constitué d'alluvions surmontés, par endroits, de remblais récents ;
- A Carrefour, sur les formations alluviales récentes ;
- A Fort National, en présence de formations meubles sur de grandes épaisseurs de géométrie complexe.

3.2.3.3. Effets de site topographiques

Une deuxième catégorie d'effets de site est liée à la topographie du site (sommet des mornes, tête de talus, rebord de plateau ou de falaise, etc.). La réflexion des ondes sismiques au sein de ces reliefs amplifie les secousses du sol.

Les zones de rupture de pente surplombant des hauteurs significatives, sont exposées à ce type d'amplification. Après le 12 janvier 2010, on l'a observé sur les nombreux mornes qui surplombent la basse ville de Port-au-Prince.

Certains codes de calcul sismique définissent clairement les critères de localisation des zones exposées et indiquent quel coefficient d'amplification utiliser. Le mode d'appréciation diffère quelque peu, d'un code à l'autre, mais le coefficient d'amplification topographique dépend de l'angle formé en haut de la pente, de la hauteur de cette pente et de la distance à la rupture de pente.



Figure 24 : La concentration de dommages, sols et bâtiments, à proximité d'une crête à Turgeau, lors du séisme du 12 janvier 2010 a sans doute été favorisée par un effet de site. (Document CIAT)

A proximité d'une rupture de pente, il faut vérifier s'il y a lieu d'augmenter l'accélération de calcul, et si oui, de combien.

Deux exemples d'approches

L'EC8 mentionne des critères, dont une hauteur de butte minimum de 30 m pour prendre en compte un coefficient topographique, et renvoie à une méthode de calcul des distances (au choix) qui a fait ses preuves.

Coefficient topographique selon l'EC8 - Annexe A (Informative) (Coefficient ST)

A.1 Cette annexe fournit certains coefficients simplifiés d'amplification de l'action sismique, utilisés dans les vérifications de stabilité des pentes. Ces coefficients, notés ST, sont considérés, en première approximation, comme indépendants de la période fondamentale de vibration et, par là-même, multiplient par un facteur constant les ordonnées du spectre de réponse élastique de calcul donné dans l'EN 1998-1:2004. Il convient d'appliquer ces coefficients d'amplification de préférence lorsque les pentes font partie d'irrégularités topographiques bidimensionnelles, comme les **buttes et versants longs de hauteur supérieure à environ 30 m**.

A.2 **Pour des inclinaisons moyennes des terrains en pente, inférieures à environ 15°, les effets topographiques peuvent être négligés**, alors qu'une étude spécifique est recommandée dans le cas d'une topographie locale fortement irrégulière. Pour des inclinaisons plus importantes, les indications suivantes sont applicables :

(a) **Versants et pentes isolés**. Il convient d'utiliser une valeur ST .1,2 pour les sites situés à proximité de la crête ;

(b) **Buttes** dont la largeur de la crête est notablement inférieure à la largeur à la base. Il convient d'utiliser une valeur ST .1,4 à proximité de la crête des pentes dont l'angle d'inclinaison moyen est supérieur à 30°, et une valeur ST .1,2 pour les angles inférieurs ;

(c) **Présence d'une couche lâche en surface**. Dans le cas d'une couche lâche en surface, il convient d'augmenter la valeur de ST, donnée en (a) et (b), d'au moins 20 % ;

(d) **Variation spatiale du coefficient d'amplification**. On peut admettre que la valeur de **ST décroît linéairement**, en fonction de la hauteur au-dessus de la base du versant ou de la butte, jusqu'à valoir un à la base.

A.3 En général, l'amplification sismique décroît rapidement à l'intérieur de la butte. C'est pourquoi les effets topographiques à considérer pour les analyses de stabilité sont plus importants et restent pour la plupart superficiels le long des crêtes de buttes ; ils sont beaucoup plus faibles dans le cas de glissements de terrain profonds pour lesquels les surfaces de rupture passent à proximité de la base. Si dans ce dernier cas la méthode d'analyse pseudo-statique est utilisée, les effets topographiques peuvent être négligés.

Les anciennes règles françaises (PS-92) proposent une hauteur minimum de 10 m pour prendre en compte un effet topographique, ce qui est peut-être un peu trop prudent, mais leur méthode de calcul confirme ce que propose l'EC8 : la zone concernée n'est pas large, et l'amplification dont le maximum atteint 40% (coefficient 1,4) décroît rapidement vers l'aval et vers l'amont de la rupture de pente.

Exemple de calcul du coefficient topographique τ selon les règles françaises dites PS-92.

Soit un morne de hauteur H , et de projection horizontale L . Sa pente (i) vaut H/L . (par exemple 1, ou 100%, si $H = L = 50$ m)

Le site (i) situé en arrière de la rupture de pente est quasi horizontal (par exemple 0,03 ou 3%)

5.24

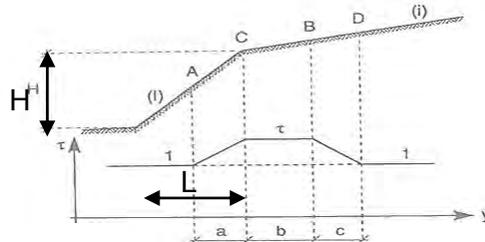


Figure 5.24

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.

Si la hauteur est faible, $H < 10$ m, il n'y aura pas d'amplification topographique. $\tau = 1$.

Le coefficient topographique dépend de l'angle formé par (I) et (i), qui est la différence (I-i)

si $I-i < 0,40$ (angle très ouvert)

$\tau = 1$ (pas d'effet topographique)

si $0,4 < I-i < 0,9$ (angle marqué)

$\tau = 1 + 0,8 (I-i - 0,4)$ (τ compris entre 1 et 1,4)

si $I-i > 0,9$ (angle très marqué)

$\tau = 1,4$ (coefficient τ maximum)

Cette valeur de τ est appliquée sur la distance CB (distance déterminée à l'arrière de la ligne de rupture de pente C). Elle doit être réduite en s'éloignant de cette zone jusqu'aux points A vers l'aval et D vers l'amont.

CB = valeur minimum entre 20l et (H+10)/4

dans notre exemple $20l = 20$, $(H+10)/4 = 15$,

soit $CD = 15$ m. $\tau = 1,4$ pour tout bâtiment dont une partie se trouve à moins de 15 m du bord de la pente

AC = H/3

Dans notre exemple $AC = 50/3 = 17$ m. Un bâtiment dont la partie la plus proche de la rupture de pente se trouve à 8,5m à l'aval de cette ligne (mi-distance AC) a un coefficient $\tau = 1,2$ (amplification réduite de moitié)

BD = H/4

Dans notre exemple $BD = 50/4 = 12,5$ m. Un bâtiment dont la partie la plus proche de la rupture de pente se trouve à 21 m à l'amont de cette ligne (mi-distance BD) a un coefficient $\tau = 1,2$ (amplification réduite de moitié)

Même si le code utilisé n'exige pas la prise en compte d'un coefficient topographique, le phénomène ne doit pas être négligé, et un retrait sur la rupture de pente est souhaitable.

3.2.4. Effets induits par les secousses sismiques

3.2.4.1. Liquéfaction des sols

La *liquéfaction* est un phénomène qui se produit sous l'effet des vibrations dans certains sols très meubles saturés d'eau. Les surpressions dans l'eau provoquent la perte de résistance par déconsolidation du matériau. Cette déstructuration du sol rend particulièrement instables les constructions qui y reposent, par perte de portance du sol de fondation. Ce phénomène s'accompagne de jets d'eau et de sable sous pression projetés vers la surface fissurant la couche de surface avant de retomber.



Figure 25 : Enfoncement vertical d'une construction lors du séisme de Mexico 1985. (Document SERVICIO SISMOLOGICO NACIONAL)

Figure 26 : Basculement d'un bâtiment déstabilisé lors du séisme d'Izmit, Turquie 1999. (Cliché mission AFPS)
Ce bâtiment sur radier s'est enfoncé dans le sol de façon non symétrique. Lorsque le centre de gravité est sorti de la base il a basculé. Son encastrement dans le sol a stoppé sa course.

Si le tassement dû à la liquéfaction n'est pas homogène sous un bâtiment mal fondé, il bascule et peut s'effondrer sous son propre poids. Les ondes S qui déforment la construction ne se propagent pas dans le sol, momentanément « liquide ». Ce sont les ondes P, ondes de compression qui génèrent le phénomène de liquéfaction.

La liquéfaction des sols concerne particulièrement les formations géologiques définies par les critères suivants :

- Nature du sol (sables fins, limons et certaines argiles) ;
- Faible cohésion (faible densité) ;
- Saturation en eau (dans la nappe phréatique au moins une partie de l'année) ;

Le type de granulométrie du sol conditionne le phénomène, et c'est un des premiers éléments de l'étude de sol pour déterminer le phénomène possible.

La caractérisation des zones potentiellement liquéfiables passe par l'identification des zones qui se sont liquéfiées dans le passé et surtout par l'identification des formations géologiques susceptibles de se liquéfier, et cela sur une profondeur de 0 à 25 mètres.

De nombreux exemples de liquéfaction ont été observés suite au tremblement de terre du 12 Janvier 2010 (Port-au-Prince, Carrefour, Léogane). Les plus spectaculaires sont ceux qui se sont produits dans la zone portuaire de Port-au-Prince.



Figure 27 : Observation des dégâts après liquéfaction ; les amas de sable, qui remontent des couches semi-profondes sous l'effet des surpressions d'eau sont caractéristiques du phénomène. (Cliché BRGM)

Figure 28 : Déplacement latéral d'un quai à Port-au-Prince, sur une zone liquéfiée. (Document EERI-USGS)



Figure 29 : Liquéfaction modérée, mais qui a imposé l'évacuation de plusieurs bâtiments légèrement basculés dans un centre de soins à Port-au-Prince, suite au séisme du 12 janvier 2010. (Clichés P. Balandier)

Une carte préliminaire des secteurs potentiellement exposés à la liquéfaction en Haïti a été diffusée après le séisme du 12 janvier 2010. Elle n'est pas directement utilisable pour les projets, mais confirme la sensibilité a priori des sols alluvionnaires des plaines et littoraux « récents » au sens géologique du terme, donc peu consolidés.

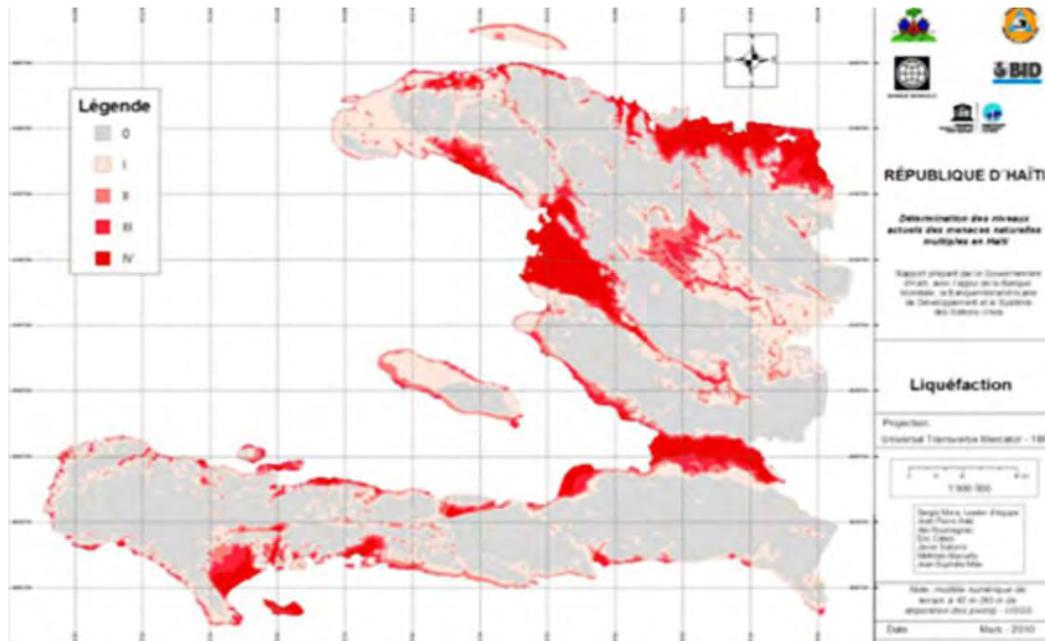


Figure 30 : Cartographie préliminaire des plaines et littoraux potentiellement exposés à la liquéfaction en Haïti, basée sur les informations issues de la carte géologique d'Haïti et des données Vs30. (Document Wald et al. 2007)

Pour apprécier localement l'aléa de liquéfaction sur un site, il faut se reporter en premier lieu aux documents cartographiques communaux si ceux-ci existent, même s'ils ne fournissent que des indications sommaires sur le potentiel de liquéfaction des sols (suspicion de liquéfaction). Pour tout projet de construction sur des formations suspectes, le géotechnicien doit évaluer l'aléa de liquéfaction par une série précise d'essais, pour déterminer la susceptibilité réelle du sol à liquéfier.

3.2.4.2. Tsunamis

Un tsunami est une onde provoquée par le déplacement rapide d'un grand volume d'eau. Il diffère des vagues provoquées par le vent cyclonique qui affectent la surface de l'eau. Le tsunami peut être dû à un séisme violent, mais aussi à un grand glissement de terrain, à une éruption volcanique sous-marine, ou encore à la chute d'une météorite. Il s'agit d'un phénomène très énergétique et dévastateur pouvant générer des submersions sur plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres.

Pour qu'un séisme provoque un tsunami, sa magnitude doit être élevée et son foyer doit se trouver sur une faille sous-marine présentant un rejet en mer.

En Haïti, la faille d'Enriquillo s'étend essentiellement à travers les terres. Elle se poursuit en mer, au large de Tiburon, en direction de la Jamaïque et est associée à des failles secondaires en mer, notamment dans la région de Léogane. La probabilité qu'un tsunami majeur soit déclenché par un séisme sur les segments sous-marins de cette faille est faible. Elle peut toutefois être à l'origine de tsunamis locaux, comme le 12 janvier 2010 sur une faille secondaire sous-marine.

La faille septentrionale située en mer présente un risque plus important, mais son mécanisme en décrochement est moins menaçant qu'un rejet de faille subductée. Toutefois, sa proximité des côtes et les faibles altitudes de certaines zones urbanisées dans le nord du pays créent un contexte menaçant confirmé au Cap Haïtien lors du grand séisme de 1842 qui a submergé les bas quartiers.

Bien que les failles proches ne présentent qu'une menace limitée, les côtes haïtiennes sont exposées à des tsunamis de sources beaucoup plus éloignées, comme l'histoire en a déjà témoigné.

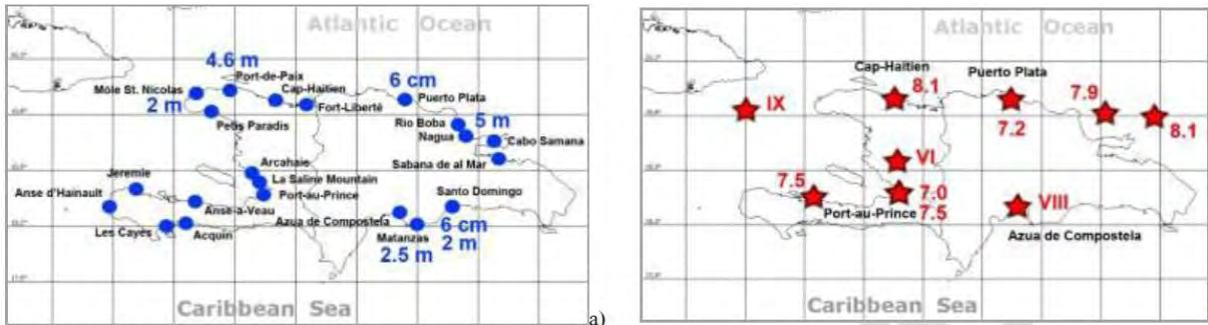


Figure 31 : Localisation des séismes et des tsunamis historiques associés. (Source : Mora Sergio et al., MULTIMENHAS-2, 2011)

Date	Localisation	«Runup» (m) et description
18 Octobre 1751	Azua de Compostela, Santo Domingo (RD)	Vagues ont causé des dégâts
3 Juin 1770	Archaïe, Port-au-Prince, La Saline, Golfe de la Gonave (HA)	Tsunami en HA
11 Février 1775	Hispaniola	Tsunami a causé des dégâts importants
7 Mai, 1842	Côte septentrionale d'HA	2,1m
	Port-de-Paix (HA)	4,6m
	Santo-Domingo, (RD)	1,6m
8 Avril 1860	Les Cayes, Acquin, Golfe de la Gonave (HA)	Tsunami en HA
23 Septembre 1887	Anse d'Hainault, Golfe de la Gonave, Jérémie, Môle St. Nicolas (HA)	Tsunami en HA, 7 personnes tuées et 2,500 affectés
4 Août 1946	Côte de Matancitas (RD)	2,4m; 1.790 personnes tuées
	Northern coast of Hispaniola	4,6m
8 Août 1946	Sabana del Mar, Santo Domingo (RD)	Tsunami en RD
31 Mai 1953	Puerto Plata (RD)	Tsunami en RD
12 Janvier 2010	Santo Domingo (RD)	5-15cm
	Petis Paradis (HA)	3m

Sources: 1701-1963/Observatoire du Petit Collège Saint-Martial (in Mora, 1986); 1968-1985/Croix Rouge Haïtienne; 1983-1997/ OPDES; 2000-2001/DPC; 2002-2008/CREd; sept 97 à oct 2000 et oct 2002 à avril 2003; période manquante d'information

Figure 32 : Tableau des tsunamis identifiés en Haïti et en République Dominicaine. (Source : Mora Sergio et al., MULTIMENHAS-2, 2011)

Les cartographies de bathymétrie (topographie sous-marine) et de topographie littorale permettent à des experts de se prononcer sur l'étendue des zones exposées. Pour Haïti, une carte générale indicative a été diffusée, mais les études précises en vue d'un zonage restent à faire.

On retiendra en première approche que les baies à haut fonds, et aux littoraux à faible altitude sont plus exposées. Et, en attendant les zonages des zones exposées, on n'implantera aucun établissement de santé à basse altitude à proximité de la mer (pour la catégorie d'importance IV au dessus de 15 m, pour la catégorie d'importance III au dessus de 10 m).

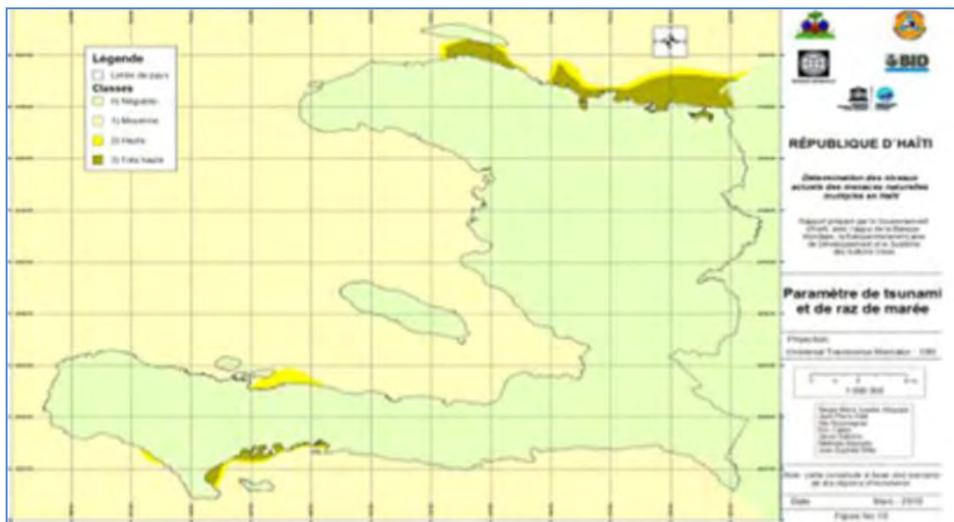


Figure 33 : Carte préliminaire des régions les plus exposées. (Source : Mora Sergio et al., MULTIMENHAS-2, 2011)

3.2.4.3. Glissements de terrain, éboulements, tassements de sol, ruptures de cavités

On peut distinguer deux grandes familles de mouvements de terrain [Source : Guide PPRR ; F. Leone]:

Les mouvements lents et continus, provoquant des déformations progressives sans accélération brutale :

- Les tassements différentiels, par retrait /gonflement de certains matériaux argileux, ou bien par surcharge de certains terrains compressibles (vases, tourbes) ;
- Les affaissements liés à la présence de cavités souterraines naturelles ou artificielles, amortis par des sols souples en surface ;
- Les phénomènes de tassement de versants rocheux et fracturés ou de fluage de matériaux plastiques sur faible pente ;
- Les glissements lents, qui correspondent au déplacement en masse de sols cohérents.

Les mouvements rapides et discontinus :

- Les effondrements, qui résultent de la rupture brutale du toit de cavités souterraines naturelles ou artificielles, sans atténuation par les terrains de surface ;
- Les chutes de pierres et de blocs et les écroulements de pans de falaises ou d'escarpements rocheux ;
- Certains glissements rapides rocheux ou argileux, en phase d'évolution finale ;
- Les coulées de terre ou de débris ;
- Les coulées boueuses plus ou moins fluides qui peuvent se propager sur de grandes distances (lavalas, etc.).

L'apparition de certains de ces phénomènes parmi les plus dangereux dépend de la conjonction de plusieurs facteurs qui ont tous pour effet de diminuer la résistance mécanique du sol :

- La pente trop importante des terrains et l'existence de plans de rupture préférentiels ;
- La nature, l'épaisseur, les propriétés mécaniques et le degré d'altération des terrains (sols peu consolidés, fracturés) ;
- La pluviosité et la qualité du drainage ;
- L'érosion naturelle des sols ;
- L'action anthropique (déboisement des pentes, érosion en pied de talus).

S'il est envisagé de construire un établissement hospitalier sur une pente ou à l'aval d'une pente, il est impératif qu'une étude géotechnique atteste que cette pente est stable. Aucun établissement de santé ne peut être envisagé sur un site instable ou même simplement non vérifié.

Glissements de terrain et chutes de blocs :

Le séisme de janvier 2010 a provoqué de nombreux glissements de terrain et chutes de blocs, notamment dans les vallées de Bourdon et Canapé Vert (Port-au-Prince). Les causes sont, d'une part, la nature peu consolidée des terrains en pente (sols détritiques calcaires) et d'autre part, la densité de construction des versants avec de nombreux terrassements et talus (effet domino) [Source : AFPS].



Figure 34 : Eboulements ayant entraîné des constructions le 12 janvier 2010. (Route du Canapé Vert). (Document BRGM)



Figure 35 : Chute de blocs détachés d'une falaise dominant un quartier urbain lors du séisme de la province du Sichuan en Chine le 17 mai 2008. (Cliché AP/Andy Wong)

Un macrozonage indicatif des régions haïtiennes les plus exposées aux aléas de glissement de terrain et d'éboulement, a été réalisé à partir des caractéristiques géologiques, de la topographie, du degré de saturation en eau, de l'activité sismique ainsi que de l'intensité des pluies à Haïti [Source : Mora-Vahrson].

Les grandes zones exposées aux mouvements de terrain sont signalées sur la carte, toutefois compte tenu de son échelle, elle n'est pas directement utilisable pour les projets.

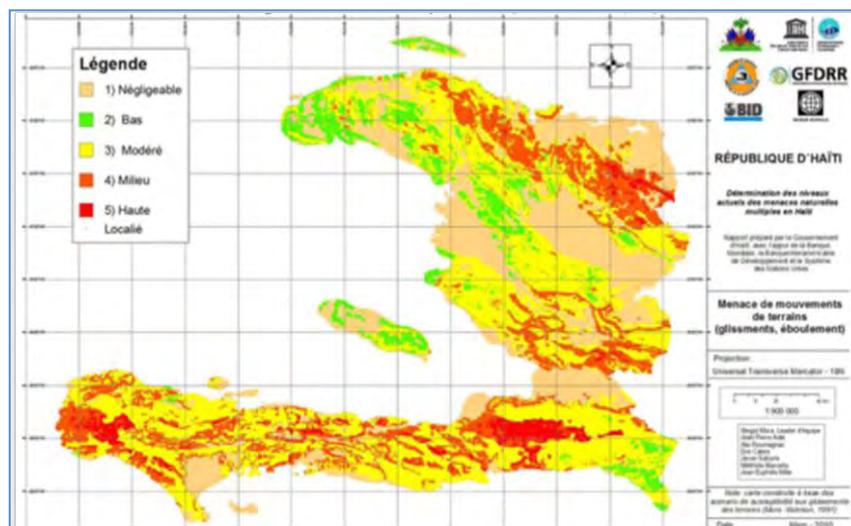


Figure 36 : Macrozonage de l'aléa instabilité de pente. (Source : Mora-Vahrson Method; 1991)

Une étude géotechnique des pentes d'implantation et des pentes en amont est impérative si un tel site est envisagé pour la construction d'un établissement de santé. Elle préconisera pour les risques mineurs les mesures de protection et de prévention à prendre (soutènement, traitement, éviction du site, etc.). Lorsque des mouvements de grande ampleur sont possibles, l'interdiction de construire est la seule solution.

N.B. : Si le futur établissement n'est accessible que par une seule route, et en général dans les sections rurales, il convient de vérifier que les populations concernées ne peuvent pas se trouver privées d'accès aux soins par un vaste glissement de terrain.

Effondrements de cavités :

Dans le cas des effondrements de cavités, le sol peut présenter en première étude les caractéristiques d'un sol résistant et être fragilisé par la présence de ces cavités souterraines. Les zones à risque sont les sites d'anciennes carrières ou d'anciennes mines ou encore les karsts (cavités naturelles dans des sols composés de calcaire, de gypse, de dolomie, etc.). Dans ces zones, il convient de consulter un géotechnicien et de réaliser des sondages dans l'emprise des fondations.



Figure 37 : Effondrement de cavité souterraine calcaire à la Barbade en novembre 2007. (Source Barbados Free Press)

Les tremblements de terre ont pour effet de générer, d'accélérer ou d'amplifier ces phénomènes.

Même sur site rocheux, des sondages destructifs doivent vérifier que les fondations ne se trouvent pas sur une cavité de surface.

3.2.4.4. Effets anthropiques (origine humaine)

Les effets anthropiques sont les conséquences des mauvaises décisions humaines : effondrement de bâtiments non parasismiques sur des bâtiments ou voies limitrophes, ruptures de barrages, action de remblais lourds sur sols instables, purge des terrassements sans soutènement, incendies, explosions, pollutions, etc.

On ne peut prétendre maîtriser tous les facteurs d'effets induits anthropiques. Cependant une discipline d'observation du site, d'investigations sur retour d'expérience, d'études géologiques ou géotechniques en rapport avec les enjeux de la construction en projet, et la prise de décisions politiques en termes de programmation et de documents d'urbanisme permettent de réduire sensiblement les aléas liés aux effets induits anthropiques.

L'application de règles strictes lors de la construction d'un nouvel établissement de santé le protégera de son environnement. Ces règles doivent également protéger l'environnement de l'établissement du fait de sa construction ou de sa gestion.

Ainsi, bien que le sujet soit complexe, et dépasse l'objet strict de la sismologie appliquée à la construction, avec des incidences éventuellement lourdes sur la programmation et le budget,

il est souhaitable, pour une véritable démarche parasismique, de prendre en considération l'environnement qui sera construit et sa vulnérabilité.



Figure 38 : Propagation à grande échelle d'un incendie post-sismique ayant entraîné des morts et la perte d'un grand nombre de bâtiments parasismiques. Séisme de Kobé, 1995. (Document NISEE – USA)

On évitera toute implantation d'établissement de santé dans le périmètre de sûreté d'une installation chimique, pétrochimique ou l'exposant aux conséquences d'une explosion. En ville, il est souhaitable que la parcelle permette d'éviter la mitoyenneté avec des bâtiments tiers, à moins que des précautions particulières soient prises (par exemple, murs en béton armé « coupe-feu »).

3.3. Eléments des aléas climatiques

3.3.1. Généralités

Pour répondre de façon efficace à l'afflux de blessés victimes d'ouragans, les établissements de santé se doivent de rester opérationnels.

L'établissement sera soumis du fait des aléas climatiques à : des efforts de vent, des sollicitations liées à des projectiles et des sollicitations liées aux précipitations. Les effets dus à l'augmentation du niveau des mers et cours d'eau ne doivent pas non plus l'affecter.

Pour que ces établissements restent opérationnels il faut que leurs éléments structurels et non-structurels ne soient pas endommagés, ou que les dommages n'entraînent pas de conséquence fonctionnelle.

3.3.2. Effets dus au vent

La pression exercée sur une surface, sur un mur par exemple, est proportionnelle au carré de la vitesse du vent qui est à l'origine de cette pression. Un vent de 200 km/h a une action 4 fois plus importante qu'un vent soufflant à 100 km/h. Dans la zone nord Caraïbe, les constructions peuvent être exposées à des vents de 240 km/h (ouragan de classe 4). Cette valeur de vitesses de vent correspond à une pression dynamique de l'ordre de 310 kg par mètre-carré (près de 2600 Pascals en unité internationale).

L'ensemble des règles de calcul de la résistance au vent du code de construction en vigueur doit être respecté en tenant compte de la vitesse de vent légale pour la zone, et des coefficients propres au site et au bâtiment (selon sa géométrie).

La vitesse du vent, et donc la pression dynamique sur les surfaces, varient en fonction du site, et à ce titre sont affectées d'un coefficient de site et d'un coefficient de hauteur de la construction par rapport au sol.

Localement, certains sites amplifient ou réduisent la vitesse du vent à basse altitude en raison de leur topographie (orographie), ou de l'urbanisation et de la végétation significative (rugosité). Le « freinage au sol » est fonction de la rugosité de celui-ci ; ainsi la mer « freine » moins qu'une prairie plate et dénudée, cette dernière moins qu'une contrée boisée et une telle contrée moins qu'une agglomération urbaine.

On distingue globalement 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, afin de tenir compte des caractéristiques propres du site de construction, la vitesse de base (vent de référence) est pondérée en fonction du contexte.

Zones côtières

Les bâtiments situés en zone côtière (un kilomètre environ) sont plus exposés aux vents qui n'ont pas subi de ralentissement par la rugosité continentale. Pour les constructions en bordure du littoral sous effet du vent en bord de mer, on majore la pression de base par un coefficient de site à vérifier selon la méthode de calcul utilisée.

Topographie

En outre, la topographie peut également augmenter la vitesse des vents de façon significative. Un coefficient d'orographie majorant la pression dynamique de base doit être appliqué sur une distance définie par le code de construction en vigueur :

- A proximité de bords de falaises ;
- Sur les pentes à proximité des sommets des *collines* et montagnes.

Toutefois, sauf impératif, il est souhaitable d'éloigner les établissements de santé des bords de pente, les simples « vents forts » pouvant gêner l'activité courante.

N. B. : Les vallées, selon leur orientation relative à la direction des vents peuvent également avoir un effet de « couloir d'accélération ».



Figure 39 : La figure illustre les flux de vent ascendants qui viennent s'ajouter le long d'une pente, et qui créent des surpressions au sommet. (Source X)

Effets de masque

Des effets plus locaux peuvent amplifier ou réduire la vitesse des vents : urbanisme, ou présence de grands arbres résistants par exemple. L'effet de masque est reconnu par les règles de calcul lorsqu'une construction est masquée partiellement ou totalement par d'autres constructions ayant une grande probabilité de durée.

L'effet de masque peut se traduire :

- soit par une aggravation des actions du vent, lorsque la construction située derrière le masque se trouve dans une zone de sillage turbulent ;

- soit par une réduction des actions du vent dans les autres cas. Les pressions dynamiques de base peuvent alors être réduites.

Un coefficient de rugosité minorant peut être adopté en site urbain.



Figure 40 : L'effet de masse de l'urbanisation ralentit la vitesse des vents en ville entre les bâtiments, mais localement, des alignements sur rue peuvent accélérer la circulation du vent. (Source ENSAM)

Projectiles

Les vents violents qui accompagnent un cyclone transportent des objets et débris qui se transforment en projectiles pouvant endommager les constructions. A ce titre, les vitrages qui assurent la protection contre le vent 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 qu'il convient de prendre en compte. En effet, un vent violent sur un sol détremé par la pluie peut entraîner le déracinement de certains arbres ou plantes et casser des branches qui pourraient se voir projetées sur le bâtiment.

3.3.3. Effets dus aux pluies

Les pluies et leurs conséquences sont globalement plus meurtrières que les vents violents, et sont redoutées même en cas de vitesses de vents « modérées ». Les sols gorgés d'eau, les rivières encaissées débordant en crues torrentielles, et la montée des eaux ralenties dans les plaines à l'aval, sont associés à des éboulements, à des glissements de terrain, à des coulées de boues, etc.

Il n'y a pas de règle pour les quantités de pluies générées par un cyclone. Certains ouragans de forte intensité sont plutôt " secs ", ne donnant que quelques dizaines de millimètres d'eau lors de leur passage. D'autres, dont les vents sont plus modérés, peuvent provoquer des inondations et glissements de terrains meurtriers (cf. Tempête Jeanne en 2004).

C'est en étudiant la structure nuageuse et pluvieuse (grâce notamment à l'imagerie et autres informations provenant des satellites météorologiques et radars de précipitations) que les spécialistes déterminent le potentiel précipitant d'un cyclone.

Rentrent en compte :

- Le relief montagneux, qui amplifie les mouvements verticaux et donc, l'instabilité et les processus de condensation de la vapeur d'eau ;
- L'orientation de la trajectoire du système pluvieux par rapport à celle d'une chaîne montagneuse qui peut constituer un obstacle naturel ;
- La vitesse de déplacement du cyclone, dont la lenteur accentue les quantités de pluies/heure, le phénomène séjournant alors plus longtemps au même endroit.

Des pluies diluviennes peuvent survenir avec ou sans formation d'ouragan. L'impact des pluies sera d'autant plus sévère que certains éléments de l'ouvrage, toiture, portes d'entrée, fenêtres ou autres éléments de l'enveloppe extérieure, auront subi des dommages.

Ainsi, les inondations peuvent également affecter de façon inacceptable le fonctionnement de l'établissement et causer des dommages à l'infrastructure des bâtiments.

La première question posée par les pluies cycloniques est celle des littoraux et plaines inondables. Il s'agit d'un problème hydraulique et topographique. L'analyse des connaissances historiques des événements passés est très utile et ne doit pas être négligée, mais le déboisement, l'augmentation des surfaces construites et imperméabilisées (asphaltées), les terrassements et aménagements, et les changements climatiques aggravent l'exposition de certains sites.

Les études doivent permettre d'identifier la vitesse potentielle des flux (régime torrentiel ou non) et les niveaux des crues. En cas de zones déboisées, l'instabilité des sols provoque des coulées de boues en aggravation.

Zones inondables

En fonction des résultats des études hydrogéologiques et topographiques, les plans de prévention des risques lorsqu'ils existent, prononcent soit des interdictions totales de construire et de déboiser, soit des autorisations d'aménagements limitées (activités de loisirs, infrastructures), soit des prescriptions conditionnant les autorisations de construire (stabilisation des terrassements, drainages, non-aménagement des rez-de-chaussée pour la résidence, etc.).

Ces différents niveaux de protection sont traduits par un zonage « inondation ».

En l'absence de zonage, on retiendra que toute zone ayant été inondée ou menacée de l'être au moins une fois par le passé doit être évitée.

Aucun établissement de santé ne doit être implanté en zone inondable ou sur laquelle le moindre doute existe. En outre, même si le site est protégé, il faut vérifier qu'au moins une route d'accès non inondable permet l'accès aux soins des populations concernées.



Figure 41 : Plaine inondable. Cyclone Noël (2007) en République Dominicaine. (Source non identifiée)

Coulées de boue

Les coulées boueuses consistent en la propagation de matériaux sans cohésion ou ayant perdu leur cohésion mélangés à une quantité d'eau telle que la masse a franchi sa limite de liquidité. Les matériaux susceptibles de perdre ainsi leur cohésion sont des argiles, des limons, des sols, des roches décomposées ou des éboulis fins.



Figure 42 : Blocs et boue charriés pendant la tempête tropicale du 9 novembre 2009 au Salvador (Région de San Vicente). (Photos Ricardo Lagos)

Les plaines situées à l'aval des pentes déboisées sont particulièrement menacées par les coulées de boue, mais cet aléa est difficile à cerner. Le Bureau des Mines et de l'Énergie (BME) sera consulté pour tout projet d'implantation dans une région sensible, notamment les plaines en pied de mornes déboisés.

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

La *houle cyclonique* provient des vents violents qui soufflent sur la surface de la mer autour du cœur cyclonique. Ces vents créent un courant très fort. Lorsque ce courant arrive au niveau du plateau continental ou tout près des terres, la poussée mécanique de l'eau de surface augmente la hauteur des vagues vers les rivages. Ce phénomène est d'autant plus important que le plateau continental est marqué.

En outre, l'effet de dépression dans l'œil "aspire" le niveau de la surface de la mer vers le haut, et ce d'autant plus que la baisse de pression atmosphérique est importante. Ce phénomène contribue aussi à l'amplitude de la *marée de tempête*.

La *surcote*, c'est-à-dire l'élévation du niveau de la mer, est maximale dans la partie où tous les effets se conjuguent, c'est-à-dire pour les cyclones habituels de la région Caraïbe qui se déplacent vers l'ouest, dans la zone nord-est de l'œil. Certains dénomment ce phénomène « extrême » *l'onde de tempête*, qui dure quelques dizaines de minutes le plus souvent, deux heures au maximum. Dans les zones où existe un grand plateau continental, c'est-à-dire où la mer reste peu profonde sur des kilomètres au large, les cyclones intenses peuvent provoquer une marée de tempête de plusieurs mètres.

Quant aux vagues, elles peuvent atteindre 15 à 20 mètres autour des ouragans majeurs. Cette houle se propage avec énergie à une distance importante hors du cyclone.

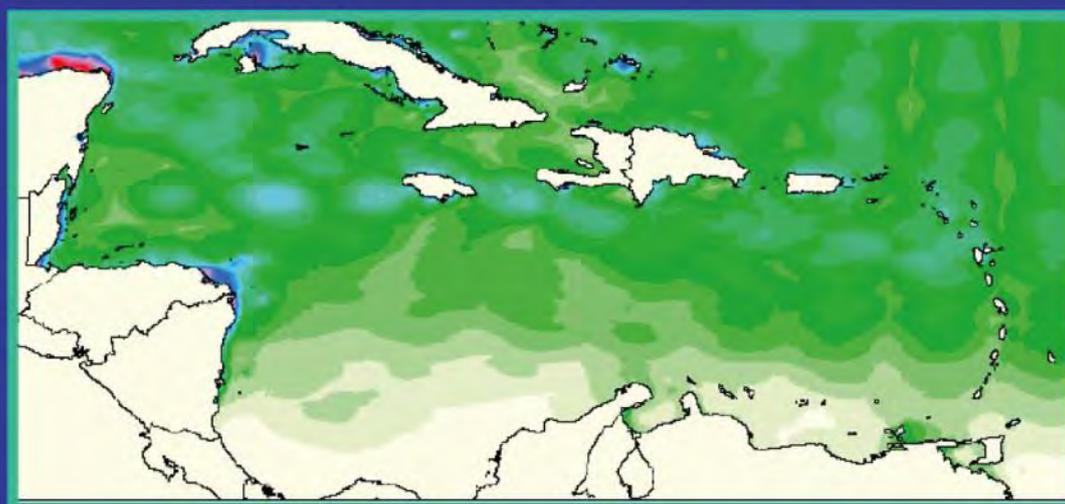


Figure 43 : Vues du Malecon de la Havane pendant et après le passage du cyclone Wilma (2005). Le haut parapet qui protège la ville des tempêtes ordinaires a laissé passer les vagues, puis ralenti le reflux. (Source non identifiée)



Figure 44 : Exemple de cartographie de l'aléa « submersion » (orange ou jaune selon la gravité) dans le centre-ville de Fort-de-France. Photo du front de mer inondé. De nos jours, sur des zones aussi exposées, la construction et les aménagements seraient limités. (Extrait du PPR de la ville de Fort-de-France et photo BRGM)

Cartographie probabiliste de l'aléa de surcote cyclonique pour une période de retour de 50 ans



Hauteur de surcote



Figure 45 : Carte indicative des probabilités de surcote cyclonique dans le Bassin caribéen pour une période de 50 ans. (Source Mora et al. 2010)

La surcote cyclonique potentielle maximum pour un endroit particulier dépend d'un certain nombre de facteurs. C'est un phénomène très complexe, sensible au moindre changement dans les caractéristiques de la tempête telles que son intensité, sa vitesse d'avancement, sa taille (rayon des vents maximum), son angle d'approche vers la côte et sa pression centrale (facteur moins important que le vent). La forme, les caractéristiques de la côte (estuaire, baie) ainsi que la pente du plateau continental (une pente faible produira potentiellement une surcote cyclonique plus élevée qu'une pente raide) influencent également le niveau de surcote cyclonique.

Les ondes de tempête peuvent affecter directement les établissements de santé construits près des côtes. Elles endommagent les structures par la pénétration d'eau dans les bâtiments à laquelle peuvent s'ajouter des dégâts causés par la force des vagues. En effet, l'eau pèse environ 1000 kg par mètre cube ; le martèlement continu et régulier des vagues peut détruire toute structure qui n'aurait pas été spécifiquement conçue pour résister à de telles forces.

D'autre part, les ondes de tempête ont également un impact destructeur sur les terres. En effet, l'élévation anormale de l'eau permet aux vagues de pénétrer à l'intérieur des terres et les courants créés par les marées s'ajoutent alors aux vagues pour éroder les plages et les côtes. Ainsi les bâtiments qui auront résisté à la force des vents cycloniques pourront malgré tout être sévèrement endommagés si leurs fondations sont affouillées et affaiblies par ces phénomènes d'érosion.

Les établissements de santé ne doivent pas être implantés à basse altitude (moins de 15 m) sur des zones littorales.

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

Il ressort de ce qui a été exposé plus haut, mais aussi des critères sociaux et médicaux « ordinaires », que le site « idéal » pour la construction d'un établissement de santé répond à une série d'exigences parfois difficiles à atteindre. Il faut allier notamment les nécessités de sécurité vis-à-vis des aléas naturels et urbains, la proximité des populations, la desserte routière efficace en toutes circonstances, et le coût d'acquisition et de viabilisation qui ne doit pas grever le budget de construction.

En ce qui concerne les aléas, les études sur site doivent permettre aux décideurs de peser le pour et le contre avant de déterminer le lieu d'implantation de l'établissement de santé projeté. L'atténuation des éventuels aléas présents sur la zone sera-t-elle financièrement accessible et techniquement fiable ?

Dans la plupart des cas, les risques pourront être atténués par des mesures abordables, mais parfois les solutions de traitement seront trop coûteuses, astreignantes, voire inexistantes, et imposeront donc le choix d'un autre site.

Sites à éviter absolument

En Haïti, pour des établissements de catégorie III (Enjeu élevé) ou IV (Sécurité civile), les caractéristiques pouvant amener à éviter un site sont variées. On évitera absolument :

- **La proximité immédiate de la faille d'Enriquillo** (déplacement en « décrochement » possible sous les installations et bâtiments), pas d'implantation à moins d'un kilomètre ;
- **Les pentes et bas de pentes dont la stabilité n'est pas avérée**, surtout si elles sont déboisées (glissements de terrains, éboulements, coulées de boue, etc.) ;
- **La proximité de bords de falaises ou les bas de falaises** (fracturations, éboulements, effets topographiques forts pour les vents comme pour les secousses sismiques, etc.) ;
- **Les littoraux et bords de rivières à basse altitude (moins de 15 m)** (houles et marées cycloniques, tsunamis, déplacements latéraux sur liquéfaction, etc.) ;
- **Les lits majeurs des rivières** (zones de crues, de coulées de boues, etc.). (La détermination de l'étendue potentielle d'un lit majeur nécessite la prise en considération de nombreux facteurs naturels et anthropiques. Pour mémoire, on se souviendra de la catastrophe des Gonaïves en 2004) ;
- **La proximité d'établissements et installations présentant des risques technologiques** (stockage ou transport de matériaux dangereux, aval de barrages anciens, lignes à haute tension, etc.). Il ne faut pas sous-estimer certaines « petites » installations quasi artisanales manipulant des produits toxiques ou inflammables, ou les quartiers urbains à fortes densités, développés de façon spontanée pouvant générer incendies et pollutions ;
- **La desserte du site par une voirie trop exposée à une perte de fonctionnalité** (voie étroite, inondable, exposée à des éboulements, des effondrements de construction, des 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).

Sites possibles, mais pouvant générer des surcoûts à intégrer dans le budget

Il conviendra également d'évaluer les sujétions propres au site qui pourraient entraîner des surcoûts immédiats ou à terme. Ce handicap potentiel devra être considéré par rapport aux avantages identifiés. Une étude des dépenses immédiates et des coûts d'usage sur dix ou vingt ans selon l'enjeu sera réalisée.

Pour exemple, un traitement de sol liquéfiable, ou un surcoût de structure lié à un effet de site pourront entraîner des frais acceptables s'ils sont compensés, par ailleurs, par des économies (terrain moins cher à l'achat, viabilités publiques plus performantes, moins de terrassement, meilleure proximité des populations ciblées, etc.).

Parmi les sites possibles pouvant générer des surcoûts acceptables on peut retenir les exemples suivants :

- **Certaines zones à faible probabilité d'inondations** (inondations rares, faible montée lente des eaux) peuvent être acceptées si les accès et les locaux sensibles peuvent être tenus hors eaux. Par exemple : un terrain en pente présentant un accès haut, dont le niveau bas des bâtiments est affecté à des usages non vitaux, permet facilement leur évacuation 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.

Rappelons que toutes les pentes ne sont pas instables, que tous les sols saturés d'eau ne sont pas liquéfiables, qu'une rivière peut rester plus de cent ans sans atteindre sa crue maximale, **mais que seules des études géologiques et hydrographiques réalisées par des spécialistes expérimentés** peuvent certifier que le futur établissement de santé est situé sur un site où les aléas sont mineurs et les accès fiables.

Le choix définitif du site d'implantation ne se limite pas à éliminer les sites dangereux

Certains aléas menaçants peuvent être efficacement atténués par des travaux appropriés ou par une construction adaptée. Le coût, parfois élevé, de la réduction de ces aléas peut s'avérer pertinent si la dépense est considérée face à la durée de vie de l'établissement, dans le cas où d'autres qualités du site garantissent un fonctionnement optimisé.

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

3.5.1. Principes

Les établissements de santé, à plus ou moins grande échelle, ne doivent pas eux-mêmes 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.

Le projet doit impérativement prévoir que les procédures d'élimination fiable soient facilitées, de manière à être efficacement suivies 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.

Il est 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.

3.5.2. Collecte, tri et conditionnement des déchets

A tous les niveaux de la pyramide sanitaire, la collecte des déchets se fait en interne par le personnel soignant, puis par le personnel de maintenance. Les déchets sont triés et mis dans des boîtes sécuritaires ou des sachets selon leur nature, en attendant leur collecte par des entreprises agréées ou leur incinération sur place.

3.5.3. Site de stockage et élimination des déchets

En fonction de sa taille, chaque établissement doit disposer d'un site de stockage des déchets triés, et d'élimination des déchets pouvant être incinérés, comprenant deux aires distinctes.

Les hôpitaux départementaux doivent être équipés de manière à recevoir les déchets à incinérer provenant des autres institutions partenaires qui n'en n'ont pas la capacité. Cependant, les déchets provenant des patients souffrant de maladies infectieuses sont éliminés sur place après une désinfection adéquate.

Les centres isolés dont l'accès est difficile font également la destruction sur place.

Les déchets des activités de soins consistent en :

- Objets pointus ou tranchants qui doivent être mis dans des fosses sécurisées en béton armé ;
- Déchets anatomiques (contaminés par du sang et des dérivés sanguins, parties reconnaissables du corps humain, etc.) et infectieux qui doivent être incinérés ; les cendres et résidus doivent être enterrés dans une fosse ;
- Déchets dangereux qui nécessitent différentes méthodes comme l'encapsulation, la stérilisation, l'enfouissement, l'incinération et l'entreposage.

N. B. : Les produits pharmaceutiques: médicaments, vaccins et sérums périmés, inutilisés et contaminés doivent être éliminés en suivant les procédures du MSPP (PROMESS).

Le local d'entreposage des déchets conditionnés doit être sécurisé et ne peut être situé à moins de 30 m des sources d'eaux souterraines.

L'incinérateur doit être placé à une certaine distance (réglementée par le MSPP) des bâtiments de soins.

3.5.4. Evacuation des eaux usées

Les toilettes à compost sont interdites dans les établissements de santé puisqu'il n'est pas recommandé d'utiliser des produits chimiques désinfectants pour leur entretien.

Un système d'évacuation et traitement des eaux usées (provenant des lavabos, douches, évier et toilettes) doit être installé sur place avant le rejet de ces eaux de manière à éviter tout risque de contamination à l'intérieur et dans le voisinage de la structure.

Il est préférable de canaliser et évacuer séparément les eaux de ruissellement des eaux usées.

La construction de latrines n'est tolérée que pour les petits dispensaires sans hébergement en sections rurales. Leur autorisation de construction est conditionnée à la production d'une étude hydrogéologique attestant que leur implantation et la nature des sols prévient la contamination des captages d'eau proches.

3.6. Etudes de sol préliminaires à la construction de tout projet d'établissement de santé

3.6.1. Généralités

Les reconnaissances et études géotechniques effectuées normalement pour les sites non sismiques doivent être complétées en situation sismique pour :

- Détecter les formations *a priori* suspectes 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 des épaisseurs ;
- Retenir le cas échéant, un coefficient topographique.

3.6.2. Niveaux d'investigation en fonction de l'avancement du projet

La précision des études de sol dépend de l'état d'avancement du projet (programmation, avant-projet, projet, chantier) et de la nature du projet. Un petit dispensaire à simple rez-de-chaussée de 200 m² demande moins d'investigations qu'un vaste hôpital à grands bâtiments.

Etudes de faisabilité et d'avant-projet

Au stade des études de faisabilité et d'avant-projet, les indicateurs vérifiés visent à retenir *a priori* les choix pertinents pour le projet, à anticiper le coût de fondations spéciales et en général prévoir avec suffisamment de réalisme les sujétions à prendre en compte pour ne pas avoir des surcoûts inacceptables, ou une remise en question de l'avant-projet.

A ce stade, on procède par :

- Des études de documents existants (sondages sur d'éventuels chantiers voisins) ;
- Une étude de cartes et documents spécialisés (BME) ;
- Des 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 qui vont conditionner sa structure et ses fondations, ainsi que les sujétions de terrassement et de soutènement éventuel.

Etudes de réalisation

Elles ne sont généralement pas nécessaires pour les petits projets (faibles surface et hauteur). Mais pour les chantiers importants (charges importantes au sol) les étapes suivantes sont nécessaires.

- 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.

3.6.3. Moyens de reconnaissance

Les campagnes de reconnaissance doivent être soigneusement préparées et évolutives. Elles ne doivent pas faire l'objet de concessions. Les reconnaissances et les conclusions sont affaires de spécialistes. Les conseils de spécialistes régionaux qui ont une connaissance expérimentale de la région sont souvent appréciés et souhaitables.

Les procédés de reconnaissance sont nombreux, le choix est fonction de l'ouvrage projeté (type, utilisation, importance, sous-sol, etc.), des conditions géologiques et géotechniques, du voisinage (modes de fondations des ouvrages voisins ou mitoyens, nature et profondeur, etc.), et également 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.

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).

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 ;
- Pénétromètre 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. ELÉMENTS POUR LA DÉMARCHE DE CONCEPTION ET DE CALCUL

4.1. Intégration des exigences sécuritaires aux différentes phases de réalisation d'un établissement de santé

Chaque phase de la réalisation d'un établissement, si modeste soit-il, appelle des vérifications et des réponses avant de passer à l'étape suivante.

Ces vérifications, qui découlent de ce qui a été exposé précédemment, peuvent être synthétisées comme suit : Leur présentation est sensiblement chronologique.

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 ou 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.

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.

Choix des intervenants

Que le programme 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.

Esquisse, puis avant-projet

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 et la compatibilité de l'enveloppe financière avec la concrétisation

des attentes et des obligations. Elle doit déjà prendre en compte 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.

Demande de permis de construire

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

Finalisation du projet et dossier de consultation des entrepreneurs

Toutes les spécifications du projet finalisé sont regroupées dans un cahier descriptif tous corps d'état et l'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.

Marchés et travaux de construction

L'architecte apporte au maître d'ouvrage une analyse comparative des éléments des offres des entreprises. Cette analyse porte sur les références et l'expérience autant que sur le montant financier.

Durant la période de préparation des travaux, les dernières précisions et adaptations éventuelles sont apportées. La coordination de l'intervention des entreprises sur le chantier doit prendre en compte les exigences financières liées à l'agenda, mais également la sécurité finale des ouvrages (toute démolition locale pour imprévision est susceptible d'affaiblir le bâtiment final).

Le contrôle indépendant des travaux est nécessaire pour prévenir la fraude sur la qualité des prestations (cf. 3^{ème} Partie).

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

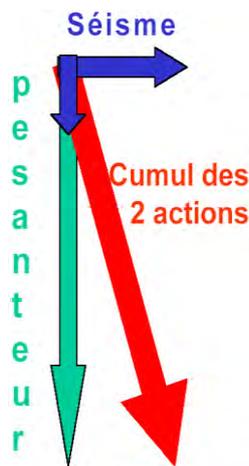
L'architecte prépare le dossier des ouvrages exécutés avec les plans d'exécution, les certificats et les guides d'emploi des installations techniques.

L'exploitant doit alors passer des contrats d'entretien et de maintenance (cf. 4^{ème} Partie).

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

4.2.1. Généralités sur les actions sismiques et cycloniques

Statique : L'attraction terrestre (g) exerce en permanence une action vers le bas qui est l'objet du calcul de dimensionnement statique. g est une accélération qui se mesure en mètres par seconde « au carré » ($9,81 \text{ m/s}^2$). Le poids est proportionnel à la masse des objets (volume et densité) et à la pesanteur $P = mg$.



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 (dans toutes les directions) se combinent avec les accélérations verticales. Ces accélérations, qui changent à chaque fraction de seconde pendant toute la durée du séisme (mouvement oscillatoire) agissent également 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 « horizontale » change d'orientation et de valeur beaucoup plus « lentement » que celle d'un séisme et n'est pas de type oscillatoire. Il s'agit d'une pression liée à la vitesse du vent et à la surface exposée. Elle se combine également à la pesanteur.

Figure 46 : Représentation schématique de l'action subie à un instant donné par un bâtiment pendant un séisme, où les accélérations (verticales et horizontales) dues aux secousses peuvent être représentées par les flèches bleues. L'action sismique (en bleu) est combinée avec la pesanteur (en vert). A l'instant représenté, le bâtiment subit en fait une action résultant du cumul et qui est orientée comme la flèche rouge.

4.2.2. Action sismique sur les bâtiments

4.2.2.1. Les forces d'inertie : « réponse » des bâtiments aux accélérations du sol

Les forces d'inertie sont des forces qui tendent à « retenir » sur sa position d'origine une masse qui subit une accélération.

Les forces d'inertie déforment un bâtiment soumis aux accélérations de ses fondations sous l'effet du mouvement sismique de la même manière qu'elles « déforment » (en les déséquilibrant) les passagers d'un véhicule qui accélère ou freine. Elles sont égales au produit de la masse par l'accélération subie : $F_i = m \cdot a$ (2^{ème} loi de Newton).

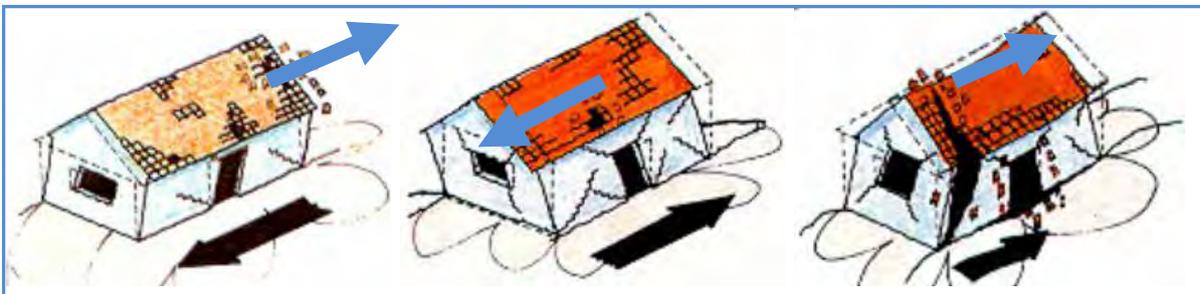


Figure 47 : Les flèches noires illustrent le sens du déplacement du sol à un moment. Les flèches bleues le sens de déformation du bâtiment par les forces d'inertie au même moment. (Dessin SENA)

Concrètement, un bâtiment peut se déformer de plusieurs manières dans sa hauteur, dans sa longueur, dans sa largeur, en torsion, selon ses modes propres de vibration. Les bâtiments doivent faire l'objet d'une analyse modale qui permet de caractériser ces modes propres.

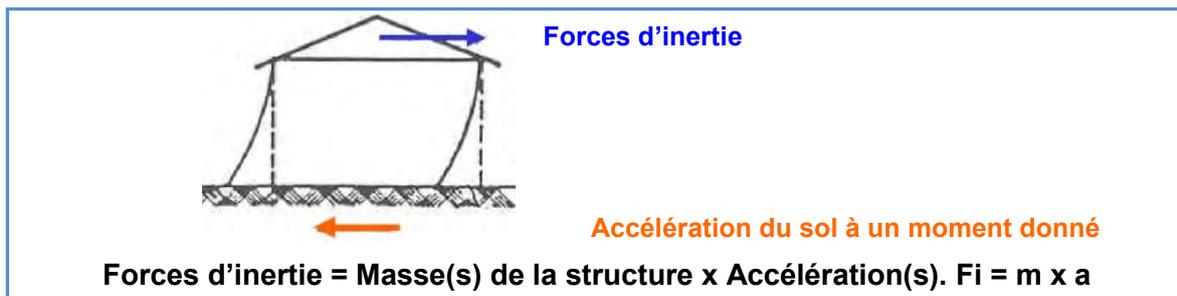


Figure 48 : Plus les accélérations subies sont fortes, plus les masses du bâtiment sont importantes, et plus les forces d'inerties sont élevées. Il en résulte que chaque bâtiment a un besoin de résistance qui lui est propre. (Source Milan Zacek)

Un bureau d'études techniques peut facilement calculer les masses d'un bâtiment. Les études de sismologie visent à pré-estimer le niveau d'accélération que peut subir le sol sous le bâtiment. Reste à estimer le niveau d'accélération maximum dans le bâtiment.

Pour le dimensionnement des structures aux charges sismiques selon les règles parasismiques courantes, on considère par commodité, que ces charges sont les forces d'inertie engendrées dans la construction par **l'accélération maximale** que cette construction est censée subir pendant le séisme. L'analyse modale spectrale (ou son application simplifiée) est la méthode retenue par les règles pour évaluer cette accélération maximale pour chacun des modes significatifs d'oscillation de la structure sous l'effet des ondes sismiques (cf. Annexe « Résonance »). Cette analyse doit se faire au moyen du spectre de réponse approprié (qui dépend des caractéristiques du sol du site d'implantation). Ainsi, le calcul « modal-spectral » permet de déterminer le dimensionnement du bâtiment en tenant compte de ses modes de déformation.

Pour la majorité des bâtiments courants, elle est satisfaisante au regard de la sécurité.

Les forces d'inertie s'appliquent sur les masses de la construction
 Limiter les masses est une première stratégie pour limiter l'action sismique

On peut difficilement agir sur les accélérations du sol, sauf à éviter les zones susceptibles d'effets de site. Ces derniers sont sélectifs de certaines fréquences du signal sismique qui sont amplifiées localement. Des méthodes plus ou moins précises permettent d'identifier ces périodes (pics spectraux).

La maîtrise des accélérations signifie concrètement pour la structure : l'éviction des périodes propres susceptibles d'entrer en résonance avec celles du sol, ou encore la recherche du sur-amortissement

4.2.2.2. Bilan énergétique d'une structure en mouvement : absorption de l'énergie sismique par la structure

On peut exprimer l'équilibre des forces « action sismique – réaction de la structure » en termes d'énergie présente dans la structure en mouvement.

Une structure qui subit des oscillations possède de **l'énergie cinétique E_c (mouvement)**. Celle-ci produit un travail de déformation qui, si les déformations imposées ne peuvent pas être « absorbées » par la structure, devient un travail de rupture.

L'énergie des oscillations doit donc être entièrement absorbée¹⁶ par la structure. Cette absorption se fait par deux mécanismes distincts :

¹⁶ On utilise le mot « absorber » pour traduire le fait que la structure est capable de « transformer » l'énergie

- **Le stockage de l'énergie communiquée** : il s'agit d'une énergie potentielle qui augmente avec la déformation et qui est restituée sous la forme d'énergie cinétique pour ramener la structure à sa position d'origine (produit la force de rappel) ;
- **La dissipation d'énergie** : les frottements internes dissipent une partie de l'énergie du séisme sous forme de chaleur. Or, l'endommagement maîtrisé augmente la quantité d'énergie dissipée mais dans le cas des établissements de santé, il faut pouvoir admettre la fissuration sans atteindre la rupture. La pose d'amortisseurs, si la structure le permet, produit le même résultat, sans dommages.

L'endommagement n'est pas admis pour certains services hospitaliers, il faut donc « absorber » l'énergie sismique par plus de résistance élastique, ou avoir recours à des équipements type isolateurs et amortisseurs

4.2.2.3. Stratégies pour un bon comportement sismique des structures

Pour le projet, on utilise plusieurs stratégies afin d'équilibrer le bilan des forces (et de l'énergie).

- **Agir sur l'action sismique** : on peut en premier lieu agir sur l'action sismique en maîtrisant les masses et les accélérations (en réponse) comme mentionné plus haut :

Action : $F_i = m.a$

- **Agir sur la réaction** : optimiser la capacité de réaction de la structure :
 - **En termes de forces**, on optimise sa résistance mécanique (dimensionnement), et l'absorption d'énergie (conception) :

Réaction : $F_i = -k.x - c.x'$

k.x étant les forces de rappel précisées précédemment (k coefficient de raideur et x déplacement à l'instant considéré)

c.x' étant les forces dissipées précisées plus loin (c coefficient d'amortissement du système et x' vitesse à l'instant considéré)

- **En termes d'énergie**, on peut exprimer les objectifs de la façon suivante :
 - **Le stockage de l'énergie** – énergie potentielle – (domaine élastique) sera favorisé en autorisant les déformations de la structure par le choix d'un mode constructif le permettant, et dans les limites autorisées par les règles.
 - **La dissipation d'énergie** sera obtenue pour partie par le choix de structures ayant un coefficient d'amortissement anélastique élevé. On peut améliorer sensiblement l'amortissement des structures flexibles par l'ajout de systèmes amortisseurs et celui de toutes les structures par l'endommagement maîtrisé des éléments structuraux ou non structuraux (domaine post-élastique).

Les stratégies de déformation et d'endommagement contrôlé doivent vérifier les états limites ultimes (cf. Annexe « Ductilité »). L'endommagement contrôlé est exclu pour certains locaux hospitaliers. Il doit être vérifié que sous l'effet des combinaisons des actions de calcul aux états limites ultimes, aucun état d'équilibre d'ensemble, de résistance ou de stabilité de forme n'est dépassé dans la structure, ses composants ou sa fondation. L'action sismique doit être considérée comme une action accidentelle vis-à-vis des états limites ultimes.

sismique (en d'autres termes les forces d'inertie) et déformation réversible ou en chaleur (frottements internes ou sur fissures contrôlées). Si la structure « casse », c'est qu'elle a « reçu » plus d'énergie qu'elle était capable d'en absorber. En d'autres termes, elle n'avait ni la résistance ni la « dissipativité » requises.

La capacité plus ou moins importante de la construction à minimiser l'action sismique et à absorber l'énergie d'origine sismique est conférée aux constructions dès la phase projet. Une conception judicieuse permet un gain de résistance qui permet de pallier les éventuelles erreurs d'appréciation des hypothèses de calcul réglementaires au regard du séisme réel. Elle constitue une « réserve de résistance ».

La démarche d'optimisation de la capacité « d'absorption d'énergie sismique » de la structure ne vise pas l'augmentation de la résistance des éléments structuraux aux contraintes, en termes de résistance pure, car ce n'est pas forcément suffisant en cas de séisme majeur.

La démarche d'optimisation par le dimensionnement en capacité (capacity design) cherche à limiter les contraintes induites par les mouvements sismiques de manière à ce qu'elles n'atteignent pas la limite de rupture.

La démarche d'optimisation a pour but de soustraire les constructions aux sollicitations excessives d'ensemble ou localisées

4.2.3. Effet du vent sur les bâtiments

4.2.3.1. Principes de l'évaluation de l'action du vent sur la structure des bâtiments

Pour les calculs, l'action du vent est représentée par un ensemble simplifié de pressions ou de forces dont les effets sont équivalents aux effets extrêmes du vent turbulent.

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^2) 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.

4.2.3.2. Direction du vent, surpression, dépression, entraînement

Pour le calcul des constructions, on suppose que la direction d'ensemble moyenne du vent est horizontale. Elle est considérée comme venant des différentes directions possibles du vent. Cependant, une construction, suivant qu'elle est située à la partie inférieure, sur le versant, ou au sommet d'un terrain en pente, est attaquée suivant des angles différents de celui admis dans les règles. Pour les bâtiments courants, qui se satisfont de cette

simplification réglementaire, il est suffisant et plus simple de s'en tenir à la direction horizontale, même dans le cas d'un terrain en pente. L'attention est cependant attirée sur le fait que, lorsque la pente du terrain est forte ou s'étend sur une grande longueur, il est alors préférable de procéder à une étude expérimentale sur maquette du terrain et de la construction pour déterminer l'allure générale de l'écoulement de l'air.

En aérodynamique, les surfaces « au vent » sont celles soumises à un écoulement régulier du vent sans décollement de la veine. Les surfaces « sous le vent » sont soumises à un écoulement turbulent. Elles sont séparées l'une de l'autre par une ligne de décollement des filets d'air.

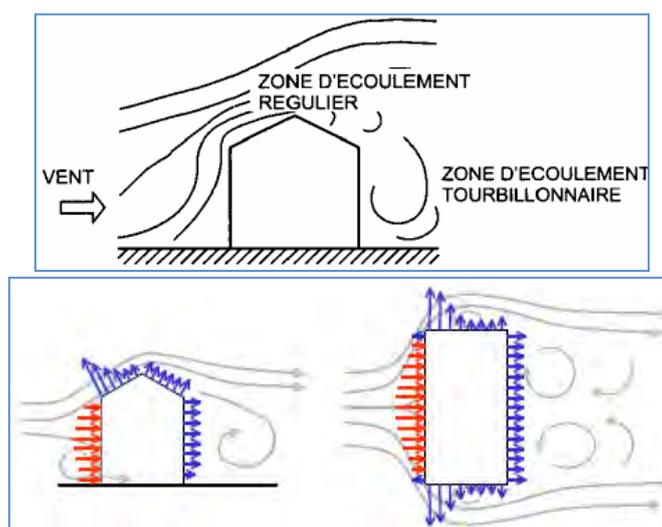


Figure 49 : Représentation schématique de l'écoulement du vent à la rencontre d'un obstacle, comme un bâtiment. (Source ENSAM)

4.2.3.3. Pressions positives et négatives

Les actions du vent sur les constructions et les éléments de construction doivent être déterminées en tenant compte tant de la pression extérieure que de la pression intérieure générées par le vent.

Un bâtiment qui subit la pression externe du vent sur une façade, subit par contrecoup un jeu de pressions-dépressions sur les autres parois.

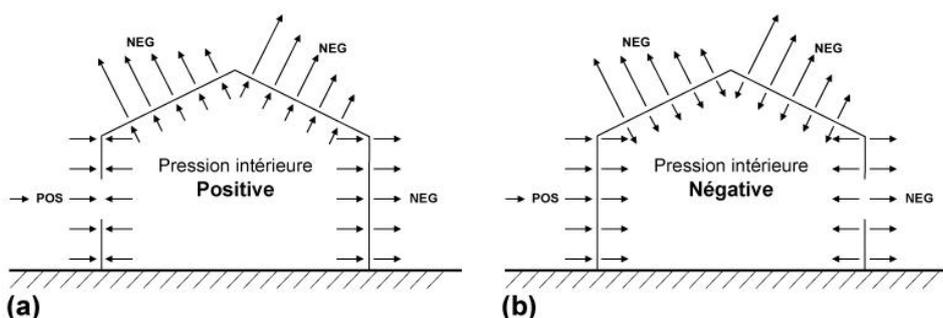


Figure 50 : Schéma théorique des pressions et dépressions qui s'exercent sur un bâtiment. Exemples avec un vent soufflant sur la façade gauche. (a) pression positive à l'intérieur du bâtiment (porosité des parois au vent plus élevée), (b) pression négative à l'intérieur du bâtiment (porosité des parois sous le vent plus élevée). (Schéma Eurocode 1-1-4)

Une des faces d'un élément appartenant à une construction est dite soumise à une **surpression** lorsque la force normale à cette face est dirigée vers elle. Dans ce cas, par convention, la force a une valeur positive. Elle est dite soumise à une **suction** (ou à une dépression) lorsque la force est dirigée en sens contraire. Dans ce cas, par convention, elle est négative.

La surpression est supérieure à la pression atmosphérique et la succion est inférieure.

Le vent qui souffle sur une maison produit une pression positive sur la face extérieure du mur exposé au vent et une pression négative sur les autres murs.

La pression négative entraîne l'air de l'intérieur vers l'extérieur, par le biais de la porosité des murs et menuiseries. Si la porosité prédomine sur une façade sous le vent, la pression intérieure tend à se transformer en pression négative. Si par contre la porosité est principalement située sur le côté faisant face au vent, cela crée une pression positive intérieure qui s'ajoute à l'aspiration extérieure des parois exposées à une succion, ce qui peut notamment soulever la toiture. **En région cyclonique, toute façade doit être considérée comme pouvant être exposée au vent.**

4.2.3.4. Bâtiment clos ou non ?

Dans les règles, le calcul des efforts supportés par la structure d'un bâtiment est généralement effectué en supposant que les baies sont fermées et le resteront pour toute la durée de l'événement venteux. Il s'agit d'une hypothèse qui rend la structure tributaire de la fiabilité de l'enveloppe. Dans ce cas, une fenêtre brisée ou mal fermée peut engendrer des dégâts majeurs en créant des surpressions intérieures s'ajoutant aux succions extérieures.

Lorsque le calcul pose comme hypothèse que les fenêtres et les portes seront fermées en cas de tempête, il convient néanmoins de traiter l'effet de leur ouverture comme une situation de projet accidentelle.

4.2.3.5. Entraînement

L'entraînement est une force parallèle aux parois, dans le sens d'écoulement local du vent. Lorsque le vent balaye de larges surfaces de la construction, des forces de frottement non négligeables peuvent se développer tangentiellement à la surface.

Les effets de frottement du vent sur la surface peuvent être négligés lorsque l'aire totale de toutes les surfaces parallèles au vent (ou faiblement inclinées par rapport à la direction du vent) est inférieure ou égale à 4 fois l'aire totale de toutes les surfaces extérieures perpendiculaires au vent (au vent et sous le vent). **En région cyclonique, cette condition doit être vérifiée sur toutes les façades.**

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

L'action exercée par le vent sur une des faces d'un élément de paroi est considérée comme normale à cet élément. En raison de la rugosité des sols (végétation, constructions, « petits » reliefs divers), le vent, et donc la pression, augmentent avec la hauteur.

Pour les bâtiments élancés situés sur site plat ou à faible pente, le calcul de la pression sur les parois tient compte de la hauteur de la construction.

Pour les bâtiments situés sur une pente marquée, la hauteur de référence pour le calcul de la pression sur le bâtiment tient compte de l'altitude relative.

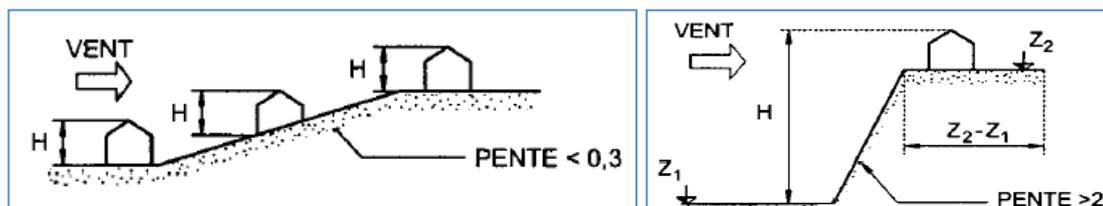


Figure 51 : Les codes définissent de façon assez comparable la prise en compte de la hauteur. A titre d'exemple, pour les règles françaises NV65, si la pente est inférieure ou égale à 0,3, la hauteur H peut être comptée à partir du pied de la construction. Si la pente est égale ou supérieure à 2, la 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. (Source NV65)

Le diagramme des pressions en fonction de la hauteur H , qui est utilisé pour le calcul des constructions, peut être simplifié sous réserve de donner des résultats supérieurs ou équivalents pour les sollicitations maximales tant pour les réactions d'appui que pour les moments de flexion ou de renversement.

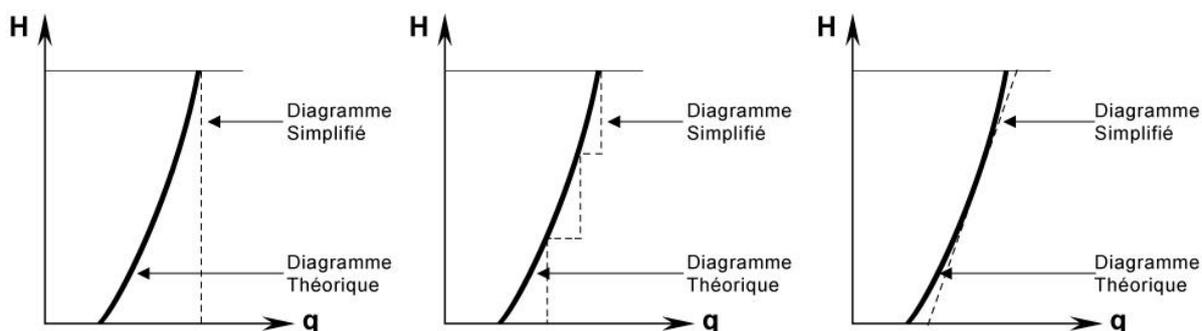


Figure 52 : Exemples de diagrammes simplifiés. (Source NV65).

La simplification qui consiste à prendre en compte une pression dynamique constante égale à celle régnant au sommet de la construction, peut être notamment adoptée pour les constructions de faible hauteur.

4.2.3.7. Forces locales et forces globales

Ces forces sont calculées en utilisant les lois de comportement simplifiées de la mécanique des fluides ainsi que les normes en vigueur.

- Le calcul des forces locales permet de dimensionner les éléments constituant un bâtiment : façades, murs, couvertures, menuiseries, etc. ;
- Le bilan des forces appliquées globalement permet de dimensionner la stabilité générale de la construction : contreventement, soulèvement, basculement, prise au vent, ancrage au sol.

4.2.3.8. Projectiles

Les vents violents qui accompagnent un cyclone transportent des objets et débris qui, se transforment en projectiles pouvant endommager les constructions. A ce titre, les vitrages qui assurent la clôture au vent doivent être protégés (vitrages et châssis renforcés, grilles à mailles fines, volets, etc.).

Des arbres plantés à proximité immédiate d'un bâtiment constituent aussi un risque, le sol détrempé par la pluie associé à un vent violent peuvent déraciner certaines essences ou casser des branches et les projeter sur le bâtiment. Les bâtiments courants ne sont pas conçus pour résister à l'impact de débris lourds.

4.2.3.9. Aérodynamique et géométrie architecturale

Outre l'environnement, la géométrie des structures peut générer notamment des surpressions et des turbulences. On pourrait résumer en disant que plus la structure est grande et complexe, et plus son comportement est difficile à modéliser. Dans les cas extrêmes, des expérimentations en soufflerie complètent les calculs.

Effet des dimensions des façades exposées

Un coefficient de réduction tient compte de la variation de la pression dynamique moyenne du vent en fonction de la dimension de la surface frappée. En effet, la structure du vent n'étant pas uniforme, les tourbillons locaux influencent les pressions dynamiques moyennes qui, toutes choses égales par ailleurs, sont plus faibles sur les grandes surfaces que sur des surfaces réduites. Ce coefficient est rapporté à une seule dimension (hauteur ou largeur)

pour ne pas compliquer les règles et parce qu'on ne dispose d'aucune donnée concernant la simultanéité et la superposition de tourbillons d'axe horizontal et d'axe vertical.

Morphologie des bâtiments

La morphologie des bâtiments (complexité, proportions, présence de pilotis, toitures multiples, blocs accolés, etc.) est prise en considération par les méthodes de calcul complexes.

Les règles simplifiées concernent plus spécialement les bâtiments globalement parallélépipédiques aux étages identiques, de hauteur limitée, avec murs et cloisons en maçonnerie.

Les simplifications ne devant pas conduire à des résultats inférieurs à ceux découlant des règles générales, ces règles simplifiées proposent des dimensionnements un peu majorés pour couvrir les différentes situations de son domaine d'application. Les règles - simplifiées ou générales - forment un tout et, sous aucun prétexte, elles ne peuvent être combinées.

Illustrations

Les figures suivantes illustrent l'écoulement des vents sur différents types de structures. (Source ENSAM)

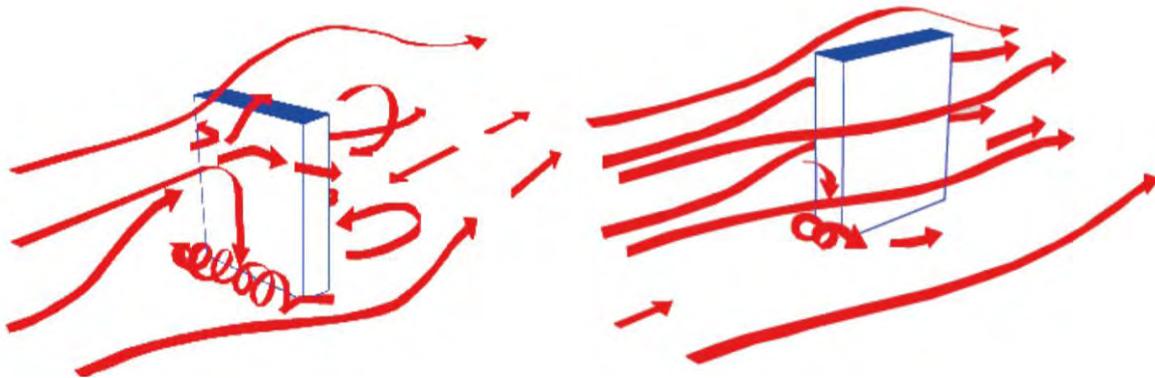


Figure 53 : Écoulement turbulent des vents sur les côtés longitudinaux et transversaux d'immeubles de grande hauteur.

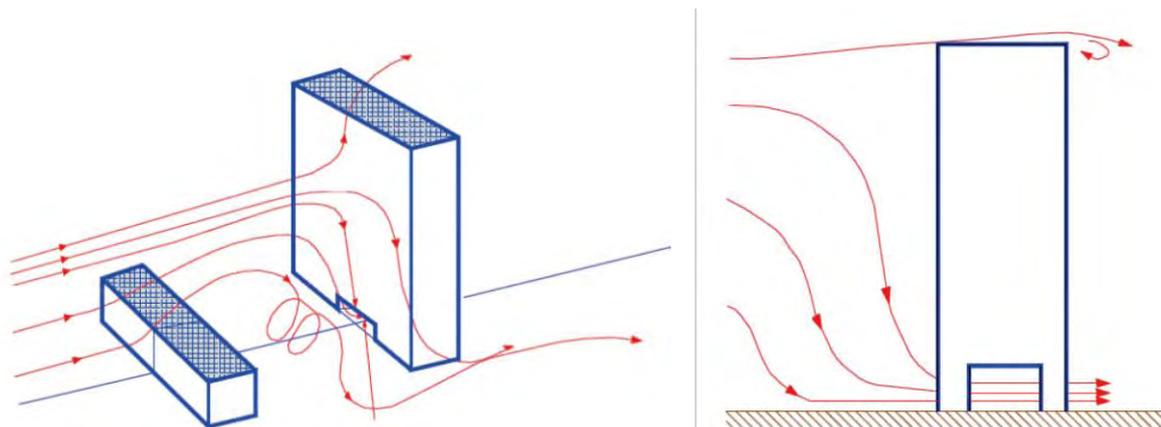


Figure 54 : A gauche, augmentation de la vitesse du vent du fait de grandes ouvertures dans les niveaux inférieurs.

Figure 55 : A droite, écoulement turbulent sur des bâtiments de grande hauteur dû à la présence d'obstacles au vent.

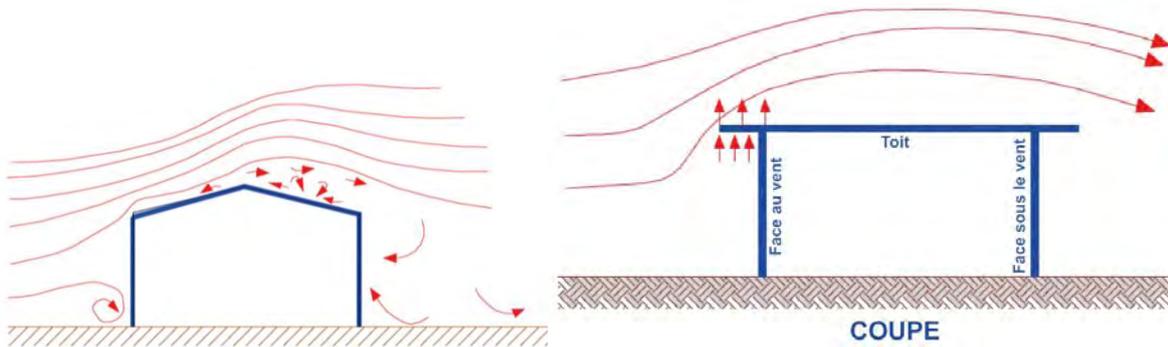


Figure 56 : A gauche, écoulement du vent sur des bâtiments à toiture à 2 versants montrant des turbulences sur le versant de toiture sous le vent et sur les murs.

Figure 57 : A droite, augmentation de la pression du vent due aux débords de toiture (porte-à-faux).

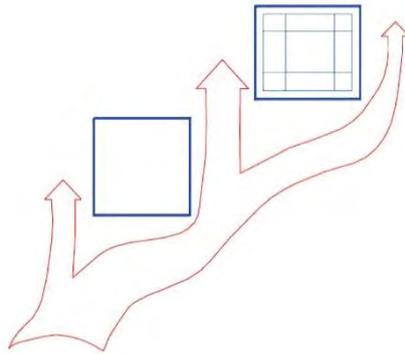


Figure 58 : Localisation défavorable d'un bâtiment adjacent : La localisation de certains bâtiments peut augmenter l'effet des vents cycloniques sur les bâtiments environnants.

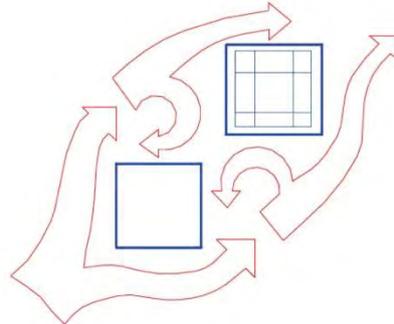


Figure 59 : Effet de masque par des bâtiments en amont du sens du vent : La localisation de certains bâtiments peut réduire l'effet des vents cycloniques sur les bâtiments environnants.

4.3. Calculs et analyses

4.3.1. Préambule

Il n'entre pas dans les objectifs du guide de se substituer aux formations de calcul parasismique et paracyclonique, ou de réécrire ce qui est du ressort des autorités haïtiennes et des organisations en charge de la rédaction des normes.

Toutefois le présent chapitre a pour vocation de synthétiser les paramètres des calculs sismiques et cycloniques et de proposer des valeurs dont la fiabilité a été attestée dans des situations comparables aux zones les plus sismiques et les plus cycloniques d'Haïti.

La complexité des calculs s'accroît avec celle des constructions.

Lorsque les bâtiments projetés ont des dimensions modestes (moins de 250 m²) 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.

Les organisations en charge de la construction pour les Etats de la Caraïbe (AEC), et celles des pays y ayant des territoires à administrer exposés à des niveaux d'aléas comparables à ceux d'Haïti (notamment la France et les Etats-Unis) ont produit des normes forfaitaires de construction parasismique ou paracyclonique pour les « petits bâtiments ». Ces « guides » proposent des règles de conception, de mise en œuvre et de dimensionnement très efficaces qui peuvent être utilisées pour les bâtiments de catégorie inférieure à IV, avec l'accord du MTPTC et du MSPP.

Attention : si on utilise une norme forfaitaire de construction parasismique + une autre de construction paracyclonique on doit toujours retenir les exigences de résistance les plus élevées (dimensionnement) et la mise en œuvre parasismique (sauf pour les fixations en toiture qui doivent prévenir tout arrachement cyclonique).

4.3.2. Paramètres de l'action sismique

Il découle des chapitres précédents de la première partie que les forces d'inertie (action sismique) sont propres à chaque construction. Le calcul modal spectral des différents codes retient grosso modo les mêmes paramètres (avec des différences qui n'affectent pas globalement la résistance des bâtiments compte tenu des marges de sécurité appropriées).

Si l'action sismique est de la forme apparemment simple $F_i = m.a$, la difficulté est de l'appliquer aux multiples masses d'une construction, et de prendre en compte les multiples raideurs qui conditionnent les périodes d'oscillation et les déformations. La complexité de la plupart des bâtiments implique le recours à un logiciel de calcul spécialisé, et à une formation pour l'utiliser.

Aussi ce guide se bornera à rappeler les paramètres du calcul et leur provenance :

Les masses de la construction exposées aux accélérations sismiques. Leur importance et leur localisation vont conditionner les forces plus ou moins importantes et les déformations plus ou moins régulières.

L'accélération régionale « maximale au rocher horizontal ». PGA^{17} en anglais. Sa valeur est donnée par le zonage sismique réglementaire du pays, lui-même découlant d'études de sismologie.

Les coefficients pouvant majorer l'accélération régionale :

- Un **coefficient d'importance** qui « artificiellement » augmente les forces d'inertie du calcul, ce qui revient à renforcer certains bâtiments au delà des exigences de base.

¹⁷ Pic Ground Acceleration.

Sa valeur est donnée par l'Etat qui arrête la liste des bâtiments concernés et la valeur du coefficient pour les différents niveaux de protection accrue ;

- Un **coefficient de sol**, pour les sols meubles et profonds, qui prend en compte l'amplification des secousses sur ces sols. Le bureau d'études géotechniques établit le coefficient de sol à l'issue des sondages, par application des règles. Certains codes de construction parasismique n'ont pas de coefficient de sol (il est intégré dans la réponse spectrale) ;
- Un **coefficient de réponse spectrale** indique le niveau d'amplification possible des secousses par le bâtiment, qui est maximum en cas de 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** indique le niveau d'amplification retenu en bord de rupture de pente. Il est issu d'un calcul géométrique simple et peut intégrer une composante de sol pour certains codes.

Les coefficients pouvant minorer l'accélération de calcul :

- Un **coefficient d'amortissement** qui atténue un peu l'accélération de calcul, prenant en compte les frottements internes aux matériaux de la structure pendant les déformations. Il est donné dans le code de construction parasismique en fonction du système constructif et varie grosso modo 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. La réduction qui en découle rend le bâtiment moins résistant aux fissurations, mais la nature de la mise en œuvre prévient la perte de stabilité de la construction fissurée. Ce coefficient est donné par le code de construction parasismique pour chaque système constructif.



Figure 60 : Exemple, à Pétiion-ville, d'armatures correctement réalisées pour répondre aux exigences de ductilité des poteaux exposés aux efforts sismiques. (Source P. Balandier)

L'exigence de fonctionnalité, et au moins celle de non endommagement de la structure, qui concerne les bâtiments de catégorie de risque IV dont les établissements de santé, exclut l'utilisation d'un coefficient de comportement supérieur à 1,5 qui, par définition, « autorise » l'endommagement contrôlé.

4.3.3. Charges liées aux vents cycloniques

Les normes relatives au calcul de la résistance aux vents cycloniques précisent comment déterminer les niveaux de charges en fonction des structures, sur leurs sites spécifiques, pour des conditions et besoins particuliers. Nous présenterons en premier lieu les conditions générales (de référence), puis les conditions spécifiques.

Les données de référence pour les vitesses de vents sont généralement définies en termes de période de mesure moyenne, de période de retour, de hauteur au sol, de topographie et de rugosité du sol. Par exemple, on peut donner la définition suivante :

« la vitesse du vent de référence V correspond à la vitesse du vent de rafale sur 3 secondes mesurée à une altitude de 10 m au dessus du sol en terrain plat non obstrué, ayant une période de retour de 50 ans. »

Le tableau 3.9 du CNBH montre bien l'importance de la précision de chacun de ces paramètres dans la détermination des charges de calcul au vent selon la norme internationale choisie (états-unienne, canadienne, britannique, européenne ou caribéenne). En effet, les informations sur la vitesse des vents proviennent de sources variées, qui utilisent des approches différentes, il est donc primordial de souligner l'importance du paramètre relatif à la période de mesure moyenne.

Une vitesse de vent évaluée sur une période de mesure moyenne donnée peut être convertie sur n'importe quelle autre période de mesure moyenne, en utilisant des relations empiriques et analytiques. Les bulletins des bureaux météorologiques de la Caraïbe (Région CR IV de l'OMM) parlent souvent de vitesses de vent « soutenu » qui sont censées être moyennées sur 1 minute. L'échelle de Saffir-Simpson est basée sur ces valeurs moyennes sur 1 minute.

La vitesse de vent de calcul pour les hôpitaux doit être choisie par application des règles en vigueur rappelées au chapitre 3, sous-chapitre 1.5. En raison de l'échelle de la carte de zonage, qui ne permet pas une précision suffisante en limite de zones, pour les hôpitaux à construire sur ces limites, on prendra, par précaution, la valeur de vent la plus élevée.

- **Pression de base :** La pression exercée par des vents violents sur un système structurel est une fonction de la partie dynamique de l'équation de Bernoulli, connue sous le nom de *pression de base*.

Pression du vent de référence

Facteur dynamique de
l'équation fondamentale du
théorème de Bernoulli

$$q = \frac{1}{2} \rho V^2$$

Cette pression de base est modifiée par les facteurs suivants qui font l'objet de coefficients majorant ou minorant la valeur effective de la pression du vent. On retiendra pour l'application des coefficients, les valeurs et méthodes d'ICB-2009 / ASCE7 (ou le cas échéant, celles d'un autre code accepté par l'Etat haïtien) :

- **La rugosité du terrain :** la rugosité de la surface au-dessus de laquelle passe le vent influe sur deux éléments du vent : la vitesse et la turbulence. 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. Ces deux approches donnent des résultats corrects si l'on garde à l'esprit la grande part d'incertitude associée à la tentative de définition du vent¹⁸.
- **La topographie environnante** : l'effet topographique est désormais bien reconnu dans la plupart des normes de charges de vent¹⁹. 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 ». Des modélisations de soufflerie et des tests à grande échelle en environnement réel ont été réalisés.
- **La turbulence** : selon la géométrie du bâtiment.

N. B. : La taille des sous-structures et équipements extérieurs est prise en compte pour le calcul de la vitesse du vent. Ceci est dû aux variations spatiales au sein d'un cyclone. Une rafale a une « taille » qui est relativement petite. Par conséquent, elle ne peut pas envelopper une structure toute entière, même de taille modérée. La prise en compte spécifique de la charge d'une rafale est donc pertinente pour certains éléments locaux (panneaux de bardages, menuiseries, pannes et chevrons, équipements extérieurs).

Pour l'application d'ASCE-7 et d'IBC-2009, les formules, tables et notes de ces deux normes sont rappelées dans les encadrés ci-après.

Signification des symboles dans la norme ASCE 7

Représentation	Symbole	Signification
Directivité	K_d	Prend en compte la probabilité que le vent maximum ait la même direction que le vent de pression maximum
Importance	I	Convertit une période de retour de 50 ans en une période de retour de 100 ans recommandée pour la conception des hôpitaux
Exposition	K_z	Représente la vitesse du vent à une hauteur z au-dessus du sol
Topographie	K_{zt}	Prend en compte le fait que la structure peut être située au sommet d'une colline ou d'une crête, ce qui augmente la vitesse du vent
Rafale sur 3 secondes	G	Représente l'interaction structure/turbulence et l'amplification dynamique du vent
Coefficient de pression extérieure	C_p	Estime la pression du vent sur les façades du bâtiment
Coefficient de pression intérieure	C_{pi}	Reflète la pression intérieure due à la taille et la quantité des ouvertures dans les murs
Pression de calcul	p	Représente la pression de calcul
Force de calcul	F	Représente la force nette sur les structures ouvertes

¹⁸ Des données expérimentales récentes suggèrent que les effets convexes des cyclones peuvent amener les vents les plus violents plus près de la surface que ce que l'on pensait. Cependant les données disponibles sont pour l'instant insuffisantes pour changer les normes établies.

¹⁹ Des modélisations de soufflerie et des tests à grande échelle en environnement réel ont été réalisés. L'île de Nevis a été soumise à des tests de soufflerie au Laboratoire de l'Université de l'Ontario. Ces tests ont fourni des informations fondamentales concernant l'effet de la topographie sur la vitesse du vent dans les îles typiques de la Caraïbe.

Pression de base de l'ASCE-7 modifiée pour adaptation des facteurs locaux	Pression de calcul sur les systèmes primaires (structuraux)
Pression de base ASCE-7 modifiée	Systèmes primaires rigides
$q = \frac{1}{2} \rho K_z K_{zt} K_d IV^2$	$p = q G C_p - q_h (G C_{pi})$
	Systèmes primaires flexibles
	$p = q G_r C_p - q_h (G C_{pi})$

Il faut souligner que les cartes d'aléas venteux en vigueur, prennent déjà en compte les facteurs de vitesse du vent et de taille de la structure.

- Une période de retour de 1 700 ans associée à un facteur charge de 1 (calcul aux états limites) est recommandée pour les hôpitaux de niveau tertiaire, et tout bâtiment de catégorie d'importance IV.
- Pour les établissements de niveaux inférieurs, une période de retour de 700 ans avec un facteur charge de 1 (calcul aux états limites) est recommandée.

Fatigue des matériaux

Lorsqu'un ouragan passe au-dessus d'une installation, il affecte sa structure et ses composants par des boucles de chargement (appelées boucles d'hystérésis) répétées des milliers de fois pendant la tempête. Ces chargements-déchargements par bourrasques affectent la résistance et la raideur des matériaux et ce, surtout au niveau des assemblages. Par conséquent, la fatigue des éléments doit être prise en compte lors de la conception de l'installation²⁰.

Les dégradations progressives, puis la rupture d'un "maillon faible", en couverture notamment, a des conséquences en chaîne qui modifient les paramètres retenus pour le calcul. Il est donc nécessaire de vérifier si la description de tous les composants du bâtiment garantit l'absence de tels « maillons faibles ».

Il faut aussi vérifier que les déformations absolues et relatives maximales qui peuvent avoir lieu restent dans les valeurs maximum établies par les normes de construction utilisées.

Il est rappelé que la conception du contreventement doit garantir le transfert des charges de vent (de la structure et des équipements) vers les fondations à travers un chemin continu de transfert de charges. Si ce n'est pas le cas, les assemblages doivent être conçus pour assurer les transferts de charge plus complexes.

4.3.4. Calcul aux pluies cycloniques

Pour les bâtiments de catégorie de risque IV, les calculs d'évacuation des eaux de ruissellement en toiture dans les gouttières, se feront au minimum sur la base de 4,5 litres de pluie par minute et par mètre carré²¹.

Le chapitre 5.3 de cette 2^{ème} partie du guide apporte un complément d'information pour la région de Port-au-Prince.

4.3.1. Notes d'hypothèses

En début de projet, avant la réalisation des calculs, les concepteurs doivent fournir une note d'hypothèses qui précise les valeurs des actions de calcul pour chaque bâtiment.

Les éléments pour l'utilisation d'IBC 2009 et ASCE 7-05 sont proposés au chapitre suivant.

²⁰ Les boulons J (qui sont couramment prescrits pour attacher des tôles légères aux chevrons) sont à cet égard trop peu résistants car ils se redressent ou finissent par rompre.

²¹ Cette valeur est issue des « Règles Antilles » utilisées en Guadeloupe et en Martinique où les compagnies d'assurance et les professionnels ont élaboré ce référentiel exigeant qui a fortement réduit la sinistralité.

5. ÉLÉMENTS FORMELS POUR L'APPLICATION D'IBC 2009 ET ASCE 7-05 EN HAÏTI

5.1. Préambule

IBC est le Code international de la construction, élaboré par l'International Code Council (ICC).

ASCE 7-05 est une norme élaborée par l'American Society of Civil Engineers.

Dans la plupart des pays de la Caraïbe, la tendance est à l'utilisation d'IBC 2009, complété d'ASCE 7-05 comme référence de calcul. Il s'agit là de codes largement acceptés qui couvrent les bâtiments et autres structures bâties. Leur utilisation en Haïti est appropriée, puisque les règles intérimaires et le projet de *Code National pour la Construction en Haïti* y font largement référence.

Toutefois, les dispositions et valeurs de calcul associées doivent être adaptées aux contextes des différentes régions haïtiennes et les dispositions constructives doivent prendre en compte ces contextes.

Un projet financé par l'Agence américaine pour le développement international et exécuté par l'Organisation panaméricaine de la Santé, a permis l'étude des aléas de vent pour l'ensemble du bassin de la Caraïbe. Les résultats de ce projet, terminé début 2008, ont été incorporés tant dans HAD:IBC-2009 que dans HAD:ASCE-7-05.

Suite au séisme de 2010, la « *Geological Survey* » des *États-Unis* (USGS), a produit les premières cartes d'aléa sismique régional probabilistes pour Haïti. Ces dernières apportent des informations précieuses en vue de l'utilisation d'IBC 2009 et ASCE 7-05.

Les meilleures informations disponibles pour Haïti sur les risques liés aux pluies et aux inondations sont également incluses et citées en référence.

Ces codes, dont l'utilisation est recommandée en Haïti, précisent les exigences minimales pour les bâtiments courants. Or, l'exigence de fonctionnalité des établissements hospitaliers n'est pas garantie sans modifications et/ou précisions appropriées, même si les prescriptions des codes sont suivies avec soin.

L'exigence de fonctionnalité pour les bâtiments de catégorie IV, et même la protection des structures des bâtiments de catégorie III, nécessitent des précautions particulières, comme l'adoption de coefficients plus sévères, et, au regard du risque sismique, des stratégies parmi lesquelles des mécanismes de réduction de l'action sismique (dont la plus remarquable est l'isolation à la base) et/ou d'absorption de cette énergie sans endommagement (par exemple par la mise en place d'amortisseurs). Des directives à ce sujet sont données dans les chapitres ASCE 7-05.

Il est également fortement recommandé, en particulier dans le cas des établissements de santé, qu'une équipe d'ingénierie indépendante procède à un examen de conception et de réalisation approfondi. L'ingénieur qui effectue cet examen doit intervenir dès l'origine de la conception jusqu'à la fin des travaux. Il serait judicieux qu'Haïti adopte le système utilisé en France (où des *bureaux de contrôle* fournissent de tels services de vérification de la conformité du projet et des travaux).

Le lecteur est invité à consulter le « Guide de conception des installations de services de santé dans les Caraïbes », préparé pour l'OPS par le Programme de préparation aux catastrophes du Service d'aide humanitaire de la Commission européenne, document dans lequel il trouvera notamment des lignes directrices sur plusieurs questions qui ne sont pas habituellement abordées dans les guides de conception.

5.2. Précisions et modifications pour l'application d'IBC 2009 en Haïti

Les exigences d'IBC 2009 doivent être prises en compte avec les précisions, modifications, suppressions, et ajouts suivants.

Seuls les articles nécessitant un commentaire pour les établissements de catégorie de risque III ou IV, ou pour le contexte haïtien, sont mentionnés.

N. B. : Les informations qui suivent reprennent les références numérotées des chapitres et articles d'IBC-2009.

CHAPITRE 3 – CLASSIFICATION D'UTILISATION ET D'OCCUPATION

308.3 Commentaire. L'utilisateur est invité à noter que la catégorie d'occupation I-2 inclut :

Établissements de soins pour enfants

Centres de désintoxication

Hôpitaux

Hôpitaux psychiatriques

Centres de soins infirmiers

308.5 Commentaire. L'utilisateur est invité à noter que la catégorie d'occupation I-4 inclut les dispensaires.

CHAPITRE 4 – CRITÈRES SPÉCIAUX EN MATIÈRE DE FINITION BASÉS SUR L'UTILISATION ET L'OCCUPATION

407 Commentaire. La section 407 traite spécifiquement des exigences pour les établissements de la catégorie d'occupation I-2.

422 Commentaire. L'utilisateur est invité à noter que cette section traite spécifiquement des exigences relatives aux établissements de soins ambulatoires.

CHAPITRE 14 – FACADES (toutes parois extérieures)

1403 EXIGENCES EN MATIÈRE DE COMPORTEMENT

1403.3.1 Ajouter : Les façades et leurs ouvertures seront conçues et réalisées pour résister en toute sécurité aux impacts des débris disséminés par le vent, conformément à la Section 6.5.9.3 d'ASCE 7-05.

CHAPITRE 15 – ASSEMBLAGES ET STRUCTURES EN TOITURE

1504 PERFORMANCES EXIGÉES

1504.8 Agrégats. Remplacer par :

Aucun agrégat (gravier ou autre) ne peut être utilisé, comme couche de protection, ou en épaisseur sur le toit d'un bâtiment.

CHAPITRE 16 – CONCEPTION DES STRUCTURES

1605 COMBINAISON DE CHARGES

Utiliser les combinaisons de charges suivantes :

1605.2 Combinaisons de charge pour le calcul des forces ou des actions et résistances

1605.5.2.1 Combinaisons de charges de base

Remplacer par :

Combinaisons de charges de base. Lorsque le calcul des forces ou des actions et résistances est réalisé pour la catégorie d'occupation II, les structures et leurs parties doivent être en mesure de résister aux effets les plus critiques issus des combinaisons de charges pondérées suivantes

$$\text{Equation 16-1: } 1.4(D + F)$$

$$\text{Equation 16-2: } 1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ or } R)$$

$$\text{Equation 16-3: } 1.2D + 1.6(L_r \text{ or } R) + (f1.L \text{ or } 0.8W_{700}/1.6)$$

$$\text{Equation 16-4: } 1.2D + 1.0W_{700} + L + 0.5(L_r \text{ or } R)$$

$$\text{Equation 16-5: } 1.2D + 1.0E + f1.L$$

$$\text{Equation 16-6: } 0.9D + 1.0W_{700} + 1.6H$$

$$\text{Equation 16-7: } 0.9D + 1.0E + 1.6H$$

Pour les catégories de risque III et IV, remplacer W_{700} par W_{1700} .

1605.3 Combinaisons de charges pour le calcul de la contrainte admissible

1605.3.1 Combinaisons de charges de base

Remplacer par :

Combinaison des charges de base. Là où le concept de contrainte admissible (calcul de la contrainte de travail), tel qu'autorisé par ce code, est utilisé pour la catégorie d'occupation II, les structures et leurs parties doivent résister aux effets les plus élevés des combinaisons de charges suivantes

$$\text{Equation 16-8 : } D + F$$

$$\text{Equation 16-9: } D + H + F + L + T$$

$$\text{Equation 16-10: } D + H + F + (L_r \text{ ou } R)$$

$$\text{Equation 16-11: } D + H + F + 0,75(L + T) + 0,75(L_r \text{ ou } R)$$

$$\text{Equation 16-12: } D + H + F + (W_{700}/1,6 \text{ ou } 0.7E)$$

$$\text{Equation 16-13: } D+H+F+0,75(W_{700}/1,6 \text{ ou } 0.7E)+0,75L+0,75(L_r \text{ ou } R)$$

$$\text{Equation 16-14: } 0,6D + W_{700}/1,6 + H$$

$$\text{Equation 16-15: } 0,6D + 0,7E + H$$

Pour les catégories d'occupation III et IV, remplacer W_{700} par W_{1700} .

1609 CHARGES DUES AUX VENTS

1609.1.1 Détermination des surcharges dues au vent. Les surcharges dues au vent sur chaque bâtiment ou structure doivent être déterminées conformément au Chap. 6 d'ASCE 7-05 tel que modifié par ce document d'application pour Haïti.

Le vent sera présumé provenir de toute direction horizontale et les pressions seront présumées agir normalement sur chaque surface examinée.

1609.2 Définitions

RÉGIONS EXPOSÉES AUX OURAGANS

Ajouter :

Haïti est une région exposée aux ouragans.

RÉGIONS EXPOSÉES AUX DÉBRIS DISSÉMINÉS PAR LE VENT

Ajouter :

Haïti est une région exposée aux débris disséminés par le vent.

1609.3 Vitesse de vent de base

Remplacer la figure 1609 par les figures 1609.1(Haïti) et 1609.2 (Haïti).

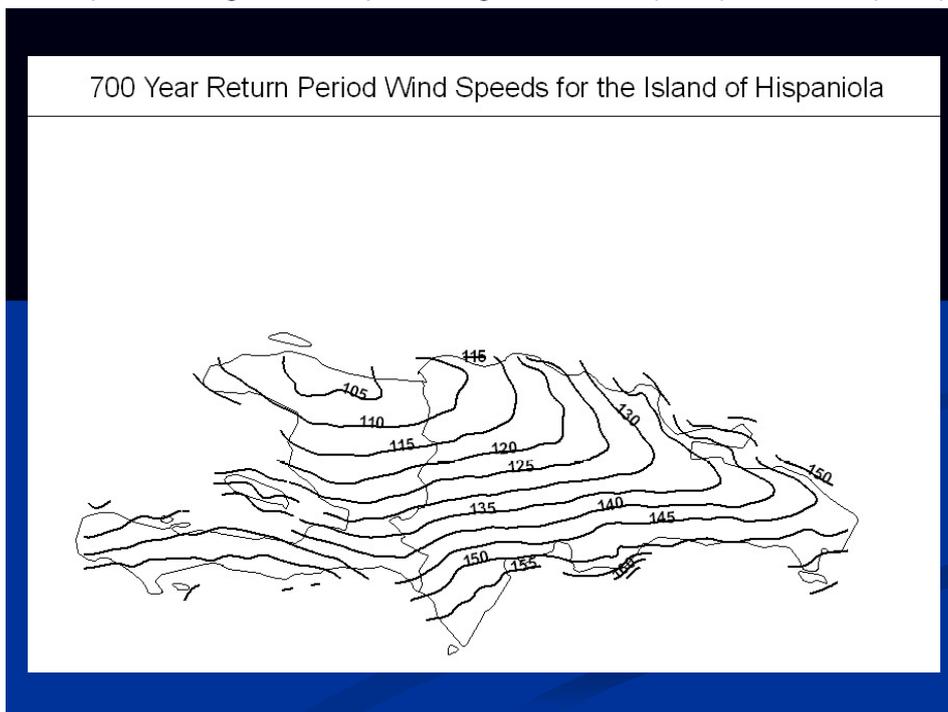


Figure 1609.1 (Haïti). Valeurs de W700.

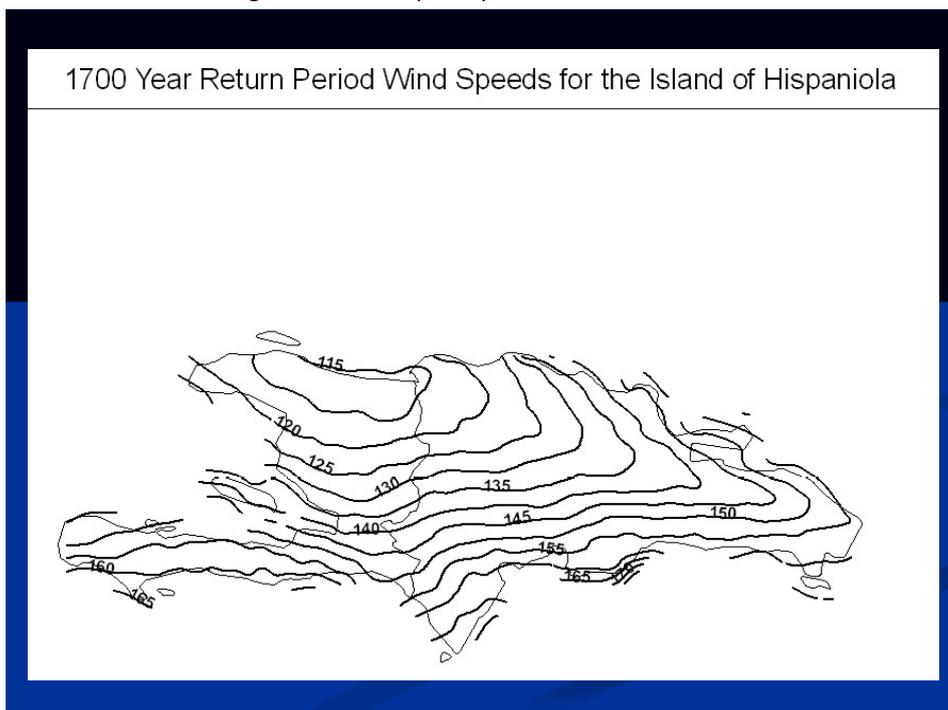


Figure 1609.2 (Haïti). Valeurs de W1700.

1611 CHARGES DE PLUIES

Remplacer la figure 1611.1 par la figure 1611.1 (Haïti) et la table 1611.1 par le tableau 1611.1 (Haïti)

Commentaire. Les figures suivantes donnent les valeurs intensité/durée/fréquence (IDF) pour une station unique en Haïti, située au nord de Port-au-Prince. C'est l'information la plus précise disponible en ce moment.

Tableau 3. Courbes IDF, station Damien (18°35'44.49"N; 72°17'21.07"W).

COURBES INTENSITÉ DURATION FRÉQUENCE (IDF)							
STATION PLUVIOGRAPHIQUE DAMIEN, HAÏTI.							
PÉRIODE DE RETOUR (ANNÉES)	INTENSITÉ (mm/hr)						
	DURÉE (HR y MIN)						
	0.25	0.5	1	2	6	12	24
	15	30	60	120	360	720	1440
1	28.55	32.26	14.84	5.49	0.64	0.35	0.17
5	146.05	92.43	59.83	34.09	11.49	5.84	2.90
10	177.37	108.46	71.83	41.71	14.39	7.30	3.63
20	207.64	123.97	83.42	49.08	17.19	8.72	4.34
25	217.27	128.90	87.11	51.42	18.08	9.17	4.50
30	225.12	132.92	90.12	53.33	18.80	9.53	4.74
50	246.99	144.12	98.49	58.65	20.82	10.56	5.25
100	276.54	159.25	109.81	65.84	23.55	11.49	5.94

Table 1611.1(Haïti)

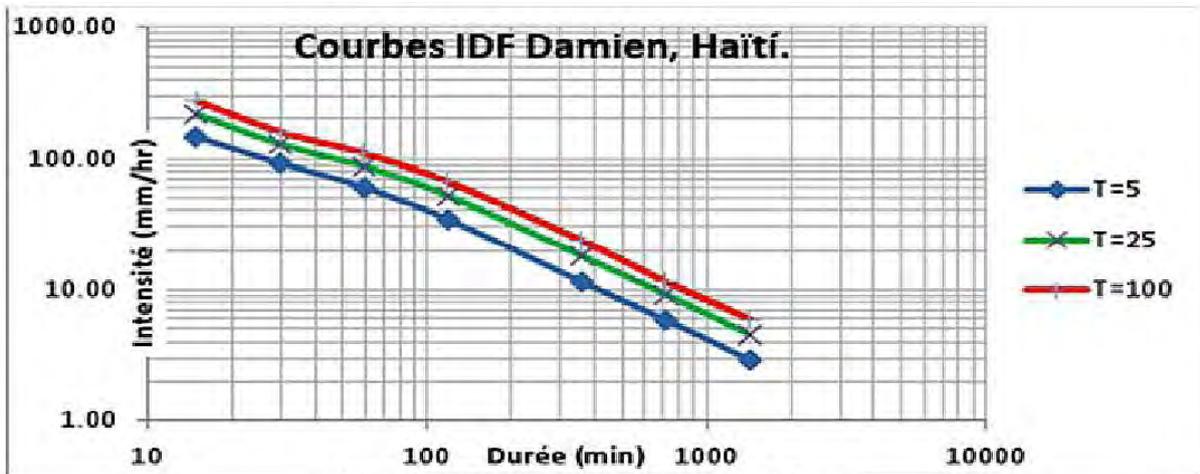


Figure 8. Courbes IDF à la station Damien

Figure 1611.1(Haïti)

1612 CHARGES DUES AUX INONDATIONS

Commentaire. Les cartes sur les risques de pluie et d'inondation en Haïti issues des études en cours sont des cartes régionales. Les zonages communaux ne sont pas encore disponibles.

1613 SURCHARGES DUES AUX TREMBLEMENTS DE TERRE

Remplacer 1613 par ASCE 7-05 Chapitres 11 à 21

Commentaires. Voir chapitre suivant.

5.3. Précisions et modifications pour l'application d'ASCE 7-05 en Haïti

Les exigences des Chapitres 2 et 6 d'ASCE 7-05 seront respectées avec les modifications, compléments et retraits suivants.

Seuls les articles nécessitant un commentaire ou une modification pour les établissements de catégorie de risque III ou IV, ou pour le contexte haïtien, sont mentionnés.

N. B. : Les informations qui suivent reprennent les références numérotées des chapitres et articles d'ASCE 7-05.

CHAPITRE 2 – COMBINAISONS DE CHARGES

Les simultanités de charge seront utilisées.

2.3 COMBINAISON DE CHARGES PONDÉRÉES POUR LE CALCUL DES FORCES

2.3.2 Combinaisons de base.

Remplacer par :

Combinaisons de base. Les structures, composants et fondations pour la catégorie d'occupation II seront conçus et calculés pour des forces égales ou supérieures aux effets des combinaisons de charges pondérées suivantes :

- 1: $1.4(D + F)$
- 2: $1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ or } R)$
- 3a: $1.2D + 1.6(L_r \text{ or } R) + (L \text{ or } 0.8W_{700}/1.6)$
- 4a: $1.2D + 1.0W_{700} + L + 0.5(L_r \text{ or } R)$
- 5: $1.2D + 1.0E + L + 0.2S$
- 6a: $0.9D + 1.0W_{700} + 1.6H$
- 7: $0.9D + 1.0E + 1.6H$

Pour les structures, composants et fondations dans les catégories d'occupation III et IV, remplacer W_{700} par W_{1700} .

2.4 COMBINAISONS DE CHARGES NOMINALES EN UTILISANT LE CONCEPT DE CONTRAINTE ADMISSIBLE

2.4.1 Combinaisons de base

Remplacer par :

Combinaisons de base. Les charges suivantes seront considérées comme agissant dans les combinaisons suivantes pour la catégorie d'occupation II, quelle que soit celle qui produise l'effet le plus pénalisant sur le bâtiment, les fondations ou l'élément structural considéré.

- 1: $D + F$
- 2: $D + H + F + L + T$
- 3: $D + H + F + (L_r \text{ or } R)$
- 4: $D + H + F + 0.75(L + T) + 0.75(L_r \text{ or } R)$
- 5: $D + H + F + (W_{700}/1.6 \text{ or } 0.7E)$
- 6: $D + H + F + 0.75(W_{700}/1.6 \text{ or } 0.7E) + 0.75L + 0.75(L_r \text{ or } R)$
- 7: $0.6D + W_{700}/1.6 + H$
- 8: $0.6D + 0.7E + H$

Pour les structures, éléments de structure et fondations des catégories d'occupation III et IV remplacer W_{700} par W_{1700} .

CHAPITRE 6 –CHARGES DUES AU VENT

6.1 GÉNÉRALITES

6.1.4.1 Système principal de résistance au vent

Remplacer par :

Système principal de résistance au vent. La surcharge pondérée due au vent utilisée dans la conception de MWFRS pour un bâtiment fermé ou partiellement fermé ou toute autre structure ne sera pas inférieure à 16 livres/ft² (0,48 kN/m²) multiplié par la surface du bâtiment ou de la structure projetée sur un plan vertical normal vis-à-vis de la direction considérée du vent. La force de calcul pondérée du vent pour les bâtiments ouverts et autres structures ne sera pas inférieure à 16 livres/ft² (0,77 kN/m²) multiplié par la surface A_f .

6.2 DÉFINITIONS

RÉGIONS EXPOSEES AUX OURAGANS

Remplacer par :

Haïti est une région exposée aux ouragans

FACTEUR D'IMPORTANT, I

Remplacer par :

FACTEUR D'IMPORTANT, I : Un facteur d'importance, qui représente le degré de risque pour la vie humaine et de dommages aux biens, doit être appliqué aux bâtiments des catégories de risque I et II. Pour les bâtiments des catégories de risque III et IV, le facteur d'importance ne sera pas requis, puisque la vitesse de base du vent pour ces catégories (périodicité 1700 ans inclut la majoration).

RÉGIONS EXPOSÉES AUX DÉBRIS DISSÉMINÉS PAR LE VENT

Remplacer par :

Haïti est une région exposée aux débris disséminés par le vent.

6.3 SYMBOLES ET DÉSIGNATIONS

Remplacer les définitions des symboles et notations suivants par les définitions suivantes.

F = force de vent pondérée de calcul pour d'autres structures, en livres (N)

p = pression pondérée de calcul à utiliser pour la détermination des surcharges de vent pour les bâtiments, en lb/ft² (N/m²)

p_L = pression pondérée du vent agissant sur la face sous le vent de la fig. 6-9, en pieds/ft² (N/m²)

p_{net} = pression pondérée nette de calcul du vent de l'Eq. 6-2, en pieds/ft² (N/m²)

p_{net30} = pression pondérée nette de calcul du vent pour Exposition B à $h = 30$ pieds et $I = 1,0$ de la fig. 6-3, en pieds/ft² (N/m²)

pp = pression pondérée nette sur un parapet, pour l'Eq. 6-20, in lb/ft² (N/m²)

ps = pression pondérée nette de calcul du vent. Eq. 6-1, en pieds/ft² (N/m²)

$ps30$ = pression pondérée de calcul simplifiée pour l'exposition B avec $h = 30$ pieds et $I = 1,0$ sur la fig. 6-2, in lb/ft² (N/m²)

p_W = pression pondérée du vent agissant sur la face au vent selon la fig. 6-9, en pied/ft² (N/m²)

q = pression dynamique pondérée, in lb/ft² (N/m²)

qh = pression dynamique pondérée évaluée à une hauteur $z = h$, en pieds/ft² (N/m²)

qi = pression dynamique pondérée pour la détermination de la pression interne, en pieds/ft² (N/m²)

qp = pression dynamique pondérée au sommet du parapet, en livres/ft² (N/m²)

qz = pression dynamique pondérée évaluée à une hauteur z au-dessus du sol, en livres/ft² (N/m²)

V_{700} = vitesse de base du vent (700 ans) obtenue de la fig. 6-1a (Haïti), en mi/h (m/s). La vitesse de base du vent correspond à une rafale de 3 s à 33 pieds (10 m) au-dessus du sol dans la catégorie d'exposition C.

V_{1700} = vitesse de base du vent (1700 ans) obtenue de la fig. 6-1b (Haïti), en mi/h (m/s). La vitesse de base du vent correspond à une rafale de 3 s à 33 pieds (10 m) au-dessus du sol dans la catégorie d'exposition C.

6.4 MÉTHODE 1—PROCÉDURE SIMPLIFIÉE

6.4.2.1.1 Pressions minimales

Remplacer par :

Pressions minimales. Les effets de surcharge des pressions de calcul des vents selon la Section 6.4.2.1 ne seront pas inférieurs à la surcharge minimale selon la Section 6.1.4.1 en utilisant des pressions pondérées, ps , pour les zones A, B, C, et D toutes égales à +16 psf, en retenant que les zones E, F, G, et H sont toutes égales à 0 psf.

6.4.2.2.1 Pressions minimales

Remplacer par :

Pressions minimales. Les pressions pondérées positives de calcul des vents, p_{net} , selon la Section 6.4.2.2 ne seront pas inférieure à +16 psf (0,77kN/m²), et les pressions pondérées négatives de conception des vents, p_{net} , selon la Section 6.4.2.2 ne seront pas inférieures à -16 psf (-0,77kN/m²).

Commentaires : Ces pressions ont été adaptées pour être utilisées avec les cartes de vents (700 ans et 1700 ans) établies pour Haïti et reproduites dans ce guide.

6.5 MÉTHODE 2—PROCÉDURE ANALYTIQUE

6.5.3 Procédure de calcul.

Remplacer 1. Par :

1. Les vitesses de base du vent V_{700} et V_{1700} et le facteur Kd de directionnalité du vent seront déterminés en conformité avec la Section 6.5.4.

6.5.4 Vitesse de vent de base

Remplacer par :

Vitesse de vent de base. Les vitesses de vent de base, V_{700} et V_{1700} , utilisées dans la détermination des surcharges de calcul dues au vent sur les bâtiments et autres structures seront telles qu'indiquées dans les fig. 6-1a (Haïti) et 6-1b (Haïti) sauf dispositions spécifiques prévues aux Sections 6.5.4.1. Le vent sera supposé provenir de toute direction horizontale.

6.5.4.1 Régions spéciales surexposées aux vents

Remplacer par :

Régions spéciales surexposées aux vents. La vitesse de vent de base sera augmentée là où des enregistrements ou l'expérience indiquent que les vitesses de vents sont plus élevées que celles qui sont indiquées dans les fig. 6-1a et 6-1b. Les terrains montagneux, les gorges et les régions spéciales seront examinées pour déterminer s'il y a des conditions de vent inhabituelles. L'autorité compétente ajustera, le cas échéant, les valeurs indiquées aux fig. 6-1a et 6-1b pour tenir compte des vitesses de vents locales plus élevées. De tels ajustements seront basés sur l'information météorologique.

6.5.4.2 Supprimer la section 6.5.4.2

6.5.6.2 Catégories de rugosité de surface.

Supprimer la rugosité de surface D

Commentaire : La rugosité potentielle est incluse dans les cartes utilisées.

6.5.6.3 Catégories d'exposition

Exposition C

Remplacer par :

Exposition C: L'exposition C s'applique dans tous les cas où l'exposition B ne s'applique pas.

6.5.7.1 Accélération du vent au-dessus des collines, des crêtes et des talus.

Remplacer 5 par :

5. H est plus grand que ou égal à 15 pieds (4,5 m) pour les expositions C et 60 pieds (18 m) pour les expositions B.

6.5.10 Pression dynamique prise en considération

Remplacez la formule pour qz seulement, par la définition suivante (selon le cas)

Pression dynamique prise en considération. La pression dynamique prise en considération, qz , évaluée à la hauteur z , sera calculée au moyen des équations suivantes:

$$qz = 0.00256KzKzt KdV_{700}^2 \text{ (livre/pied}^2\text{)} \text{ (6-15a) pour les bâtiments de catégorie I}$$

$$qz = 0.00256KzKzt KdV_{700}^2 \text{ (livre/pied}^2\text{)} \text{ (6-15b) pour les bâtiments de catégorie II}$$

$$qz = 0.00256KzKzt KdV_{1700}^2 \text{ (livre/pied}^2\text{)} \text{ (6-15c) pour les bâtiments des catégories III et IV}$$

Pour les unités SI, remplacer la constante 0,00256 par la constante 0,613 et veillez à ce que V_{700} et V_{1700} soient exprimés en m/s.

Cartes d'aléas de vent

FIGURE 6-1 VITESSE DE BASE DU VENT

Les vitesses de base de vent sont présentées dans les figures 6.1a (Haïti), 6.1b (Haïti) ci-après. Les figures présentent les courbes pour les vitesses de vent sur terrains dégagés en Haïti.

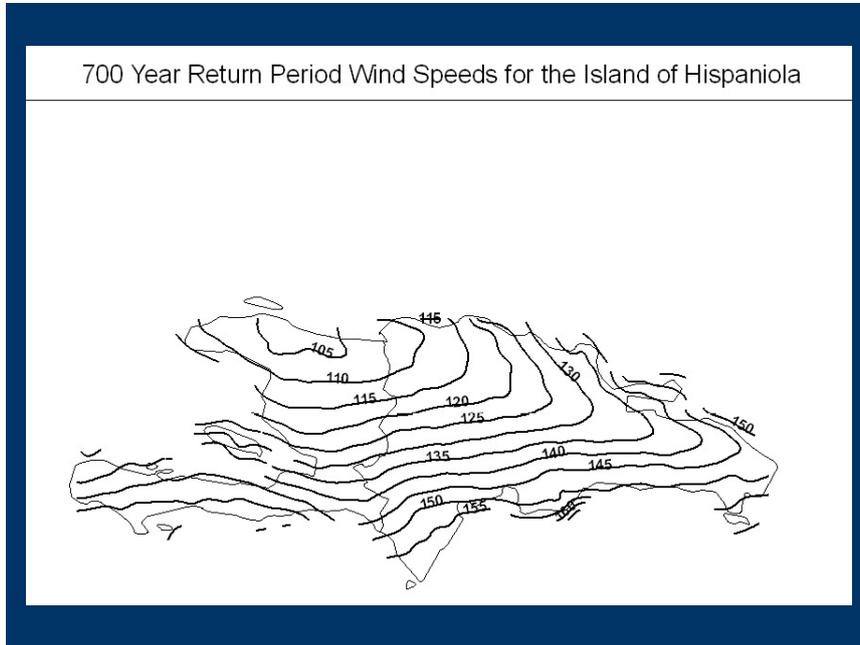


Figure 6.1a (Haïti)

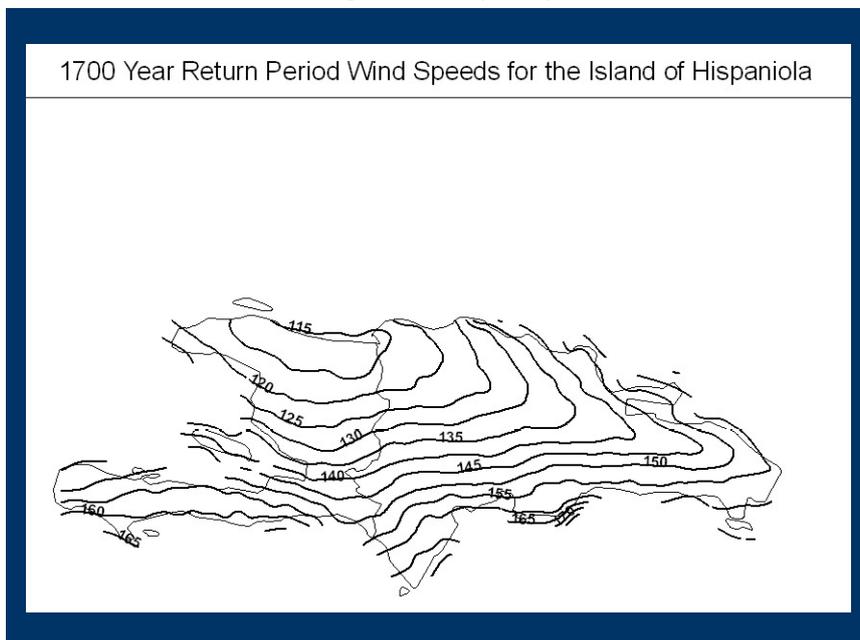


Figure 6.1b (Haïti)

CHAPITRE 11 – CRITÈRES DE CONCEPTION PARASISMIQUE

11.4.1 Paramètres d'accélération reconnus

Ajouter

11.4.1.1 Pour Haïti, utiliser les figures 22-1 (Haïti) et 22-2 (Haïti)

1 Hz Spectral Acceleration (%g) with 2% Probability of Exceedance in 50 Years

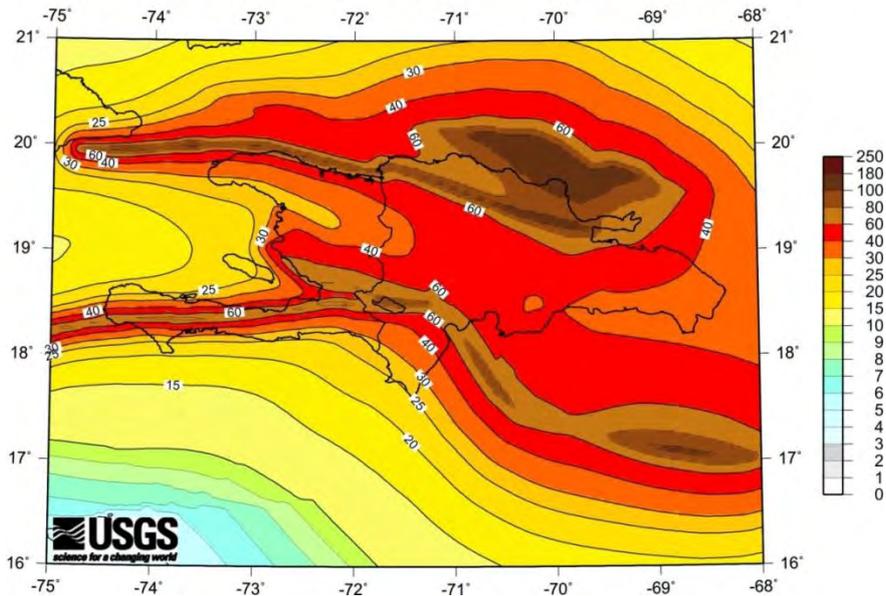


Figure 22-1 (Haïti)

5 Hz Spectral Acceleration (%g) with 2% Probability of Exceedance in 50 Years

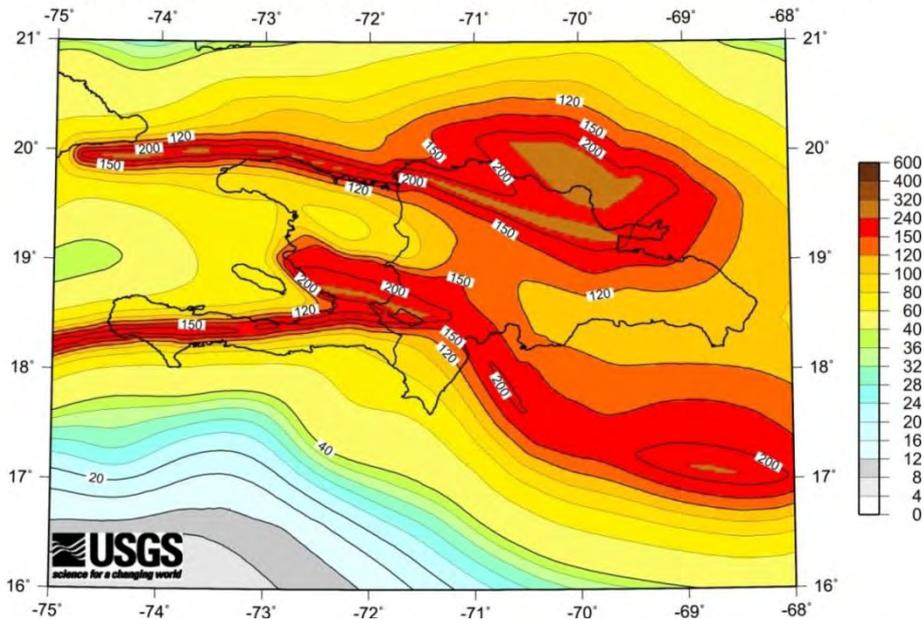


Figure 22-2 (Haïti)

Coefficient d'importance

- Catégorie III : $I_E = 1.25$
- Catégorie IV : $I_E = 1.50$

2^{ème} PARTIE : PRESCRIPTIONS TECHNIQUES POUR LES PROJETS DE CONSTRUCTION NEUVE

La deuxième partie du Guide pour la construction des établissements de santé 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.

Elle est divisée en cinq sous-parties :

- *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.*

La première partie du guide a présenté les exigences contextuelles à intégrer dans les termes de référence des concours d'architecture et des contrats de maîtrise d'œuvre.

Cette deuxième partie porte sur les exigences techniques qui doivent être satisfaites par le projet, d'une part pour répondre aux règles de construction et d'autre part pour éviter des surcoûts par imprévision.

Cette partie commence par une synthèse des exigences minimum requises pour le choix des matériaux de construction. Ceux-ci doivent satisfaire les hypothèses de calcul de dimensionnement, mais également garantir un bon comportement, dans le contexte tropical humide haïtien, pour prévenir le vieillissement préjudiciable à la sécurité et à l'hygiène des établissements de santé.

La deuxième partie synthétise les règles de bonne conception des structures et de leurs fondations dans les régions sismiques et cycloniques. Son contenu est compatible avec les niveaux d'exigence des règles étrangères de haut niveau recommandées à titre intérimaire par l'Etat haïtien.

La troisième partie propose un ensemble de dispositions sécuritaires à vérifier pour la conception du second-œuvre en zones sismiques et/ou cycloniques. Ces exigences, qui échappent souvent au cadre normatif de la justification des résistances des structures, ne sont pas suffisamment prises en compte dans les projets courants. Elles doivent impérativement être respectées pour les établissements de santé des catégories de risques III et IV selon le classement des installations en vigueur en Haïti.

La quatrième sous-partie propose un ensemble de dispositions sécuritaires à vérifier pour le choix et la mise en place des équipements et mobiliers en zones sismiques et/ou cycloniques. Elle expose des exigences minimum et des recommandations. Une littérature assez riche est consacrée au sujet ; elle est disponible auprès d'organisations en charge des stratégies de mitigation des risques.

La cinquième et dernière partie expose des règles qui concernent aussi bien l'organisation des locaux que leur équipement qui ont pour objet la fonctionnalité sécuritaire de l'établissement : prévention et lutte contre les incendies, accessibilité à tous les publics, conditions d'évacuation en cas de panique, etc.

Contenu de la 2^{ème} partie

2 ^{ème} Partie : prescriptions techniques pour les projets de construction neuve	93
1. Exigences formelles pour les matériaux à utiliser	99
1.1. Critère général : Respect des critères des méthodes de calcul utilisées.....	99
1.2. Critères particuliers : Adaptation au contexte	99
1.3. Le béton armé	100
1.3.1. Préambule.....	100
1.3.2. Les graviers	100
1.3.3. Les sables.....	100
1.3.4. Les ciments.....	101
1.3.5. L'eau	101
1.3.6. Les armatures pour béton armé	102
1.3.7. La préparation et la mise en place du béton	102
1.4. La maçonnerie	104
1.4.1. Généralités.....	104
1.4.2. Les blocs manufacturés	104
1.4.3. Le mortier à maçonner	105
1.5. L'acier pour charpente métallique.....	106
1.6. Le bois	107
1.6.1. Le bois de charpente.....	107
1.6.2. Les matériaux dérivés du bois.....	107
1.7. Le verre.....	107
2. Exigences relatives à la conception générale de la structure.....	109
2.1. Principes généraux pour les fondations.....	109
2.1.1. Sollicitations	109
2.1.2. Etudes préliminaires.....	109
2.1.3. Choix du système de fondation	109
2.1.4. Spécificités liées à l'aléa sismique.....	109
2.2. Fondations superficielles	110
2.2.1. Dispositions générales	110
2.2.2. Semelles isolées - Semelles filantes	111
2.2.3. Radier général porteur	111
2.2.4. Précautions vis-à-vis des constructions avoisinantes	112
2.2.5. Fondations superficielles sur sites en pente	112
2.3. Fondations profondes.....	114
2.3.1. Généralités sur les fondations profondes ou semi-profondes	114

2.3.2.	Pieux.....	114
2.3.3.	Puits.....	117
2.4.	Exigences générales pour la superstructure (au dessus des fondations)	118
2.4.1.	Généralités.....	118
2.4.2.	Performances optimisées par la bonne conception en amont du calcul.....	118
2.4.3.	Hauteur d'étages appropriée pour les établissements hospitaliers	119
2.5.	Exigences de conception propres au risque sismique	120
2.5.1.	Forme du bâtiment	120
2.5.2.	Joints parasismiques.....	120
2.5.3.	Contreventement.....	121
2.6.	Exigences complémentaires propres au risque cyclonique.....	123
2.6.1.	Généralités.....	123
2.6.2.	Toitures	124
2.6.3.	Ouvertures	124
2.7.	Méthodes de protection spécifiques contre les séismes	125
3.	Exigences techniques pour la sécurité des éléments non structuraux	126
3.1.	Généralités.....	126
3.2.	Façades	126
3.2.1.	Façades préfabriquées.....	126
3.2.2.	Maçonneries de remplissage.....	127
3.2.3.	Revêtements de type carreaux.....	127
3.2.4.	Parapets et garde-corps.....	128
3.2.5.	Corniches, enseignes, ornements divers.....	128
3.3.	Éléments situés en couverture des toitures	128
3.4.	Menuiseries.....	129
3.4.1.	Portes, fenêtres et volets.....	129
3.4.2.	Cloisons de partition intérieure	130
3.5.	Faux plafonds et réseaux suspendus	130
3.6.	Faux planchers.....	131
3.7.	Revêtements de sols.....	131
3.8.	Escaliers et Ascenseurs	132
3.8.1.	Escaliers	132
3.8.2.	Ascenseurs	132
3.9.	Plomberie et électricité	133
3.10.	Murs de clôture.....	134
4.	Exigences pour les équipements.....	135
4.1.	Généralités.....	135

4.1.1.	Introduction	135
4.1.2.	Matériel fixe.....	135
4.1.3.	Matériel roulant	136
4.1.4.	Matériel posé.....	137
4.1.5.	Matériel connecté	137
4.2.	Equipements médicaux	138
4.2.1.	Service des urgences.....	138
4.2.2.	Blocs opératoires / Réanimation.....	138
4.2.3.	Equipement de radiologie/ Imagerie/ Explorations fonctionnelles	139
4.2.4.	Equipement de laboratoire d'analyses médicales	139
4.3.	Equipements non médicaux	141
4.3.1.	Mobiliers.....	141
4.3.2.	Matériel informatique.....	142
4.3.3.	Éléments suspendus (luminaires, ventilateurs, appliques, etc.).....	142
5.	Exigences relatives à l'accessibilité et à la sécurité fonctionnelle	143
5.1.	Accessibilité aux personnes handicapées	143
5.2.	Mesures de sécurité incendie et technologique	143
5.2.1.	Exigence de conception du fait des risques incendie.....	143
5.2.2.	Accessibilité des locaux	144
5.2.3.	Isolement entre bâtiments	144
5.2.4.	Exclusions de cohabitation.....	145
5.2.5.	Résistance au feu des structures	145
5.2.6.	Façades	146
5.2.7.	Toitures.....	146
5.2.8.	Compartimentage.....	146
5.2.9.	Locaux à risque.....	147
5.2.10.	Dégagements	147
5.2.11.	Aménagements intérieurs.....	148
5.2.12.	Désenfumage des locaux sans fenêtre directe sur l'extérieur	148
5.2.13.	Fluides (gainés, passage de canalisations, stockage)	149
5.2.14.	Electricité.....	149
5.2.15.	Alarme et système de sécurité.....	149
5.2.16.	Moyens de secours internes à l'établissement.....	150
5.2.17.	Consignes de sécurité incendie	150
5.3.	Stockage de l'eau.....	150
5.4.	Stockage de carburant	151
5.5.	Vérifications périodiques	151

1. EXIGENCES FORMELLES POUR LES MATÉRIAUX À UTILISER

1.1. Critère général : Respect des critères des 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 ».

En outre, l'un des facteurs importants de la capacité des bâtiments à bien vieillir (économies d'entretien) et à conserver leur résistance aux séismes et aux cyclones, est 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'exigence des nombreux pays ayant un retour d'expérience sismique et cyclonique, est le meilleur moyen technique et juridique de procéder à des choix efficaces.

Au moment de la rédaction de ce 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. Ces normes précisent les résistances à vérifier et les méthodes de calcul.

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

Il faut toutefois noter que les exigences nord-américaines ou européennes ne satisfont pas toujours les besoins du climat tropical qui accélère le vieillissement des matériaux inappropriés, notamment en raison de l'humidité ambiante et de la présence de phénomènes qui y sont associés (corrosion, champignons, mousses, pourritures, insectes xylophages, etc.).

La prise en compte du climat impose, pour les établissements hospitaliers, la vérification des exigences et retours d'expériences des autres pays de la Caraïbe¹.

Un autre handicap du contexte haïtien est la difficulté actuelle d'approvisionnement en matériaux de construction fiables, notamment dans les sections rurales, ce qui doit amener à limiter les dimensions des bâtiments², afin de réduire les charges courantes, ainsi que les charges exceptionnelles des séismes et des cyclones.

Les informations du présent chapitre ne se substituent pas au respect des normes retenues par l'Etat haïtien, qui sont susceptibles d'évoluer dans le temps, et auxquelles on se référera comme un minimum légal. Il résume pour chacun des matériaux courants le niveau d'exigence minimum reconnu au niveau international pour les contextes tropicaux, sismiques et cycloniques.

¹ L'équipe de conception du projet de construction doit impérativement procéder à des vérifications, issues du retour d'expérience, ou de la documentation produite sur le sujet par les pays confrontés aux mêmes problématiques.

On peut notamment consulter les documents techniques édités par le CROSQ pour l'AEC ou les règles Antilles pour la Guadeloupe et la Martinique.

² Voir 1^{ère} partie.

1.3. Le béton armé

1.3.1. Préambule

Le béton armé est composé d'un mélange de graviers, de sable, de ciment, d'eau et d'acier.

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/mm² 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.

1.3.2. Les graviers

Les graviers de rivière ou de carrière sont produits en usine de concassage ce qui leur confère une forme anguleuse qui permet une meilleure cohésion que les graviers « ronds » qui sont prohibés.

Toujours dans l'objectif de favoriser une bonne liaison entre les composants du béton et les armatures, la dimension des graviers est également limitée. Le « diamètre » des graviers doit être compris entre 5 et 25 mm. Il est conseillé de mélanger à parts égales des graviers de granulométrie 5/15 et 15/25 afin de favoriser la compacité du béton.

Les graviers doivent être parfaitement lavés afin d'être débarrassés de tout élément parasite pouvant réduire la résistance du béton (terre, argile, sel, etc.).

Les graviers

- Concassés
- Entre 5 et 25 mm de diamètre
- Granulométrie : 50% de 5/15 mm et 50% de 15/25 mm
- Parfaitement lavés

N. B. : La taille excessive des graviers ronds utilisés en Haïti a très fortement aggravé les dommages par dislocation du béton lors du tremblement de terre de 2010.

1.3.3. Les sables

Une attention particulière doit être apportée au choix du sable car certains sont impropres à la préparation du béton. Les sables doivent être préparés par des producteurs compétents respectant les exigences suivantes :

- **Les sables de carrière** doivent posséder un agrément officiel pour la réalisation de béton, et ne doivent pas être « poussiéreux », ce qui exclut quasiment leur utilisation à l'époque de réalisation de ce guide ;
- Il est interdit d'utiliser du **sable de mer**, même lavé, car le retrait total du sel ne peut être obtenu par des procédures courantes (le sel rouille les armatures favorisant l'éclatement du béton) ;
- **Les sables de rivière, naturels ou concassés** doivent également faire l'objet d'un processus de lavage strict pour en retirer les fines particules (argile, terre, etc.).

Le bureau des mines et de l'énergie d'Haïti peut être utilement consulté sur le sujet en attendant que la normalisation des productions soit plus lisible par les utilisateurs

La granulométrie des sables doit respecter les impératifs suivants :

- **Pas de sables trop fins** (granulométrie inférieure à 1mm) qui empêchent une bonne prise des bétons ;
- **Pas de sables trop homogènes** : utiliser un mélange de sable fin (1-1,6 mm), moyen (1,6-3 mm) et gros (3-5 mm) en proportions équivalentes.

Les sables

- Jamais de sable de mer ou issu de carrière non agréée, même lavé
- Sables de rivière parfaitement lavés
- Eviter les sables trop fins (voire poussiéreux)
- Mélange de sables fins, moyens et gros

1.3.4. Les ciments

Les ciments à béton, actuellement importés en Haïti, peuvent être utilisés s'ils sont conformes aux exigences reconnues par l'Etat haïtien à la date du chantier. L'emballage doit permettre d'identifier clairement la qualité du contenu. Tout ciment stocké dans des conditions d'humidité qui auraient altéré le produit, même de façon minimale, doit être refusé pour le béton de structure.

Pour être utilisé en structure, le dosage minimum de ciment est de 350 kg par m³ de béton.

Pour les bâtiments hospitaliers, le MTPTC exige un dosage minimum de ciment de 400 kg par m³ de béton.

Les ciments

- Production normalisée
- Etiquetage précisant l'usage
- Dosage : 400 kg pour les bâtiments hospitaliers

1.3.5. L'eau

L'eau doit être limpide, dépourvue de tous matériaux ou minéraux susceptibles d'interférer dans la qualité du béton. **L'eau de mer est formellement proscrite.**

L'eau doit être correctement dosée dès le début du malaxage : il est exclu de rajouter de l'eau ensuite, car elle interrompt la prise du béton qui n'aura plus jamais la résistance projetée malgré un dosage conforme.

Le rapport de volume Eau/Ciment (E/C) doit être inférieur à 0,5.

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 E/C inférieur à 0,5

1.3.6. Les armatures pour béton armé

La résistance élastique garantie des aciers doit être au minimum de 400 N/mm², avec une valeur conseillée en zone sismique de 500 N/mm². Pour avoir une bonne ductilité, l'acier doit permettre un allongement plastique d'au moins 5% sans perte de résistance.

Les armatures doivent être garanties « haute adhérence » (crênelées). **Les armatures lisses sont interdites en structure.**

Pour garantir une bonne durabilité du béton armé, il est impératif de tenir compte de l'environnement lors de la détermination de l'enrobage des armatures. L'enrobage minimal est de 30 mm mais pour un ouvrage exposé aux embruns marins (environnement agressif) cet enrobage doit être d'au moins de 50 mm.

N. B. : On retient une distance d'environ 1 km à vol d'oiseau du bord de mer, mais cela dépend en partie du sens des vents dominants, venant de la mer ou des terres.

Pour garantir cet enrobage, la pose de cales de dimensions contrôlées entre les barres d'acier et le coffrage est impérative.

Les armatures pour béton armé

- Limite de résistance élastique : 500 N/mm²
- Allongement plastique à la rupture : 5%
- Barres haute adhérence
- Enrobage minimum de 30 mm, et de 50 mm pour ouvrage proche de la mer
- Pose de cales entre barres d'acier et coffrage

N. B. : Si les conditions d'allongement plastique de 5% ne peuvent être garanties, les bâtiments ne devront pas avoir plus d'un étage (deux niveaux).

1.3.7. La préparation et la mise en place du béton

Afin de garantir une bonne mise en place du béton dans le coffrage et éviter la sédimentation, le béton doit être plastique. Le « test d'affaissement au cône d'Abrams » ou *slump test* (test de consistance normalisé permettant d'évaluer l'ouvrabilité du béton frais) doit donner un résultat compris entre 7 et 10.

Afin de vérifier la qualité du béton, des tests de résistance à la compression sur éprouvettes normalisées prélevées de façon aléatoire et un test de l'ouvrabilité sont effectués tous les 100 m³ de béton coulé.

Chaque élément de la construction (poteau, poutre, chaînage, dalle, etc.) doit être coulé de façon continue, sans reprise sur un béton dont le séchage / retrait a commencé.

Le béton

- Application stricte des normes pour le béton
- Résistance à la compression : 25 N/mm² 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 m³ de béton coulé
- Bétonnage continu à l'intérieur du coffrage de chaque élément

N. B. : Il est formellement interdit d'utiliser un béton rallongé d'eau pour le gros-œuvre des bâtiments.

Galerie de photos

Les photos suivantes, prises en Haïti en 2010, illustrent des pratiques courantes avant la catastrophe sismique, pratiques qui doivent impérativement être éradiquées : utilisation de galets, manque de sable ou sa mauvaise qualité, sous-dosage en ciment et surdosage en eau.

N. B. : Il a été choisi de montrer des bâtiments ou éléments constructifs peu endommagés ou non endommagés afin de visualiser plus correctement les problèmes.



Figure 1 : A gauche, à Delmas 33, l'endommagement de l'enduit et du béton permet de constater la présence de galets de dimensions excessives et le manque de cohésion du béton par mauvais dosages.

Figure 2 : Au centre, en ville à Port-au-Prince, l'endommagement de l'enduit et du béton illustre l'impossibilité de cohésion entre des armatures lisses et un béton « pauvre » à gros galets.

Figure 3 : A droite, à Delmas 33, on doit déplorer que cet ouvrage en reconstruction présente d'une part des reprises de bétonnage mal localisées et accompagnées de « manques », et d'autre part que les armatures ne soient pas protégées de la corrosion par un enrobage correct.



Figure 4 : A gauche, aux Cayes, à une centaine de kilomètres de l'épicentre, le béton d'un bâtiment qui s'est effondré, constitué de gros galets peu liaisonnés, illustre une pratique délictueuse inacceptable.

Figure 5 : A droite, aux Gonaïves, ce « chaînage-linteau » illustre un béton avec trop de graviers et non vibré.

(Tous clichés P. Balandier)

N. B. : A l'exception de l'illustration aux Cayes, les photos précédentes ont toutes été prises sur des bâtiments institutionnels et rappellent la nécessité de contrôles techniques indépendants et responsables sur les chantiers.

1.4. La maçonnerie

1.4.1. Généralités

Seule la maçonnerie chaînée respectant les règles d'implantation et de réalisation des chaînages est acceptée pour la construction des petits bâtiments en Haïti³.

L'usage de cette technique de construction en structure sera évité pour la réalisation des hôpitaux en raison de la qualité inappropriée des blocs produits en Haïti au moment de la rédaction de ce guide, pour garantir la résistance sismique suffisante des grands volumes nécessaires dans les hôpitaux.

Toutefois, la construction de petits locaux annexes peut être tolérée en respectant toutes les autres exigences des règles en vigueur (localisation et mise en œuvre des chaînages).

- Le béton et les armatures des chaînages doivent être préparés en respectant l'ensemble des exigences rappelées au chapitre précédent ;
- Les blocs à maçonner doivent présenter une résistance en compression appropriée à leur usage, ce qui exclut les blocs non vibrés pour les murs de structure des bâtiments ;
- Les mortiers doivent utiliser des sables et ciments conformes aux exigences ci-dessus et respecter les dosages normalisés pour leurs usages.

**NE PAS UTILISER
la maçonnerie pour la structure des locaux hospitaliers si :**

tous les matériaux,
la méthode de calcul
la mise en œuvre

ne respectent pas **strictement** les exigences d'IBC-2009 ou code équivalent, avec un coefficient de comportement n'excédant pas 1,5

Pour la structure des locaux secondaires à simple rez-de-chaussée en maçonnerie

UTILISEZ exclusivement des blocs vibrés

et RESPECTEZ l'intégralité des exigences du CNBH, partie 2

1.4.2. Les blocs manufacturés

Pour la réalisation des murs de structure, et a fortiori pour le contreventement des bâtiments en maçonnerie, seuls les blocs normalisés, vibrés, ayant une résistance à la compression garantie d'au moins 4 N/mm^2 peuvent être utilisés.

En outre, ils doivent avoir au moins 3 parois verticales longitudinales, ou être « pleins ». Dans tous les cas, ils doivent avoir 20 cm d'épaisseur minimum, pour résister aux sollicitations transversales.

Dans le cas où ces blocs ne sont pas disponibles, ce qui est encore fréquent dans différentes régions d'Haïti, les murs de contreventement doivent être réalisés en béton armé et la maçonnerie doit être réservée aux parois secondaires.

Les blocs de maçonnerie, moins résistants, ne peuvent être utilisés que dans les murs non porteurs (cloisons, clôtures, etc.).

³ La maçonnerie armée présente un gain de résistance significatif par rapport à la simple maçonnerie chaînée, mais les exigences de mise en œuvre, notamment le calage des armatures verticales et le remplissage des blocs, génèrent des coûts qui la rendent peu compétitive au regard des murs de contreventement en béton armé.

Maçonnerie de contreventement

- Blocs creux vibrés : minimum 3 parois longitudinales
- Blocs pleins vibrés
- Résistance à la compression : minimum 4 N/mm²
- Epaisseur 20 cm minimum

1.4.3. Le mortier à maçonner

Les normes acceptées par l'Etat haïtien, notamment IBC-2009, précisent la composition des mortiers, avec ou sans adjuvant (par exemple contre la remontée d'humidité) au cas par cas.

On veillera sur le chantier à ce que les normes soient respectées en fournissant des dosages sans équivoque.

Les joints horizontaux et verticaux entre les blocs doivent être totalement garnis.

La maçonnerie de pierres chaînées, admise sous conditions par certains codes parasismiques, **est exclue pour les hôpitaux** car l'exigence de fonctionnalité est difficilement garantie

Galerie de photos



Figure 6 : Exemple de blocs non vibrés fabriqués artisanalement à Port-au-Prince, avec des graviers trop gros, à ne pas utiliser pour la maçonnerie de contreventement en raison de leur manque de résistance.



Figure 7 : A gauche, blocs vibrés à graviers fins produits au Cap Haïtien. L'utilisation de ce type de blocs pour les murs de contreventement peut être envisagée pour les bâtiments annexes à simple rez-de-chaussée.

Figure 8 : A droite, exemple de blocs vibrés « 3 parois longitudinales » produits à l'étranger (ici en 15 cm d'épaisseur par 50 cm de longueur). La présence de 3 parois permet, en cas de fissuration d'une paroi extérieure, de ne pas perdre brutalement la résistance du bloc. Ils sont exigés pour la maçonnerie chaînée par les règles étrangères.



Figure 9 : A gauche, à Port-au-Prince, l'endommagement de l'enduit de la maçonnerie de remplissage d'un système poteaux-poutres (prohibé pour les établissements de santé) montre que les joints horizontaux ont été insuffisamment remplis et les joints verticaux pas du tout remplis.

Figure 10 : A droite, sur ce chantier de reconstruction à Tabarre, le mortier de la maçonnerie est mis en place avec soin. Entre les chaînages-poteaux verticaux et les chaînages horizontaux, le panneau de droite qui sera plein et confiné contribuera au contreventement, celui de gauche n'a pas de résistance au cisaillement en raison de sa fenêtre non confinée.

(Tous clichés P. Balandier)

1.5. L'acier pour charpente métallique

L'acier des profilés des charpentes métalliques (structure et toiture), comme celui des armatures, doit respecter des impératifs de résistance et de ductilité :

- La résistance élastique minimale de l'acier doit être de 240 N/mm^2 ;
- L'allongement plastique sans perte de résistance doit être de 5% minimum ;
- Les profilés doivent être protégés contre la corrosion **après** découpe et percements, par galvanisation ou tout autre procédé donnant une protection équivalente ou supérieure. Le niveau de galvanisation est précisé par les normes et dépend de la situation et de l'usage (exemple le plus exigeant : usage extérieur en bord de mer) ;
- Les boulons et écrous doivent avoir la même résistance à la corrosion que les éléments de charpente ; et des résistances (traction, cisaillement) ainsi qu'une ductilité normalisée, données par les normes parasismiques ;
- Les soudures en zones critiques doivent présenter la 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 doit être ajoutée.

Acier pour charpente métallique

- Résistance minimale de l'acier 240 N/mm^2
- Allongement plastique minimal 5%
- Protection normalisée contre la corrosion
- Quincaillerie normalisée propre aux zones sismiques

1.6. Le bois

1.6.1. Le bois de charpente

Les bois utilisés pour les structures doivent être secs, sains et exempts de nœuds. Les bois en feuillus durs, mi durs et les résineux traités peuvent être utilisés.

Pour les bois situés en extérieur, qui ne sont pas naturellement protégés contre les xylophages tropicaux, le traitement doit être réalisé à cœur, par exemple sous autoclave.

Les bois situés en intérieur peuvent être traités par trempage.

Les bois naturellement protégés sont dispensés de traitement, à condition d'appartenir à une liste reconnue pour les conditions tropicales humides de la Caraïbe.

Un traitement préventif anti-termites du sol, après terrassement et avant réalisation des fondations, doit être effectué à l'aide de produits physiques ou physico-chimiques agréés. Les produits par aspersion sont interdits pour éviter de polluer la nappe phréatique.

Bois de charpente

- Les bois en feuillus durs ou mi-durs et les résineux traités pourront être utilisés
- Les bois doivent être traités contre les termites, champignons et autres xylophages présents en Haïti
- Un traitement préventif anti-termites du sol doit être réalisé

1.6.2. Les matériaux dérivés du bois

Les matériaux dérivés du bois (contreplaqué, aggloméré et lamellé-collé) doivent répondre aux exigences d'usage en climat tropical. Leurs composants (bois, résines et autres) et leurs densités doivent les rendre résistants aux atmosphères saturées d'humidité et aux xylophages régionaux.

Ils doivent également présenter les garanties de comportement au feu (vitesse de combustion, type de fumées) compatibles avec leur usage.

Ce type de plaque ne doit être utilisé que pour des éléments non-structuraux. Toutefois, si les matériaux et leur mise en œuvre sont formellement contrôlés par des experts, le contreventement des ossatures en bois par des « voiles travaillants » peut être envisagé.

Dérivés du bois

- Usage normalisé, mais à éviter hors procédures strictes de contrôle (de la production à la mise en œuvre)

N. B. : Les structures en bois ne sont tolérées que pour les petits bâtiments de catégorie de risque inférieure à IV.

1.7. Le verre

L'ensemble des vitrages, encadrements et systèmes de fixation, doit résister aux chocs courants prévisibles et aux vibrations des séismes sans se briser. Ils ne doivent pas présenter d'éclats tranchants lors de leur éventuel endommagement.

A défaut d'utiliser des vitrages de sécurité ou armés, on ne mettra aucune surface vitrée en partie basse des murs (par mesure de protection contre les matériels roulants et les imprudences des visiteurs ou des patients).

S'ils ne sont pas protégés par des volets (eux-mêmes conçus pour résister), les vitrages extérieurs et leur système de fixation doivent être capables de résister aux pressions des vents cycloniques de référence et aux projectiles afférents. L'épaisseur du vitrage doit être calculée en fonction de la pression du vent et de la surface de la baie. Elle sera au minimum de 6 mm.

Les vitrages situés en toitures doivent être mis en place de telle sorte, qu'en cas de bris de glace, ils ne puissent pas tomber sur les usagers.

N. B. : Pour des vitrages en toiture existants qui présenteraient un danger, un filet de protection devra être disposé en dessous.

Le Verre

- Vitrage de sécurité
- Epaisseur et mise en œuvre normalisées selon l'emplacement et l'usage
- Protection passive ou active contre les chocs

2. EXIGENCES RELATIVES À LA CONCEPTION GÉNÉRALE DE LA STRUCTURE

2.1. Principes généraux pour les fondations

2.1.1. Sollicitations

En plus des charges verticales de la pesanteur, les actions du vent, les poussées des terres, les poussées hydrostatiques et les actions sismiques engendrent sur les fondations des efforts supplémentaires qui doivent être pris en charge selon les prescriptions des normes utilisées :

- Efforts horizontaux directs (efforts tranchants, composante horizontale) ;
- Efforts verticaux directs (surcharges) ;
- Efforts induits (moments de renversement) ;
- Etc.

La limitation des déplacements imposés (tassements différentiels, mouvements de sol, poussée des terres) nécessite de bonnes études de sols, des prescriptions appropriées et la mise en place de liaisons entre les points d'appui.

Les liaisons entre les éléments de fondation (qui se déplacent avec le sol), et la structure porteuse (qui se déforme sous l'action des forces d'inertie), doivent être dimensionnées et réalisées pour résister aux différentes actions possibles.

Les normes parasismiques sont explicites à ce sujet.

2.1.2. Etudes préliminaires

Une campagne de sondages sur site et leurs analyses doit être réalisée par un bureau d'études géologiques compétent, habitué aux spécificités des zones sismiques exposées aux pluies cycloniques (cf. 1^{ère} Partie).

Le rapport doit présenter tous les résultats des sondages, leurs analyses et les prescriptions à respecter pour les fondations et les éventuels ouvrages de soutènement. Il précisera, le cas échéant, les traitements de sol souhaitables.

2.1.3. Choix du système de fondation

Le choix du système de fondation, moyennant quelques précautions (limitation de pente), est effectué dans les mêmes conditions qu'en situation courante, mais en ajoutant les effets des charges sismiques ou cycloniques (les plus élevées) pour le dimensionnement.

Les surcharges sismiques ou cycloniques peuvent amener à choisir un autre système de fondation sur mauvais sol (par exemple : opter pour un radier, là où des semelles filantes auraient suffi sans ces surcharges), mais **les spécificités parasismiques sont assez peu nombreuses**, ce qui est rappelé ci-après.

2.1.4. Spécificités liées à l'aléa sismique

En zone sismique quelques règles générales sont à respecter :

- **Homogénéité du système de fondation**

La fondation d'un ouvrage doit constituer un système homogène pour une même unité. L'action du séisme ne doit pas être aggravée par des déformations non homogènes au niveau des fondations.

L'application de cette règle pour des grands bâtiments, même recoupés par des joints parasismiques, peut être complexe sur certains sites où un sol de topographie régulière peut surmonter un substratum rocheux en pente variable nécessitant localement des fondations semi-profondes, et quelques mètres plus loin des fondations profondes. Dans ce cas, il est préférable de laisser un espace suffisant entre deux corps de bâtiment fondés de façon homogène.

- **Solidarisation des points d'appui**

Les points d'appui « isolés » d'un même bloc de construction (semelles superficielles, puits, pieux), sauf prise en compte des déplacements possibles par les calculs, doivent être solidarisés par un réseau bidimensionnel de longrines tendant à s'opposer à leur déplacement relatif dans le plan horizontal.

Pour les semelles isolées superficielles, il est considéré qu'un encastrement correct dans un sol rocheux de bonne qualité assure cette solidarisation.

L'ensemble d'un bâtiment doit être sollicité par le séisme de façon homogène au niveau des fondations. Si plusieurs blocs de bâtiments séparés par des joints de dilatation, 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.

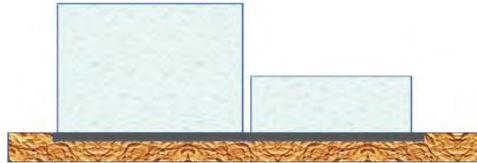


Figure 11 : Fondation unique sous deux blocs séparés par un joint parasismique. (Source ANCO)

2.2. Fondations superficielles

2.2.1. Dispositions générales

Les fondations superficielles sont employées lorsque le "bon sol", sol compact et homogène pouvant supporter la masse du bâtiment projeté, se trouve à faible profondeur par rapport au plancher le plus bas.

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 au droit des panneaux de contreventement (sous les panneaux de contreventement).

Les règles de construction parasismique rajoutent quelques prescriptions à ces principes généraux.

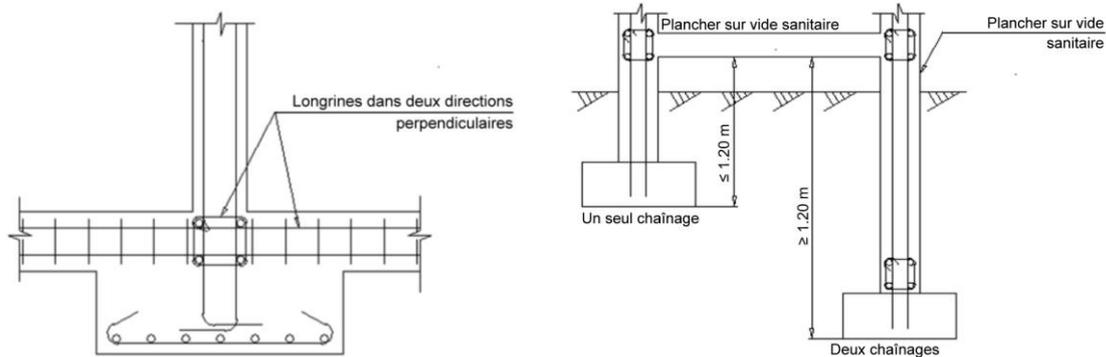


Figure 12 : La maçonnerie de pierre en soubassement, fréquemment pratiquée en Haïti (ici à Tabarre), est prohibée pour les établissements hospitaliers dont les fondations, et les murs périphériques aux vides sanitaires, doivent être en béton armé pour prévenir toute déformation significative. (Cliché P. Balandier)

2.2.2. Semelles isolées - Semelles filantes

Lorsque les conditions de sol permettent l'utilisation de semelles isolées sous les poteaux et/ou de semelles filantes sous les murs, **en zone sismique les semelles sont alors 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.



2.2.3. Radier général porteur

Lorsque les dimensions des semelles filantes calculées sont relativement importantes par rapport aux distances séparant les éléments porteurs, on utilise le plus souvent un système de radier général sous poteaux et murs.

Le calcul d'un radier en zone sismique est délicat. Par définition, il est utilisé sur des sols médiocres dont le comportement peut ne pas être homogène. Les vérifications concernent la rigidité, les différentiels de charges dynamiques sous les éléments porteurs, le calcul des tassements et 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 de raidissage (raidsseurs) sont mises en place sur les alignements de descentes de charges.

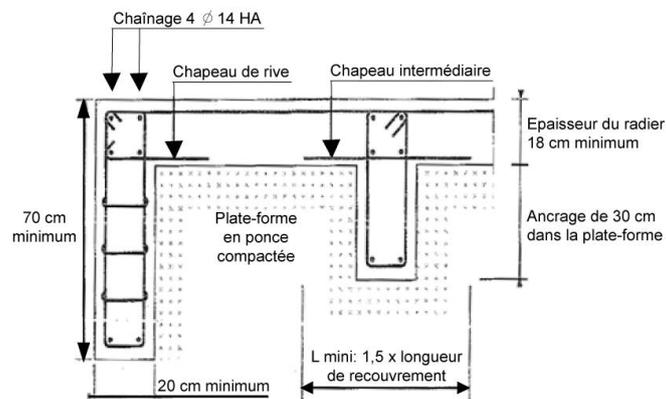


Figure 15 : Représentation schématique de dispositions constructives pour la réalisation de butées et nervures de raidissage d'un radier. (Source guide PSMI)

2.2.4. Précautions vis-à-vis des constructions avoisinantes

Attention : Le système de fondation projeté ne doit pas apporter des contraintes supplémentaires aux ouvrages avoisinants existants (murs d'infrastructure, fondations) pendant le séisme.

Fondations superficielles

- Encastrées correctement dans le bon sol (bêches dans le cas des radiers)
- Indéformables grâce à un réseau d'armatures bidirectionnel (longrines dans le cas des semelles isolées)

2.2.5. Fondations superficielles sur sites en pente

Pour les sites en pente les prescriptions générales sont les suivantes :

- **Pente jusqu'à 10%** : pour des dimensions de bâtiments modestes. On peut réaliser un terrassement de fondation 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.

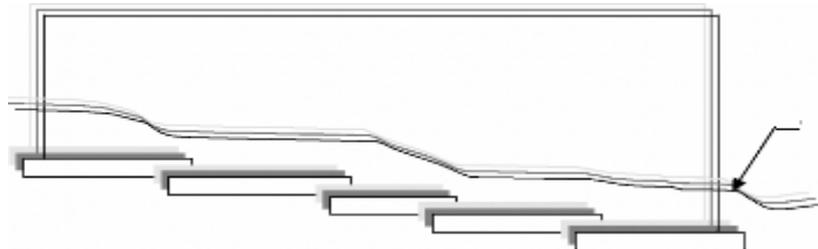


Figure 16 : Semelles décalées sur site en pente (principe schématique). (Source ANCO)

La vérification de la stabilité d'un talus et des zones sollicitées, ainsi que la prescription de dispositions appropriées font partie de la mission géotechnique.

En zone sismique et cyclonique, en raison de la possible déstabilisation des sols par les secousses (aggravée par les surcharges) et par la saturation d'eau (aggravée en cas de drainages mal conçus), les dispositions générales ne suffisent pas. Les géotechniciens disposent de logiciels de simulation performants qui nécessitent des données fiables issues de campagnes de sondages sur le terrain et des valeurs d'aléas cycloniques et sismiques régionales et locales.

Il ne peut être envisagé de construire un hôpital sur un site en pente sans études approfondies du sol. Même sur un site rocheux ou très ferme, on vérifiera qu'il n'est pas fracturé, ce qui pourrait entraîner des dommages en fondation.

Les bureaux d'études géotechniques doivent formuler des prescriptions pour la réalisation des banquettes et des ouvrages de soutènement. Ils définiront les protocoles de remblayage, les exigences de drainage et autres. Toutes ces exigences conditionnent la sécurité future et doivent être scrupuleusement respectées. Si les surcoûts semblent inabordables, mieux vaut s'orienter vers le choix d'un autre terrain.

En outre, les fondations en amont ne doivent pas solliciter les fondations en aval (dépendant de l'angle de pente et de la nature du sol).

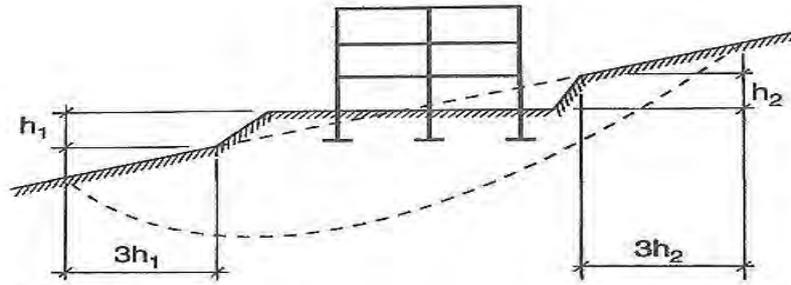


Figure 17 : Exemple de schéma de détermination des zones d'influence pour les surfaces de glissement les plus critiques. (Document PS-92)

Liaison des semelles isolées en cas de pente

Le site en pente peut avoir un bon sol et permettre une fondation sur semelles isolées. La liaison des semelles isolées sur site en pente, conformément à ce qui a été décrit plus haut, est plus délicate à réaliser que sur un site plat ou à très faible pente. Il peut être nécessaire de recourir à un voile en béton armé dans le sens de la pente pour réaliser une liaison fiable. En effet, les longrines doivent être horizontales, même sur un site en pente, et la différence de hauteur entre leurs extrémités doit respecter la limite précitée, de l'ordre d'un mètre (à vérifier avec les règles en vigueur en Haïti au moment des travaux).

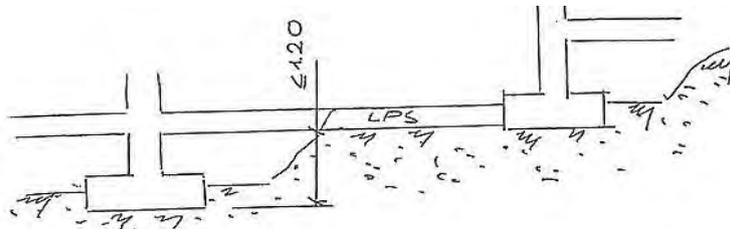


Figure 18 : Liaison des semelles situées sur des niveaux différents. Des longrines sont nécessaires si la différence de hauteur d'implantation est inférieure à la limite autorisée. (Document JM Perrissol pour EAML)

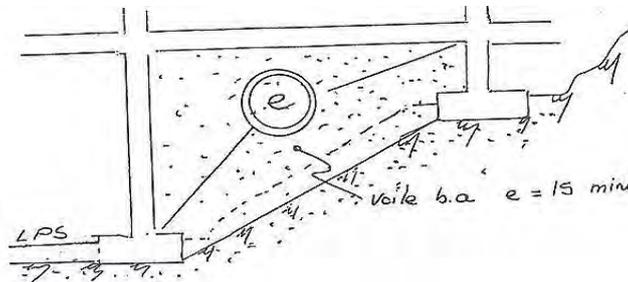


Figure 19 : Liaison des semelles situées sur des niveaux différents. Un voile en BA est nécessaire si la différence de hauteur d'implantation est supérieure à la limite autorisée. (Document JM Perrissol pour EAML)

Fondations superficielles sur terrain en pente

- Sur bon sol attesté par des études géologiques seulement ;
- Règles de terrassement, de soutènement, de remblais prescrites par un bureau d'études géotechniques compétent ;
- Terrassement en « banquettes » parfaitement horizontales ;
- Semelles de différents niveaux reliées entre elles :
 - par des longrines horizontales (différences de niveaux de l'ordre d'un mètre maximum)
 - par des voiles en béton armé (différences de niveaux supérieures au mètre).

2.3. Fondations profondes

2.3.1. Généralités sur les fondations profondes ou semi-profondes

Les fondations profondes sont employées lorsque les couches superficielles du terrain ont trop peu de résistance pour les charges issues du calcul (statique, cyclonique et sismique) et que le « bon sol » est situé à plusieurs mètres de profondeur.

Les fondations profondes sont réalisées selon les normes en vigueur qui fixent les différentes modalités de calcul, d'exécution et de contrôle.

Suivant la géométrie de la construction, l'environnement, les descentes de charge, les caractéristiques (densité des sols, risque d'instabilité sismique) et la profondeur du sol d'assise, on utilise les types de fondations profondes suivantes :

- Puits (fondations semi-profondes) ;
- Pieux et barrettes ;
- Micro-pieux.

Les règles de construction parasismique rajoutent quelques prescriptions, notamment les longrines parasismiques.

Les massifs isolés des éléments de fondation profonde doivent être reliés par un système de liaisons parasismiques (longrines, dallage renforcé) qui respecte également la hauteur minimum réglementaire de l'ordre d'un mètre au-dessus de la sous-face des massifs.

2.3.2. Pieux

En situation non sismique, l'ensemble des pieux oppose une résistance aux efforts verticaux liés à la pesanteur par le frottement latéral qui s'exerce de bas en haut sur la surface développée à leur périphérie. Cette surface, et donc le dimensionnement des pieux, dépend de la masse du bâtiment et de la densité du sol.

La résistance nécessaire peut être atteinte sans que la longueur des pieux permette d'atteindre le « bon sol ». Il s'agit alors de « pieux flottants ».

Si la résistance nécessaire n'est pas atteinte par frottement sur la hauteur du mauvais sol, les pieux sont descendus au « bon sol » dans lequel leur pointe est encastrée. Dans ce cas la résistance en pointe s'ajoute à la résistance de frottement.

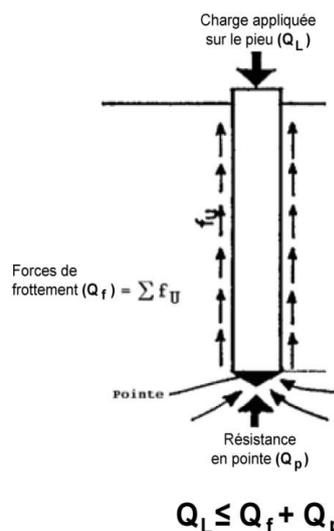


Figure 20 : Schéma de la résistance de frottement et de la résistance en pointe d'un pieu. (Source BRGM)

Pendant un séisme, les pieux fléchissent (dans le sens horizontal) en suivant les déformations du sol.

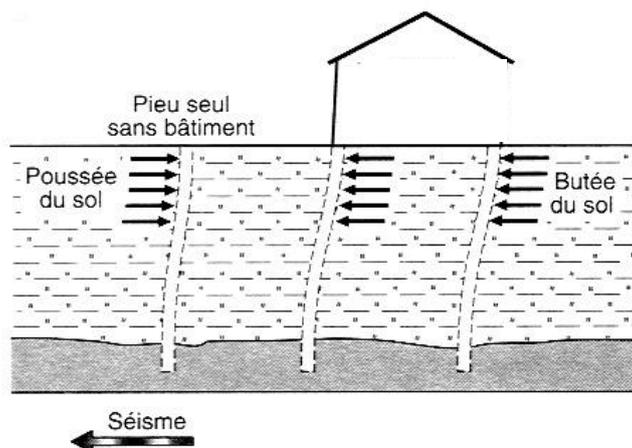


Figure 21 : Coupe schématique représentant les déformations du sol entre le substratum et la surface avec ou sans bâtiment. (Source non identifiée)

Ainsi, les pieux traditionnels qui peuvent reprendre des charges verticales élevées, mais des charges horizontales au cisaillement (en tête de pieux) modestes, doivent être armés pour :

- Supporter l'effort tranchant en tête ;
- Avoir un comportement flexible sur leur longueur ;
- Se déformer avec le sol sans perte de résistance.

Pour protéger les têtes de pieux (notamment en cas de tassement de sol) en mobilisant le plus de sol possible, il est préférable d'encastrer la superstructure dans le sol par des bèches périphériques ou par un sous-sol en caisson. En outre, en zone critique, les têtes de pieux sont renforcées par des cadres plus rapprochés.

A cet égard, le géotechnicien doit évaluer la hauteur de tassement potentiel du sol afin d'en tenir compte dans les hypothèses d'encastrement. Il s'agit de réaliser entre les pieux et la superstructure un ouvrage (massifs de tête des pieux, longrines, bèches ou caissons) se déplaçant de façon homogène en mobilisant le sol sans se déformer.

Problème du frottement négatif en cas de tassement de sol

Le phénomène de tassement de sol peut être important dans certains cas de liquéfaction. La zone tassée ne contribue plus à la résistance par frottement. Le pieu se trouve plus chargé qu'à l'état initial par ce sol qui a tassé. On appelle ce phénomène le frottement négatif.

Si le sol n'est pas traité pour prévenir le tassement, il faut en tenir compte au dimensionnement : la partie des pieux qui se trouve sous la zone susceptible de tasser doit être en mesure de reprendre la charge dynamique du bâtiment à laquelle s'ajoute le frottement négatif du sol sur la zone tassée.

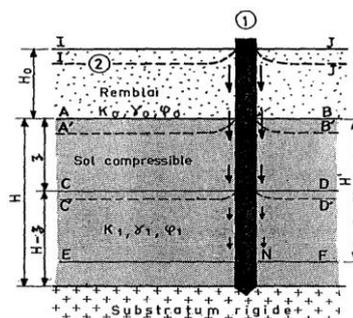


Figure 22 : Frottement négatif sur un pieu après tassement du sol. (Source BRGM)

Les pieux inclinés sont incompatibles avec la nécessaire déformation en flexion des autres pieux. En outre, ils peuvent générer des efforts parasites en tête des autres pieux.

En zone sismique, les pieux inclinés sont donc interdits dans certains pays et autorisés par d'autres, sous réserve de justifications particulières (technique et calcul). Ces justifications peuvent être difficiles à garantir dans une région de forte sismicité avec des sols très déformables. La majeure partie d'Haiti étant exposée à un aléa sismique fort, il est recommandé de n'utiliser que des pieux verticaux.

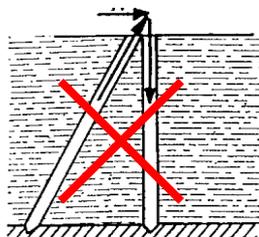


Figure 23 : Eviter les pieux inclinés. (Source BRGM)

Sollicitations alternées

En cas de moment de renversement important dans la structure (bâtiments élancés), un renversement d'efforts sur les pieux périphériques est possible ; les pieux travaillant alternativement à l'arrachement ou à l'accroissement significatif de la compression.

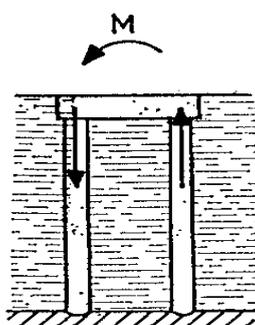


Figure 24 : Schéma de principe illustrant le possible travail à l'arrachement des pieux en cas de moment de renversement important. (Source BRGM)

Zones critiques des pieux

Pour les raisons exposées plus haut, les règles parasismiques considèrent que la partie supérieure des pieux est une zone critique qui doit être traitée comme telle (rapprochement des cadres) sur une hauteur de l'ordre de 2,5 fois leur diamètre (à vérifier selon les règles utilisées). De même les longueurs situées dans des couches de sols susceptibles de tasser sont des zones critiques auxquelles s'ajoute une longueur supérieure et inférieure.

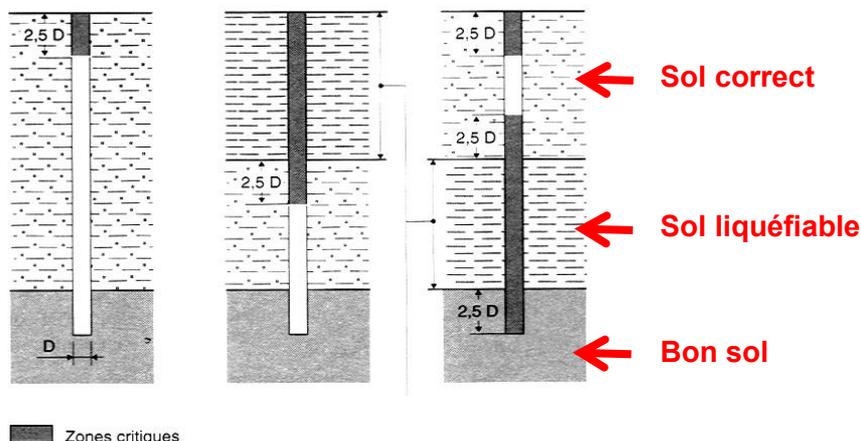


Figure 25 : Exemples schématiques de localisation des zones critiques avec ou sans risque de tassement. (Source BRGM)



Figure 26 : Pieu dénudé sous l'effet d'un phénomène de liquéfaction. A hauteur du niveau d'eau on voit que les aciers longitudinaux ont flambé sous l'effet d'un effort en compression (Séisme de Kobé, 1995).
(Document EQIIS USA)

Les pieux

En zone sismique, la mise en place de pieux impose des vérifications de sols et une technicité de conception et de réalisation plus complexes qu'en zone non sismique.

S'il s'avère nécessaire de réaliser des fondations profondes, l'entreprise retenue pour réaliser les fondations profondes, doit justifier d'une expérience en la matière de ses ingénieurs d'études et de son encadrement de chantier.

2.3.3. Puits

Ce type de fondation n'est généralement utilisé que lorsque le sol d'assise n'est qu'à quelques mètres de profondeur. Les puits sont creusés à la pelle. Les parois du forage sont blindées. Les puits, d'élançement inférieur à 6 (longueur/diamètre), sont des fondations semi-profondes. Contrairement aux pieux, ils ne peuvent pas fléchir.

En zone sismique, les puits sont obligatoirement armés (contrairement à leur emploi en zone non sismique). Les règles parasismiques en vigueur définissent des exigences pour les armatures. Les puits doivent être reliés entre eux par un réseau de longrines (poutres libage) parasismiques.

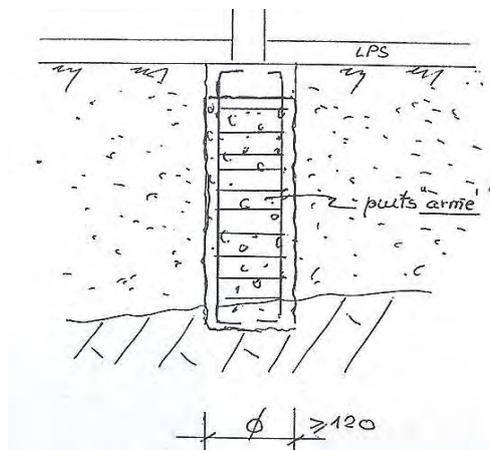


Figure 27 : En zone sismique, les puits sont obligatoirement armés et reliés entre eux par un réseau de longrines parasismiques. (Document JM Perrissol pour EAML)

Les puits

En zone sismique, la réalisation des puits nécessite la mise en place d'armatures périphériques renforcées dans leur partie supérieure, et de longrines parasismiques.

On se référera aux exigences d'IBC-2009 ou d'un autre code agréé par l'Etat haïtien pour la réalisation.

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

2.4.1. Généralités

Certaines caractéristiques favorables à la conception paracyclonique sont défavorables à la conception parasismique et vice-versa.

- Les structures lourdes résistent mieux aux vents ;
- Les structures légères résistent mieux aux séismes ;
- Les structures flexibles attirent des forces de vent plus importantes ;
- Les structures rigides attirent généralement des forces sismiques plus élevées.

Les niveaux d'aléas régionaux (plus sismique ou plus cyclonique), peuvent dans certaines régions d'Haïti influencer les choix. L'aspect économique est important, mais la notion de durabilité face aux éléments naturels doit être intégrée dans le coût final.

Les vents cycloniques, comme les secousses sismiques ont pour particularité d'imposer aux bâtiments des charges horizontales pour lesquelles ils doivent être conçus et réalisés.

En outre, ces deux phénomènes appliquent également des charges verticales à ne pas négliger.

Malgré tout, de nombreuses 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.

2.4.2. Performances optimisées par la bonne conception en amont du calcul

Exposés à ces événements violents, les établissements de santé doivent continuer à fonctionner et leurs éléments structuraux et non structuraux rester suffisamment intacts.

Pour atteindre cet objectif, la conception initiale d'une installation est beaucoup plus importante que le suivi fidèle des exigences mathématiques inscrites dans les normes sans efforts de conception générale. En fait, la philosophie des codes conventionnels ne s'intéresse pas aux exigences nécessaires pour qu'une installation puisse être opérationnelle après un événement de taille. **Par conséquent, les établissements de santé doivent exiger beaucoup plus que les normes minimales définies par les codes.**

Les performances des dispositions parasismiques et paracycloniques attendues pour les bâtiments courants sont très différentes. Un bâtiment est supposé résister pratiquement sans dommages à sa « conception paracyclonique ». Une bonne « conception parasismique »,

quant à elle, accepte la possibilité d'un endommagement maîtrisé (réparable, si possible) suite à un séisme dévastateur, car il permet de dissiper une partie de l'énergie sismique, et ainsi de nécessiter moins de résistance... et de coûter moins cher. Lors d'un tel événement, le succès est mesuré par l'absence de décès et de blessés graves.

2.4.3. Hauteur d'étages appropriée pour les établissements hospitaliers

Les réservations pour passages de réseaux dans les voiles, poutres, poteaux et dalles posent souvent problème dans les hôpitaux. Elles impactent la hauteur sous dalle pour le passage des réseaux sur le faux-plafond.

Ces réservations sont trop souvent oubliées au moment de la conception initiale, et les plans d'exécution des fluides sont souvent modifiés au moment de l'exécution. Il est malheureusement trop fréquent que des imprévisions d'impératifs de passage des fluides entraînent la démolition locale de la structure et son affaiblissement. Les pertes de résistance qui s'en suivent sont inacceptables en zone sismique.



Figure 28 : Percement d'un mur après réalisation réduisant de façon inacceptable la capacité portante du voile. (Source ANCO)

Figure 29 : Aciers principaux importants coupés pour permettre le passage de réseaux. (Source ANCO)



Figure 30 : Aciers principaux de poutre coupés. (Source ANCO)

Dans un hôpital, l'enjeu d'une bonne prévision des emplacements et des hauteurs nécessaires aux réseaux est primordiale pour prévenir les pertes de résistance par découpage du béton armé. Ce « plenum » (espace entre le faux-plafond et la dalle) s'ajoute donc à la hauteur de service sous plafond et détermine la hauteur sous-dalle.

La hauteur d'étages nécessaire au passage des réseaux dans de bonnes conditions a une incidence sur la hauteur totale du bâtiment (et les charges de calcul).

A titre indicatif, la hauteur de service à prévoir sous le plafond suspendu pour la bonne marche des équipements est de :

- 3 m dans les salles spécialisées (blocs opératoires, accouchement, IRM, radiographie, etc.) ;
- 4 m dans les locaux techniques (groupe électrogène, transformateurs, etc.) ;
- 3,5 m dans les zones de restauration.

Il faut prévoir au-dessus de ce faux plafond une hauteur de plénum suffisante pour éviter les réservations pratiquées dans les poutres d'une structure en portiques et pour pouvoir regrouper les réservations dans les voiles en béton armé.

La hauteur minimum sous dalle conseillée pour la réalisation des hôpitaux est de 4,5 m

2.5. Exigences de conception propres au risque sismique

2.5.1. Forme du bâtiment

Forme en plan

Les formes en plan de chaque construction doivent être simples, régulières et symétriques tant dans le volume que dans la répartition des raideurs et des masses. Les formes complexes (en H, U, L) doivent être recoupées en blocs de volumétrie simple par des joints parasismiques car des concentrations de contraintes se produisent dans les jonctions.

De même, les bâtiments dont la longueur dépasse 3 fois la largeur, doivent être recoupés en 2 ou plusieurs blocs pour éviter les accumulations d'énergie aux extrémités.

Forme en élévation

Les descentes de charges doivent être directes et verticales, sauf justifications et dispositions constructives particulières.

Il faut éviter les variations significatives de rigidité entre niveaux qui génèrent des déformations irrégulières et des concentrations localisées de contraintes. Par exemple, les bâtiments constitués d'un rez-de-chaussée flexible (portiques) sous des étages raides (murs) présentent un facteur aggravant d'effondrement en cas de séisme.

Il faut également proscrire les variations de volumes importantes entre étages (retraits et porte-à-faux) qui génèrent également des problèmes (accumulations de contraintes par déformations et descentes de charges sismiques irrégulières).

2.5.2. Joints parasismiques

En zone sismique, les joints de dilatation⁴ sont remplacés par des joints parasismiques, leurs caractéristiques techniques sont un peu différentes. En outre, on ajoute des joints pour résoudre certains problèmes d'irrégularité du bâtiment projeté (voir plus haut).

A priori, en zone urbaine il faut éloigner les bâtiments hospitaliers des bâtiments existants potentiellement dangereux (séismes, incendies, etc.). Si cela n'apparaît pas possible, il faut mettre un joint parasismique pour éviter l'entrechoquement d'un bâtiment neuf avec un bâtiment voisin.

Un joint parasismique est plan et vertical sur toute la hauteur de la structure. Sa largeur fait l'objet d'un calcul de déformation des deux blocs voisins. Le strict minimum pour des bâtiments de faible hauteur est de 6 cm.

N. B. : Il est possible de s'affranchir de ces joints en réalisant des joints de clavetage différés justifiés par le calcul.

Le calcul modal-spectral, bien que « simplifié », nécessite une bonne compréhension de ses principes et de l'évaluation de ses paramètres, en plus de la maîtrise des logiciels de calcul, ce qui peut être difficile à réunir pour certains « petits opérateurs ».

⁴ Le béton armé présente un retrait pendant sa prise, c'est pourquoi il est recommandé de réaliser des joints de dilatation tous les 30 m, sauf disposition constructive compensatoire.

Pour les bâtiments pouvant être recoupés en blocs réguliers de dimensions limitées par des joints, des calculs simplifiés sont proposés par les règles de construction parasismique, à condition que ces blocs respectent les critères bien définis.

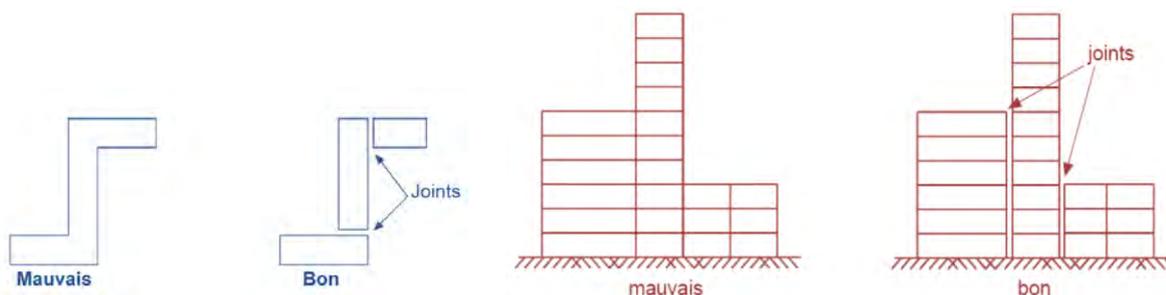


Figure 31 : A gauche, exemple de recouplement d'un bâtiment complexe en plan par des joints parasismiques. (Source ANCO)

Figure 32 : A droite, exemple de recouplement d'un bâtiment complexe en élévation par des joints parasismiques. (Source ANCO)

En zone sismique, la bonne conception des bâtiments est aussi importante que le calcul de dimensionnement et la mise en œuvre « ductile »

On retiendra que 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 recouplement des bâtiments à volumes complexes par des joints parasismiques permet d'obtenir des blocs indépendants de géométrie plus favorable à cette nécessaire régularité structurelle.

2.5.3. Contreventement

2.5.3.1. Principes

Le contreventement permet au bâtiment de résister principalement aux actions horizontales du séisme et du vent, qui se combinent avec les actions verticales. La transmission des forces sismiques et cycloniques, horizontales et verticales, et la transmission de la pesanteur, doivent s'effectuer des planchers (suffisamment raides et résistants pour constituer le contreventement horizontal) vers les éléments de contreventement vertical, puis des éléments de contreventement vertical vers les fondations.

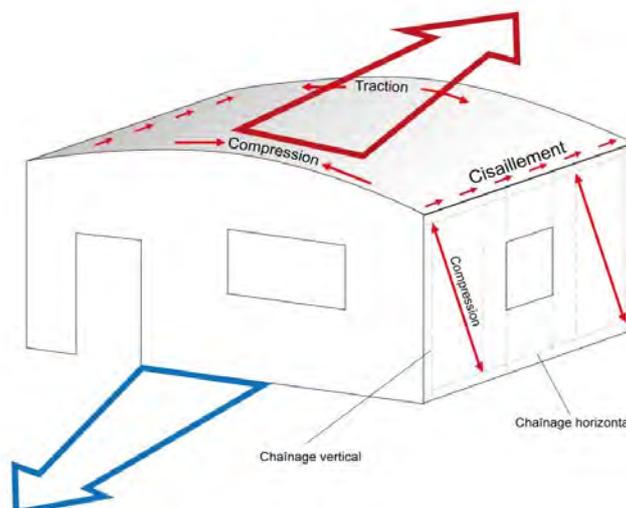


Figure 33 : Schéma illustrant les efforts dans un système de contreventement. Exemple des murs. (Source non identifiée)

Pour que cette transmission 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 présentés dans ce chapitre afin que sa géométrie globale reste inchangée pendant l'action des phénomènes naturels.

2.5.3.2. Systèmes de contreventement vertical

Le bâtiment peut être auto-stable (les efforts horizontaux passent par les éléments porteurs, portiques et murs par exemple) ou contreventé par des éléments structuraux complémentaires (triangulation en général).

Un volume ne doit pas être simplement régulier dans sa forme. Ses rigidités structurelles doivent également être uniformément réparties pour éviter des phénomènes de torsion d'ensemble et d'accumulation locale de contraintes.

Le présent chapitre ne se substitue pas au respect des normes retenues par l'Etat haïtien, qui sont susceptibles d'évoluer dans le temps, et auxquelles on se référera comme un minimum légal. Il résume pour chacun des matériaux courants le niveau d'exigence minimum reconnu au niveau international pour le contexte tropical, sismique et cyclonique.

- Portiques

Les portiques ou ossature poteaux-poutres sont des structures dans lesquelles la stabilité horizontale est assurée par la capacité de flexion des poteaux, la résistance des poteaux et des poutres, et la rigidité ainsi que la résistance aux efforts tranchants des nœuds poteaux-poutres.

Les systèmes de portiques sont généralement des structures très flexibles. Ils ont généralement besoin de raidisseurs supplémentaires sous la forme de murs de contreventement ou de cadres triangulés afin de limiter les déplacements dus aux séismes.

La technicité requise pour les entrepreneurs incite à déconseiller le choix de structures dont le contreventement vertical est assuré par les seuls portiques.

Les portiques

- Ce système constructif exige des calculs très pointus et une mise en œuvre extrêmement soignée qui peut rendre son coût de revient inabordable.
- Pour la construction d'un hôpital en Haïti, le portique ne doit être accepté que si les compétences de l'équipe de conception et de l'entreprise de réalisation peuvent être prouvées.

- Triangulation

Pour assurer les contreventements des ossatures en acier et en bois on peut utiliser des éléments de triangulation : diagonales qui travaillent seulement en traction pour protéger les nœuds d'ossatures ou assemblages en V (traction et compression). Les assemblages en K sont prohibés car ils poinçonnent les poteaux.

On peut, plus rarement, trouver des triangulations entre les portiques en béton armé en raison des difficultés de mise en œuvre.

- Murs

Dans le contexte haïtien actuel, le contreventement efficace des bâtiments à plusieurs étages est plus facilement obtenu par des voiles en béton armé. Ces murs doivent avoir une épaisseur d'au moins 15 cm et une résistance à la compression minimum de 25 mPA (davantage s'ils dépassent certaines hauteurs). Ils doivent être ferrillés dans leur plan par des treillis et avoir des chaînages respectant des règles d'implantation et de conception strictes.

Pour les petits bâtiments, les contreventements en maçonnerie chaînée, plus économiques, peuvent avoir une résistance suffisante en utilisant des blocs normalisés, ce qui est encore difficile à obtenir. Dans ce cas les murs ont un minimum de 20 cm d'épaisseur, et les chaînages respectent des exigences complémentaires.

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.).

2.5.3.3. Contreventement horizontal

Les planchers et les charpentes de toitures doivent fonctionner comme des diaphragmes rigides pour bien répartir les charges du plancher ou de la charpente vers les éléments verticaux de contreventement. Les ouvertures dans les diaphragmes doivent être limitées et renforcées.

Les chaînages horizontaux assurent la liaison et la transmission des efforts entre les diaphragmes et les contreventements verticaux. Ils respectent également des règles de réalisation et d'assemblage strictes.

2.6. Exigences complémentaires propres au risque cyclonique

2.6.1. Généralités

Les principes généraux exposés plus haut et les principes de contreventement parasismiques protègent les structures des bâtiments courants⁵ contre les poussées globales des vents cycloniques.

Mais ces vents extrêmes posent en outre le problème des « prises au vent », de la succion sur toitures, et celui de la protection des baies, questions qui doivent être prises en compte par la conception et le dimensionnement.

⁵ Les petites structures légères (en bois par exemple) sont naturellement assez résistantes aux séismes, dans ce cas le contreventement pour le vent peut être plus exigeant.

2.6.2. 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.

De plus, la quantité d'eau de pluie en bas d'une toiture à pente unique de grande étendue, peut être difficile à gérer. Enfin, l'étanchéité des toitures terrasses exige une mise en œuvre soignée et onéreuse.

Dans le cas du vent, comme du séisme, la charpente de toiture doit impérativement être contreventée.

L'expérience montre que les pressions locales causées par des vents violents sont plus importantes dans les angles et sur les faîtages d'un toit. Des précautions doivent être prises pour veiller à ce que les fixations du toit soient plus rapprochées au niveau des arêtiers, faîtages et rives de la toiture. Des indications sur l'ancrage des charpentes et la fixation des tôles sont disponibles dans les codes de construction.

Les avant-toits doivent être éliminés ou de faible longueur afin d'éviter que les charges de vent extrême provoquent leur rupture, voire une amorce de soulèvement de toute la toiture.

Les revêtements de toiture typiquement en usage en Haïti sont :

- Des tôles ondulées dans les régions cycloniques, où elles ont progressivement remplacé les autres types de couverture ;
- Les tuiles d'argile plates dans le nord du pays, sur les bâtiments anciens.

On observe que les bâtiments neufs sont désormais couverts de toitures terrasses ou de tôles sur charpente.

Les tôles sur charpente assurent une protection durable très efficace contre les vents et pluies cycloniques, à condition de respecter scrupuleusement les règles de mise en œuvre des guides appropriés au contexte cyclonique caribéen (règles relatives à la pente, à l'épaisseur et à la protection anticorrosion, aux longueurs de recouvrement, aux fixations, etc.).

L'étanchéité, la pente et la capacité d'évacuation des eaux de pluie des toitures terrasses doivent également être déterminées en tenant compte de la pluviométrie caractéristique de la région.

2.6.3. Ouvertures

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.

Cependant, si le type de menuiserie ne garantit pas cette résistance (ce qui n'est acceptable que dans des locaux secondaires à enjeux très réduits), il est possible de prendre en compte par le calcul, le passage accidentel du vent cyclonique par les ouvertures en façade pour prévenir l'arrachement des toitures.

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.

Zones sismiques et cycloniques

L'exigence commune des zones sismiques et cycloniques est de devoir prendre en compte des combinaisons d'efforts horizontaux et verticaux qui doivent être repris par les fondations.

Dans les deux cas, les règles de conception et de construction explicitent comment évaluer les charges additionnelles à partir d'une valeur régionale (vitesse du vent, accélérations du séisme), de facteurs locaux et des caractéristiques de la construction.

Dans les deux cas :

- Les formes simples et régulières favorisent une meilleure répartition des efforts ;
- La nature du contreventement peut être choisie en fonction de multiples critères ;
- La résistance du contreventement est calculée pour chaque direction principale de la structure ;
- La déformation des planchers et toitures doit être évitée par une raideur suffisante, en complément de la résistance ;
- La répartition régulière et la redondance des éléments de contreventement vertical est souhaitable (plus d'éléments pour un même total de résistance) ;
- Les assemblages entre éléments constructifs, même endommagés, doivent garantir la continuité de la transmission des efforts.

Pour le séisme :

- La disposition régulière des masses et des raideurs est une exigence de conception à ne pas négliger pour une bonne répartition des contraintes et des déformations dans la structure.

Pour les cyclones :

- Les "prises au vent" et les menuiseries des ouvertures sont des points faibles qui nécessitent une attention particulière lors de la conception.
- Les couvertures seront appropriées pour une bonne évacuation des pluies cycloniques sans infiltration.

2.7. Méthodes de protection spécifiques contre les séismes

Il est possible d'envisager des méthodes de protection (des dispositifs de réduction de la réponse sismique par exemple) qui ne sont pas abordées, la plupart du temps, dans les codes conventionnels.

Les dispositifs de réduction de la réponse (isolateurs parasismiques, amortisseurs, etc.) ont fait leurs preuves dans de nombreux pays. Cette approche implique le recours à des spécialistes car ces procédures ne font pas partie de la connaissance ni de l'expérience de beaucoup d'ingénieurs structurels. En outre, la mise en œuvre de ces dispositifs demande une précision qui nécessite des entreprises qualifiées et une protection efficace du dispositif dans le temps.

Par conséquent, ils ne seront pas abordés dans le cadre de ce guide. Cependant, ces dispositifs, lorsqu'ils sont bien conçus et installés, peuvent garantir les fonctionnalités opérationnelles suite à des événements violents.

3. EXIGENCES TECHNIQUES POUR LA SÉCURITÉ DES ÉLÉMENTS NON STRUCTURAUX

3.1. Généralités

Les éléments qui ne font pas partie du système porteur d'un bâtiment sont considérés comme « non structuraux ». Ils 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. Néanmoins les codes et normes n'abordent pas tous les impératifs du sujet en situation d'exposition aux aléas majeurs.

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.

Les ingénieurs structure, en général, ne sont pas consultés pour la conception de ces éléments et l'expertise en ingénierie des équipements exposés à des aléas sismiques et cycloniques élevés est rare. Les questions de la résistance et de la stabilité de ces éléments sont négligées et les critères de choix se limitent souvent à la fonction, à l'apparence et au prix.

Exposés aux tremblements de terre, tous les composants non structuraux de la construction exigent une attention particulière. Vont-ils supporter les vibrations sans se décrocher ou se renverser ? Vont-ils supporter les déformations de la structure sans casser ou créer des contraintes inacceptables dans celle-ci ? Notons ici qu'une même attention spécifique doit être apportée aux équipements (cf. Chapitres suivants de cette 2^{ème} Partie).

Dans le cas des ouragans et des pluies diluviennes, la priorité est de garder l'enveloppe extérieure intacte. En effet, ce qui apparaît comme une petite brèche dans l'enveloppe peut avoir des effets catastrophiques sur les espaces intérieurs d'une installation. La couverture, les menuiseries et les façades légères doivent résister aux pressions du vent cyclonique et aux infiltrations d'eau. Les équipements extérieurs (panneaux solaires, chauffe-eaux solaires, antennes, enseignes, etc.) ne doivent pas se décrocher, et moins encore endommager la structure ou la couverture par les efforts à l'arrachement qu'ils subissent.

Rappel du 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.

Il est rappelé que 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

3.2.1. Façades préfabriquées

Séisme : Tous les parements de façade en 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 des fixations pour le séisme de calcul.

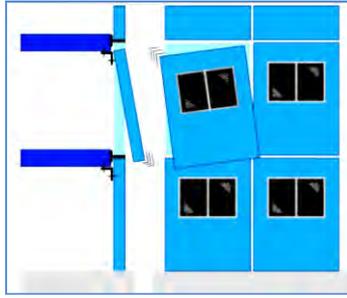


Figure 34 : Illustration schématique de la rupture de fixations d'un panneau de façade préfabriqué par manque d'adaptation aux déformations de la structure pendant un séisme. (Source ANCO)

Cyclone : Les façades légères (panneaux et bardages) doivent être, si nécessaire, équipées 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.

3.2.2. Maçonneries de remplissage

Séisme : Les maçonneries de remplissage, qui n'ont pas de fonction structurelle, doivent néanmoins respecter des règles de mise en œuvre pour garantir, en situation sismique, d'une part leur tenue « hors plan » (non renversement vers l'extérieur), et d'autre part leur résistance dans le plan (fissurations limitées).

Un système de chaînage semblable à celui des parois structurelles est une garantie efficace pour atteindre ces objectifs.

Sauf prise en compte effective dans le calcul, on veillera à ne pas utiliser les maçonneries de remplissage entre les poteaux des bâtiments contreventés par des portiques, en raison des raideurs locales que ces maçonneries apportent aux éléments de la structure, ce qui peut modifier dangereusement le comportement sismique projeté.



Figure 35 : Exemple de rupture inacceptable d'une maçonnerie de façade suite à un séisme. (Source non identifiée)

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

3.2.3. Revêtements de type carreaux

Séisme : Dans les zones sismiques, les revêtements de façade type « carreaux » ne doivent pas être collés. Ils doivent être scellés dans le mur par un système garanti par le fabricant.

Cyclone : Le climat tropical et ses intempéries accélèrent le vieillissement des matériaux, ce qui exclut également grand nombre de colles. Le système de scellement éventuel doit être garanti de façon durable contre toute oxydation.

En Haïti, éviter les revêtements de type « carreaux » en façade des hôpitaux

3.2.4. Parapets et garde-corps

Séisme : Les parapets en maçonnerie doivent être chaînés en respectant les règles de construction parasismique pour la maçonnerie. Le chaînage correct leur confère la résistance « hors plan » et empêche leur renversement et la chute de blocs en bas des façades. 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.

Parapets et garde-corps sont des éléments secondaires dont la résistance en situation extrême est trop souvent négligée, ce qui occasionne des victimes.

Parapets et garde-corps doivent être conçus pour assurer leur fonction en toutes circonstances, et ne pas présenter un risque dans leur environnement.

3.2.5. Corniches, enseignes, ornements divers

Une attention particulière doit être accordée aux fixations des ancrages et des supports d'éléments décoratifs extérieurs. 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 de pouvoir démonter aisément les éléments indispensables sensibles aux déformations ou aux pluies violentes, en situation d'alerte cyclonique.

3.3. Éléments situés en couverture des toitures

Séisme : Les éléments particulièrement lourds en toiture, tels que les chauffe-eaux solaires ou autres petits réservoirs d'eau, sont des masses exposées aux forces d'inertie lors des séismes. 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.

A chaque fois que cela est possible, il est recommandé de placer les équipements lourds dans les parties basses du bâtiment.

Cyclone : La fixation d'équipements en toiture (panneaux et chauffe-eaux solaires, antennes, etc.) doit être résistante à l'arrachement pour garantir à la fois leur tenue et le non endommagement des supports. L'attention du concepteur portera en particulier sur les conditions d'étanchéité du support, lors de leur mise en place.

Dans les régions sismiques ou cycloniques, il faut en général éviter de fixer des éléments en toiture. Néanmoins, cela doit pouvoir être envisagé lorsqu'on en retire un bénéfice et qu'aucun autre emplacement n'est possible.

Lorsque ces éléments ont une masse (séisme) ou une surface (cyclone) importante, le système de fixation et la conception même de ces éléments doivent être choisis et dimensionnés pour résister aux efforts de calcul et ne pas nuire à l'étanchéité.

3.4. Menuiseries

3.4.1. Portes, fenêtres et volets

Les portes intérieures et extérieures doivent être positionnées de manière à pouvoir être grandes ouvertes dans le sens de l'évacuation (vers l'extérieur), sans qu'aucun obstacle ne s'y oppose. La conception des cloisons doit prévoir d'éventuels retraits sur les couloirs, pour qu'elles s'ouvrent hors des zones de passage.

La largeur des portes, et des dégagements (couloirs et escaliers), doit être adaptée au nombre de personnes ou aux matériels roulants pouvant les emprunter, au quotidien et en situation d'urgence⁶.

Séisme : Il arrive que suite à une déformation permanente modérée d'une structure après un séisme, les portes fermées restent « bloquées », gênant ainsi l'évacuation.

Il est donc souhaitable de prévoir au moins deux issues. Mais les bâtiments pourront avoir un nombre d'issues plus important selon leur taille et le nombre de personnes pouvant se trouver sur place (personnels, patients et visiteurs).

Cyclone : Les concepteurs doivent veiller à ce que les portes, fenêtres et volets extérieurs directement exposés aux forces du vent et aux fortes pluies, soient choisis pour pouvoir y résister. En outre, les cadres doivent être fixés aux murs avec des chevilles d'ancrage appropriées. Ils doivent être calfeutrés contre les infiltrations d'eau.

Un des effets les plus dévastateurs d'un ouragan réside dans la rupture d'éléments qui se transforment en projectiles et peuvent alors causer d'importants dommages aux ouvrages voire provoquer l'interruption des services de soins.

Dans la Caraïbe, les systèmes de portes et fenêtres peuvent être certifiés « résistants aux chocs » en utilisant les normes de test de la *Société Américaine pour les Tests et les Matériaux* (ASTM en anglais) ou équivalent approprié aux vents cycloniques. Le code de construction de la Floride, qui a été mis à jour afin d'inclure des exigences plus rigoureuses est une bonne référence qui tient compte des leçons tirées de catastrophes récentes. Les volets-tempêtes et/ou les fenêtres et portes résistantes aux chocs sont nécessaires pour garantir une protection effective⁷.

Les fenêtres et portes, ou les volets de protection installés à moins de 10 mètres au-dessus du sol doivent résister à l'impact de grands projectiles⁸. Ceux installés à une hauteur supérieure à 10 m doivent résister à l'impact de grands et petits projectiles⁹.

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 précisées par ce guide.

⁶ On peut se référer aux normes de sécurité incendie et aux normes d'accessibilité aux handicapés nord-américaines ou européennes.

⁷ Par exemple, l'avis d'acceptation (AA) délivré par le comté de Dade, fournit de nombreuses informations sur un produit donné, y compris ses dimensions, ses différentes parties, les matériaux, accessoires et guide d'installation. C'est cet avis qui certifie qu'un produit est « résistant aux chocs » et qui fournit un label déterminant la durée de certification du produit.

⁸ Les tests d'impact de grands projectiles exposent un objet à une série de chocs réalisés à partir d'un morceau de bois de 9kg, qui mesure 2" x 4" x 6' et qui se déplace à une vitesse de 34 miles par heure. Par la suite, la résistance du produit est testée pour des charges de vents positifs et négatifs de 9 000 cycles. Durant cette phase, un impact ne doit pas former un trou plus large que 1/16 x 5" dans la couche intermédiaire de verre.

⁹ Durant les tests d'impact de petits projectiles, un produit doit pouvoir résister à l'impact de 10 roulements à billes qui se déplacent à une vitesse de 50 miles par heure. Le produit doit également résister à des charges de vents de 9 000 cycles.

3.4.2. Cloisons de partition intérieure

Séisme : Les cloisons de partition intérieures doivent être contenues par les éléments structurels (murs et dalles) afin de garantir leur stabilité pendant les secousses sismiques.

Les cloisons de maçonnerie de grandes dimensions (au-delà de 4 m de long ou de 3 m de haut) doivent être recoupées par un chaînage vertical et/ou un chaînage horizontal dont les barres longitudinales sont ancrées dans la dalle ou dans les murs par scellement chimique.

Les cloisons de maçonnerie dont une extrémité n'est pas contenue par un mur de structure doivent être confinées par un chaînage vertical ancré dans les dalles supérieures et inférieures.

La fixation des châssis des cloisons légères dans les dalles supérieures et inférieures doit être efficace pour ne pas être arrachée pendant les secousses sismiques. De plus, les plaques doivent être posées en laissant 20 mm d'espace à leur jonction avec les murs, pour éviter les contraintes qui pourraient casser leurs bords pendant les déformations. Des couvre-joints assurent l'étanchéité.

Les boxes en structure légère non confinés par la structure doivent être équipés de câbles de contreventement.



Figure 36 : Exemple de contreventement par câbles d'un box de structure légère non confiné par la structure. (Source GéoHazard)

Quel que soit le système de cloisonnement retenu, sa déformabilité doit être compatible avec celle de la structure si les ouvrages sont liés.

Si des cloisonnements ne sont pas confinés par la structure, ils doivent être dotés de leur propre système de confinement (maçonneries) ou de contreventement (ossatures à plaques).

3.5. Faux plafonds et réseaux suspendus

Les bâtiments hospitaliers sont généralement équipés de faux plafonds limitant un espace sous la dalle (plenum) dans lequel circulent les réseaux, ce qui permet la modification ultérieure de ces canalisations et chemins de câbles sans démolition.

Séisme : Les châssis des faux plafonds, les chemins de câbles, les gaines et les canalisations, tous ces éléments 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.

Les éléments suspendus en général et les faux plafonds et réseaux en particulier doivent être contreventés.

Leurs suspentes et fixations doivent résister aux secousses.



Figure 37 : A gauche, à Port-au-Prince, salle de formation d'un centre de soins, le plafond de plaques sous châssis en bois est tombé le 12 janvier 2010. (Cliché P. Balandier)

Figure 38 : A droite, arrachement de gaines de ventilation et chute de plaques sur châssis métalliques, lors du séisme du 12 janvier 2010, dans un immeuble de bureaux avenue de Delmas. (Cliché P. Balandier)

3.6. Faux plafonds

Il arrive que les réseaux soient implantés sous des faux-planchers plutôt que sur les faux-plafonds.

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 plafonds.

Pour ces raisons, on ne retiendra la solution des faux plafonds que dans les locaux où les faux-plafonds ne sont pas appropriés.

La réalisation de faux plafonds en zone sismique nécessite un grand savoir-faire et un matériel approprié.

En l'absence de compétence avérée des fournisseurs, mieux vaut éviter cette solution.

3.7. Revêtements de sols

Le choix et la pose des revêtements de sol (carrelages, sols souples ou autres) doit garantir qu'en toutes circonstances, il ne présente aucun risque de déformation pouvant entraver la marche (petit décalage, soulèvement de sol souple à proximité d'un joint). Les revêtements doivent également être antidérapants, même lorsqu'ils sont mouillés.

Ils doivent être certifiés contre l'usure pour les « passages intensifs » et permettre un entretien à l'eau et aux produits détergents sans vieillissement inapproprié à l'hygiène hospitalière.

Les revêtements de sol :

- Ne doivent présenter aucun risque de déformation
- Doivent être antidérapants même mouillés
- Résistants à l'usure

3.8. Escaliers et Ascenseurs

3.8.1. Escaliers

Une attention particulière doit être accordée à la sécurité des escaliers en raison de leur importance en cas d'évacuation lors d'un tremblement de terre ou en cas de fuite de gaz toxique, par exemple.

Les ratios longueurs et hauteurs de marches doivent être appropriés à l'usage public et aux évacuations de personnes paniquées. On préférera des escaliers à « pente modérée », c'est-à-dire des hauteurs de marches ne dépassant pas 16 cm, pour un giron (profondeur) d'une trentaine de centimètres.

Les volées d'escalier doivent comporter des mains-courantes latérales pour être utilisées, à leur capacité maximale, en toute sécurité et garder à l'esprit que les patients hospitalisés ont souvent une motricité réduite.

Les cages d'escalier doivent être isolées par des parois et des portes coupe-feu. Si ces parois sont en maçonnerie chaînée, on réduira les distances entre chaînages pour prévenir tout endommagement et chute de gravats.

Toute décoration ou mobilier doit être prohibé dans les cages d'escalier pour ne pas entraver la marche lors d'une évacuation.

Le fléchage des issues est impératif et doit être sans équivoque.

Les escaliers / cages d'escalier doivent :

- 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

3.8.2. Ascenseurs

L'ascenseur est le seul moyen de déplacement vertical pour les patients invalides et la plupart du matériel roulant. Avant d'opter pour un bâtiment à étage(s), il faut être certain de choisir un matériel approprié, de disposer d'une autonomie en électricité et que la ville dispose d'un service de dépannage. Sinon mieux vaut opter pour un établissement de plain-pied.

Bien que les ascenseurs ne doivent pas être utilisés pendant un séisme ou un cyclone, ils jouent un rôle important en cas d'évacuation ou de « surfonctionnement » après l'événement.

Il peut arriver que des personnes soient bloquées dans un ascenseur arrêté dans sa course. Les normes de sécurité prévoient un système d'appel sonore et un mécanisme manuel permettant de ramener la cabine à hauteur d'étage en cas de panne d'électricité ou de moteur. Si ces conditions ne peuvent être réunies, réaliser alors un projet de plain-pied.

Séisme : Les normes de sécurité pour les ascenseurs sont telles que les charges sismiques additionnelles ne peuvent arracher les mécanismes ou la cabine. On veillera toutefois à ce que la cage d'ascenseur soit en béton armé et non en maçonnerie chaînée. En outre la cabine doit être « guidée », de manière à prévenir tout balancement.

A la rédaction de ce guide, les conditions ne semblent pas réunies pour satisfaire aux exigences requises pour l'installation d'ascenseurs dans les hôpitaux. Ce qui exclut, de fait, la construction d'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

Le recours à une production autonome photovoltaïque pour l'éclairage peut réduire la dépendance externe pour cette énergie vitale en milieu hospitalier.

Un groupe électrogène approprié à la consommation de l'établissement, doit être installé pour faire face à tout type de coupure d'approvisionnement par le réseau public. Le réservoir de carburant doit être calibré en fonction des délais prévisibles d'approvisionnement et du rôle de cet établissement en situation de catastrophe.

De même, un réservoir d'eau doit impérativement être installé afin de garantir une autonomie suffisante en fonction des besoins vitaux de l'établissement et de la durée estimée entre une coupure et un approvisionnement par camion-citerne.

Les prévisions doivent permettre une autonomie en carburant et en eau d'au moins 3 jours.

Séisme : Pour rester opérationnels, les réseaux d'approvisionnement doivent être protégés contre les effets des secousses. C'est pourquoi :

- Les réseaux suspendus doivent être contreventés contre le balancement ;
- Le franchissement des murs doit être protégé contre le cisaillement par des manchons de protection ;
- Le franchissement des joints parasismiques doit être protégé par des lyres permettant un déplacement sans traction ou cisaillement excessifs.

Cyclone : Les réseaux et équipements extérieurs doivent pouvoir supporter le vent, la pluie et les ruissellements de situations cycloniques sur le site d'implantation de l'établissement.

Raccordement aux réseaux publics

Le raccordement des réseaux de l'hôpital aux réseaux publics doit être protégé du vandalisme et des aléas divers.

Le piquage sur les canalisations d'eau publiques est protégé par une chambre souterraine qui permet un accès pour vérification et la fermeture de la vanne d'arrivée générale. Cette chambre (et les chambres supplémentaires éventuelles sur le terrain) ainsi que les tranchées doivent être réalisées sur un sol stable (compacté en cas de remblai) pour limiter le risque de tassement lors de séisme. Leur orientation et leur profondeur doivent tenir compte du système de drainage des eaux pluviales sur le terrain pour ne pas modifier la circulation prévue pour les eaux de ruissellement.

Sur la traversée de la maçonnerie de la chambre, les canalisations doivent être manchonnées par un matériau absorbant les chocs pour limiter le risque de cisaillement et de rupture pendant un séisme.

Une vanne de coupure générale de chacun des bâtiments doit être implantée dans une chambre hors du bâtiment, à proximité immédiate d'une façade.

Si le départ de la ligne privée d'électricité, à partir du réseau public, nécessite un transformateur, celui-ci doit être implanté dans un local sécurisé.

Les arbres situés à proximité des lignes aériennes et sous responsabilité de l'établissement hospitalier, doivent être élagués régulièrement pour éliminer les branches fragiles et limiter la prise au vent.

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 » des secousses sismiques et des vents cycloniques.

Lorsque les murs ont de grandes dimensions, leur sécurisation est impérative et impose une semelle de fondation en béton armé, des chaînages et des contreforts.

Cyclone : La mise en œuvre de la fondation et du mur doit prendre en compte l'écoulement des eaux de part et d'autre. La clôture ne doit pas subir d'affouillement ou créer une retenue d'eau.



Figure 39 : A gauche, exemple de mur de clôture en maçonnerie de blocs ayant basculé hors plan suite au séisme du 12 janvier 2010. (Source ANCO)

Figure 40 : A droite, exemple de mur en pierres partiellement détruit lors du séisme du 12 janvier 2010. (Source P. Balandier)

Les murs de clôture doivent garantir la sécurité de l'établissement hospitalier en toutes circonstances.

Il est inacceptable que leur endommagement fasse des victimes ou permette des effractions.

4. EXIGENCES POUR LES ÉQUIPEMENTS

4.1. Généralités

4.1.1. Introduction

Les dommages occasionnés lors de séismes résident aussi dans la chute d'appareils pouvant entraîner leur destruction, le basculement des réservoirs, le débranchement des câbles et des connexions de fluides.

Les mesures de sécurité à prendre pour prévenir la chute, le déplacement ou le basculement des équipements en situation sismique sont généralement des mesures « de bon sens » dont la mise en œuvre est souvent simple. Le plus grand danger vient du fait que l'on sous-estime les effets des secousses sur les équipements.

Le présent chapitre propose des règles pratiques mais la question doit être posée pour chaque « objet » présent dans l'hôpital.

N. B. : Un grand nombre d'illustrations et exemples de fixation des équipements sont tirées de l'ouvrage « *Reducing Earthquake Risk in Hospitals from Equipment, Contents, Architectural Elements, and Building Utility Systems* » produit par GeoHazards Intl et Swiss Re. Il est recommandé de prendre connaissance de ce manuel très détaillé, disponible en ligne sur les sites des deux organisations.

4.1.2. Matériel fixe

Il s'agit du matériel qui n'est pas déplacé au quotidien (armoires, étagères, casiers, bureaux, etc.). Il doit être solidement fixé à la structure du bâtiment (plancher, murs, etc.). La taille des chevilles doit être appropriée pour supporter les efforts sismiques de référence. Les portes des placards doivent avoir des fermetures efficaces, voire automatiques, afin de ne pas pouvoir s'ouvrir de façon intempestive pendant les secousses.

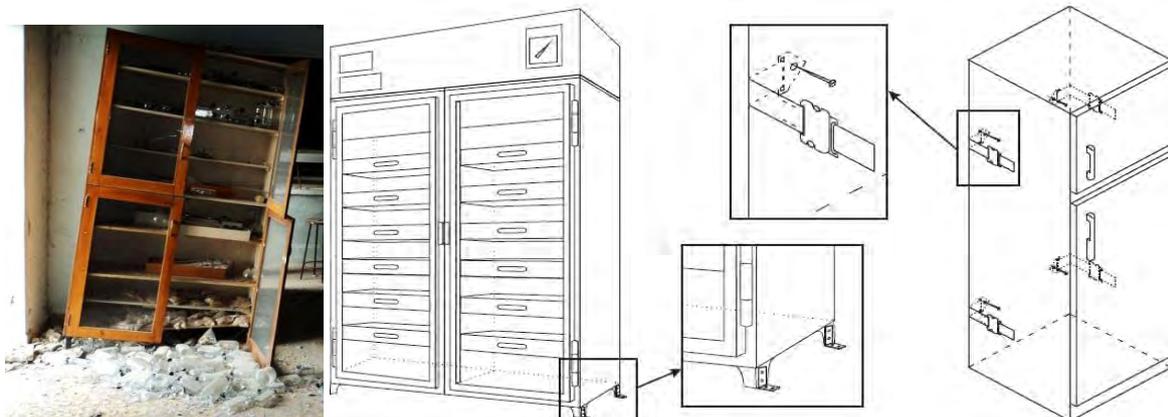


Figure 41 : A gauche, à Delmas, armoire d'un laboratoire de chimie. Non fixée, pieds fragiles, portes non verrouillées, des dizaines de flacons sont tombés et se sont brisés. (Cliché P. Balandier)

Figure 42 : Exemples de fixations à la base (anti-déplacement) et en hauteur (anti-basculement). (Source Geohazard, India)

Les tablettes, bacs de rangement, tiroirs doivent être équipés de rebords et d'un système de blocage ou de portes efficaces pour éviter la chute des produits ou objets contenus.

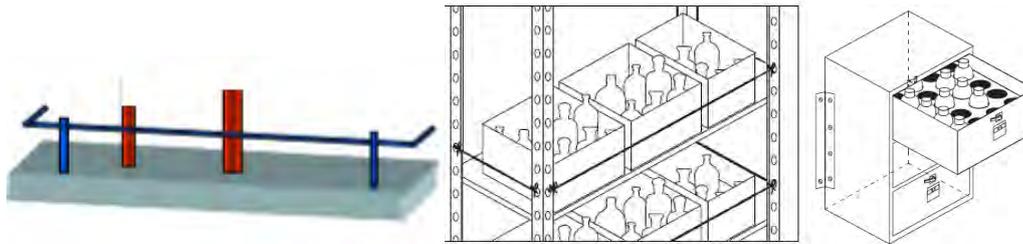


Figure 43 : Exemples de systèmes anti-chutes. (Source Geohazard, India)

Matériel fixe

- Rivé solidement à la structure du bâtiment
- Fermeture pour toutes les portes de placards
- Etagères à rebords
- Tiroirs à ergots

4.1.3. Matériel roulant

Il s'agit du matériel amené à être déplacé : chariots transportant des produits ou des appareils, matériel de manutention, équipements médicaux, lits, etc.

Compte tenu des dégâts qu'ils pourraient entraîner, les matériels roulants ne doivent en aucun cas se renverser. C'est pourquoi leur centre de gravité doit être situé le plus bas possible, on peut pour cela :

- Poser les équipements lourds à l'étage inférieur du matériel roulant ;
- Fixer un poids additionnel au niveau inférieur de façon à rendre impossible le basculement.

Le matériel roulant sera muni quand cela est possible d'un système de blocage des roues.



Figure 44 : Exemples de dispositifs de sécurisation du matériel roulant. (Source Geohazard, India)

N. B. : S'il comporte des plateaux, ceux-ci doivent être équipés de rebords suffisamment efficaces pour éviter la chute du matériel ou des produits.

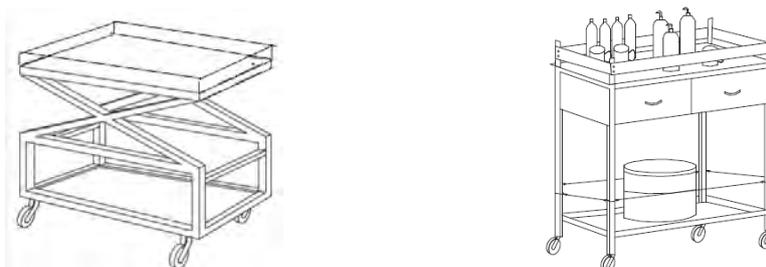


Figure 45 : Exemples de dispositions pour la contention du matériel transporté. (Source Geohazard, India)

Matériel roulant

- Equipements lourds toujours posés au niveau inférieur du matériel roulant
- Centre de gravité au plus près du sol pour éviter les basculements
- Système de blocage des roues
- Plateaux à rebords

4.1.4. Matériel posé

Il s'agit des équipements posés sur les meubles fixes ou roulants.

- Sur des meubles fixes ils doivent être équipés de patins anti-glisse (Velcro) ou de systèmes de straps ;
- En hauteur (moniteurs), les équipements doivent être solidement fixés ;
- Sur matériels roulants, ils doivent également être correctement fixés au support.

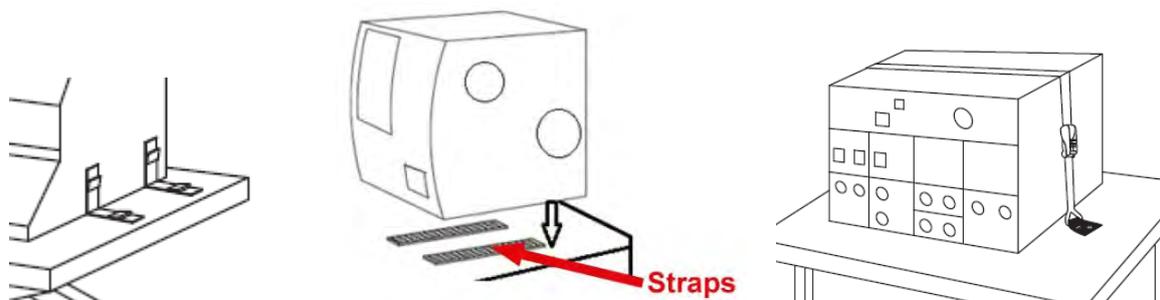


Figure 46 : Exemples de dispositifs de fixation réversible. (Source Geohazard, India)

Matériel posé

- Équipés de système antidérapant pour les matériels posés sur du matériel fixe
- Fixés au support pour les matériels posés sur du matériel roulant

4.1.5. Matériel connecté

La plupart des matériels techniques sont connectés à des prises électriques. Certains d'entre eux sont également reliés à des réseaux de fluides par des canalisations. Tous les branchements doivent être sécurisés pour éviter des débranchements à hauts risques (incendie, électrocution) lors de séismes.

- Si les équipements concernés ne sont pas reliés au réseau électrique de façon permanente, des prises sécurisées doivent être utilisées afin que les matériels ne puissent se déconnecter de façon intempestive ;
- Les câbles doivent toujours présenter une lyre (boucle permettant un peu de jeu) au niveau du branchement de façon à permettre aux appareils de se déplacer pendant le séisme sans que le câble puisse s'arracher ;
- Pour les liaisons avec des réseaux de fluides, des câbles souples et résistants évitent l'arrachement lors du déplacement.

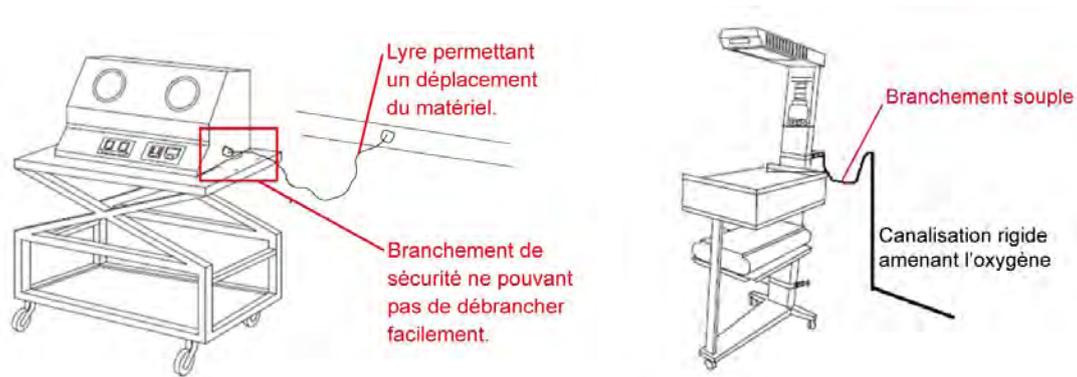


Figure 47 : Exemples de connexions permettant des déplacements sans traction excessive. (Source Geohazard, India)

Matériel connecté

- Prises sécurisées
- Lyres à proximité des branchements
- Branchements souples pour les fluides

4.2. Equipements médicaux

4.2.1. Service des urgences

C'est le service le plus sollicité en cas d'afflux de victimes, il doit permettre d'assurer les premiers secours. C'est pourquoi tout doit être mis en œuvre pour garantir sa fonctionnalité en toutes circonstances ; le matériel doit rester fonctionnel et accessible au personnel.

Cf. Généralités pour la sécurisation des différents mobiliers et matériels.

4.2.2. Blocs opératoires / Réanimation

Les blocs opératoires et services de soins intensifs doivent rester opérationnels après une catastrophe et toutes les mesures doivent être prises pour assurer le maintien de la fonctionnalité de leurs éléments.

Le fournisseur de matériel doit être dûment informé des exigences propres à la sismicité de la zone du projet et fournir un matériel approprié, fixations et raccords inclus.

Les scialytiques : Les scialytiques sont un des points sensibles des blocs opératoires. Ils doivent être fixés dans la dalle de plafond par un accrochage traversant, approprié à l'action sismique de référence. On se référera aux indications données par le fournisseur. La taille des chevilles doit être choisie pour pouvoir résister aux forces calculées.

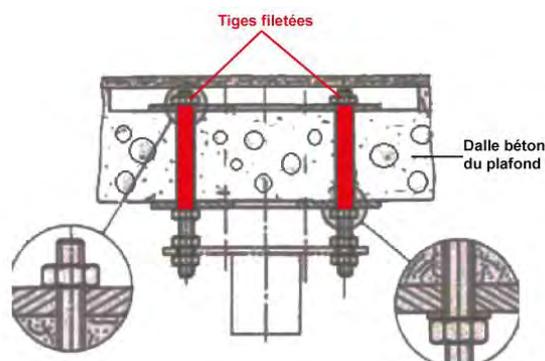


Figure 48 : Exemple de fixation du scialytique. (Source Geohazard, India)

La table d'opération : Elle doit être solidement fixée au sol.

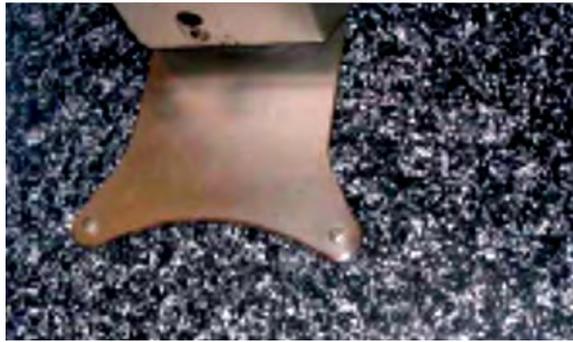


Figure 49 : Exemple de fixation de la table au sol. (Source Geohazard, India)

Les matériels de réanimation: Il s'agit pour la plupart de matériels roulants connectés (cf. Généralités). Cependant la stabilité et l'étanchéité des bouches de soufflage et d'extraction des systèmes de traitement de l'air devront être assurées.

Les moniteurs : Il convient de veiller à la stabilité de ces appareils qui peuvent être posés sur des consoles fixes, sur du matériel roulant ou accrochés à des rails fixés au mur (cf. Généralités).

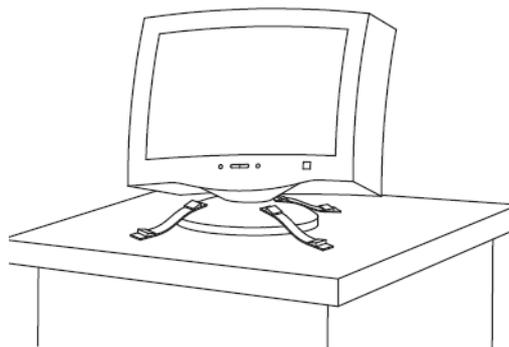


Figure 50 : Exemple de fixation de moniteur. (Source Geohazard, India)

Les armoires et rangements : (cf. Généralités)

Les chariots et dessertes roulantes : Il faut prévoir des freins sur les chariots, des ergots aux tiroirs et des rebords aux plateaux (cf. Généralités).

4.2.3. Equipement de radiologie/ Imagerie/ Explorations fonctionnelles

Le risque essentiel réside dans la chute de ces appareils lourds et coûteux. Il est donc impératif de s'assurer de la qualité des fixations au plafond et au sol, en tenant compte de l'empatement des points d'ancrage pour éviter tout risque de basculement.

S'agissant des appareils de radiologie mobiles, le blocage des roues et la stabilisation pour éviter le renversement sont indispensables (cf. Généralités).

4.2.4. Equipement de laboratoire d'analyses médicales

Le risque majeur réside dans la chute des appareils qui rendrait ce service inopérant.

Les automates d'analyses et autres matériels doivent être soigneusement fixés au mobilier ou à la paillasse préférentiellement murale.

Les nombreuses étagères de stockage et les chambres froides réservées à la conservation des produits sanguins doivent être fixées et stabilisées pour éviter tout renversement, elles doivent être équipées de rebords efficaces pour éviter la chute des produits, matériels ou objets contenus (cf. Généralités).



Figure 49 : Exemples de matériels sensibles pouvant tomber en l'absence de mesures appropriées. (Source Geohazard, India)

4.2.4.1. Stérilisation

Les autoclaves et autres appareils doivent être solidement ancrés au sol ou fixés aux mobiliers fixes (cf. Généralités). Des **liaisons flexibles** doivent être mises en place pour les différentes connexions (cf. Généralités).

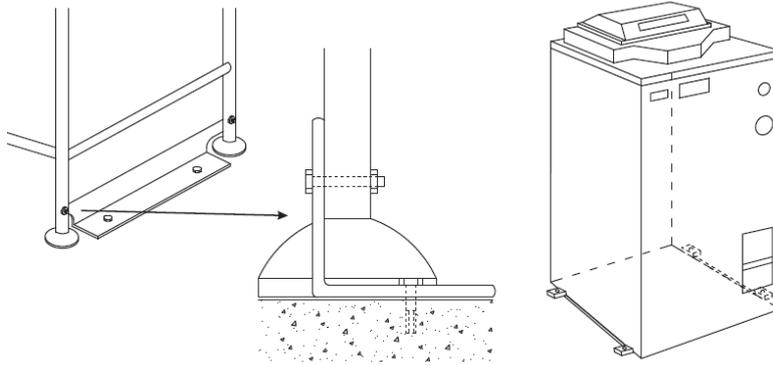


Figure 52 : Exemples de fixations au sol. (Source Geohazard, India)

4.2.4.2. Matériel roulant support de gaz

L'usage des matériels roulants servant au support de gaz médicaux en bouteille **doit être limité**. Toutefois si ce matériel était utilisé, la fixation des bouteilles à leur support roulant doit être renforcée.

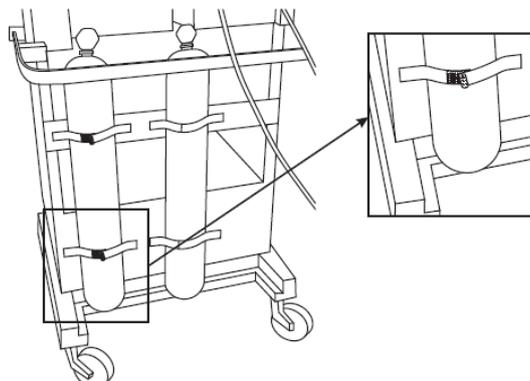


Figure 53 : Exemple de fixation renforcée des bouteilles de gaz sur chariot. (Source Geohazard, India)

4.3. Equipements non médicaux

4.3.1. Mobiliers

Salles de consultation et hospitalisation : Les salles de consultation externe et services d'hospitalisation sont essentiellement équipés de matériel fixes, roulants et posés (cf. Généralités).

L'analyse des dispositions à prendre doit tenir compte du fait que du public non averti se déplace librement dans certains locaux (dégagements, salles d'attente, chambres, sanitaires, etc.). Aucun matériel ou mobilier ne doit pouvoir nuire en cas de situation sismique : entrave à l'évacuation par des meubles, chute d'éléments de décoration ou autres.

Magasins, stockage et pharmacie : L'essentiel de l'équipement est constitué de matériel de rangement avec, pour risque majeur, la chute de médicaments, solutés et intrants divers stockés en magasin.

Ces chutes de produits peuvent entraîner leur destruction mais également des départs de feux. Les éclats de verre empêchent le déplacement sécurisé des usagers dans les locaux.

Certains produits sont stockés en gros conditionnements, ce qui peut aggraver l'impact de destructions potentielles.



Figure 50 : Locaux de stockage pharmaceutique. (Source Geohazard, India)

Figure 51: Chute de produits chimiques d'une armoire dont les fermetures de portes n'étaient pas correctement enclenchées (Séisme du Nord-Martinique en 2007). (Cliché P. Balandier)

Les meubles doivent donc être solidement fixés et stabilisés, et leurs portes doivent rester fermées. Les étagères doivent être équipées de rebords efficaces pour éviter aux produits, matériels ou objets contenus d'être éjectés. Les conteneurs et autres gros volumes de stockage doivent être fermés et accrochés sur les étagères.

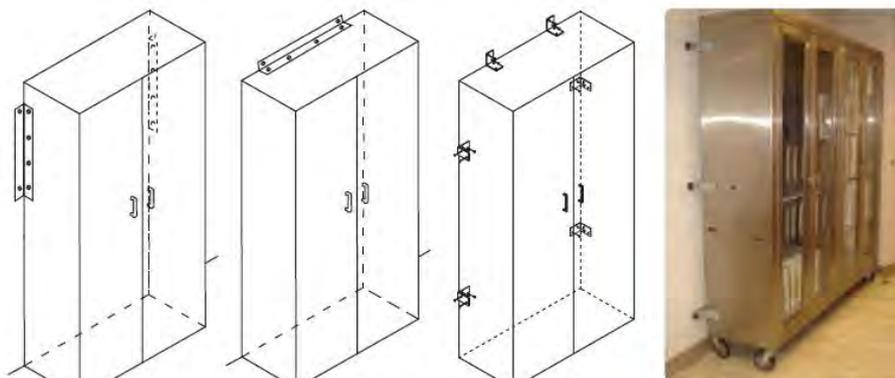


Figure 52 : Exemples de fixation d'armoires. (Source Geohazard, India)

Administration et archives : Les zones accueillant les services administratifs comportent essentiellement des bureaux, du mobilier de stockage de documents et du matériel informatique. Les secousses peuvent entraîner leur destruction et la perte de documents d'information. Ce matériel fixe et posé sera donc amarré comme il convient (cf. Généralités).

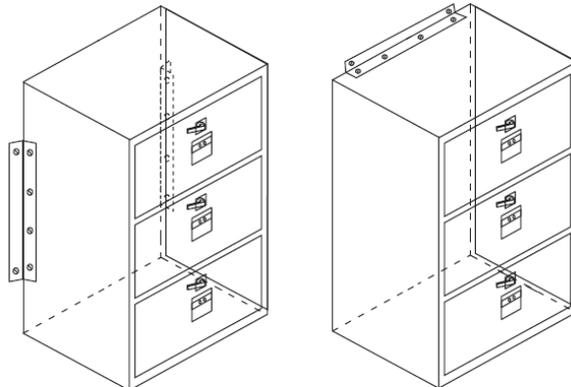


Figure 53 : Exemples de meubles classeurs renversés, et de sécurisation. (Source FEMA)

4.3.2. Matériel informatique

Les moniteurs et imprimantes doivent être fixés aux bureaux avec un système de straps (cf. Généralités).

Les unités centrales devront être fixées et également mises hors sol en raison de possibles inondations.

4.3.3. Éléments suspendus (luminaires, ventilateurs, appliques, etc.)

Les éléments suspendus doivent être fixés de manière à prévenir tout balancement. Les différents éléments qui les constituent doivent être correctement fixés entre eux.

La résistance de l'équipement et des fixations doit tenir compte des efforts à l'arrachement liés au balancement.



Figure 54 : Ici, les grilles-réfecteurs des éclairages au plafond ne possédaient pas de système de fixation approprié. Certaines sont tombées (Séisme du Nord-Martinique en 2007). (Cliché P. Balandier)

5. EXIGENCES RELATIVES À L'ACCESSIBILITÉ 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 (ce qui inclut la question de la maintenance et des réparations d'urgence), des rampes appropriées, à faible pente, doivent permettre cette accessibilité aux personnes à mobilité réduite.

Les sanitaires et les postes de travail administratif seront également 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 technologique

5.2.1. Exigence de conception du fait des risques incendie

Le risque d'incendie doit faire l'objet de mesures de prévention strictes. Tout doit être mis en œuvre pour prévenir le départ d'un feu, et pour que, si un début de combustion survient quand même, il ne soit pas nécessaire de mettre l'hôpital hors service. L'évacuation des patients de la zone concernée et l'extinction doivent pouvoir être réalisées rapidement et dans de bonnes conditions.

Ainsi, la phrase « Un hôpital ne doit pas être évacué » reste un objectif ne souffrant que des exceptions « sectorielles » vis-à-vis des incendies.

Les principes techniques de la sécurité « incendie et panique » sont assez universels, même si les moyens exigés varient un peu d'un pays à l'autre.

Les règles de sécurité incendie du code IBC, recommandé par les règles intérimaires et par le projet de CNBH (à la date de rédaction) sont la référence légale en Haïti.

En complément, les ouvrages spécialisés précisent les aspects techniques relatifs aux comportements des matériels, matériaux et dispositifs pouvant être mis en œuvre.

La stratégie la plus adaptée au contexte des hôpitaux et autres 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, etc.

Pour mettre en œuvre le génie anti-incendie, un certain nombre de points doivent être vérifiés. Il s'agit au minimum des questions exposées ci-après.

5.2.2. Accessibilité des locaux

Les voiries menant à l'établissement doivent permettre l'accès des véhicules d'incendie et de secours dans des conditions satisfaisantes en toutes circonstances (largeurs des voiries d'accès publiques, des voiries internes, accessibilité des façades, accessibilité des espaces privés extérieurs de l'établissement, aires de retournement, etc.).

Il convient de s'assurer que les dispositions architecturales adoptées permettent aux véhicules d'incendie et de secours, aux lances d'incendie et aux échelles, d'atteindre les façades opposées des bâtiments, à tous leurs étages, ainsi que toutes les entrées.

Il faut également prévoir que, suite à un séisme ou à un cyclone, les voiries pourraient être inaccessibles pour différentes raisons (cf. 1^{ère} Partie), et que les services de lutte contre l'incendie soient saturés de demandes. Ce qui impose que des moyens d'extinction autonomes de proximité, appropriés à l'importance et à la taille de l'établissement, soient également disponibles et accessibles (extincteurs, citernes, pompes, lances à incendie, etc.).

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.

La circulation des ambulances et véhicules de secours doit se faire sans qu'il soit besoin de faire une marche arrière. La circulation doit de préférence se faire selon une ou plusieurs « boucles », les éventuels « culs-de-sac » doivent comporter une plateforme de retournement appropriée au gabarit de giration des camions de pompiers.

Pour les hôpitaux, l'entrée des urgences et la voie interne qui y mène, doivent de préférence être séparées de l'accès public ordinaire.

5.2.3. Isolement entre bâtiments

Afin d'éviter tout risque de propagation d'un incendie d'un bâtiment tiers vers l'établissement de santé, un isolement doit être réalisé, au choix, par :

- La création d'écran coupe-feu entre le bâtiment tiers et celui de l'établissement de santé ;
- Le respect de distances suffisantes entre les constructions de l'établissement de santé et le bâtiment tiers.



Figure 55 : A Port-au-Prince, distance insuffisante entre un bâtiment hospitalier et un bâtiment tiers. (Source ANCO)

La conception de l'écran coupe-feu doit être conforme aux exigences de l'IBC. Les minimums exigés sont :

- Un écran coupe-feu de 30 minutes pour un établissement de niveau 1 ;
- Un écran coupe-feu de 60 minutes pour un établissement de niveau 2 ;
- Un 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.

Lorsqu'il n'y a pas d'écran coupe-feu entre les bâtiments tiers et l'hôpital, il est conseillé de prévoir une distance minimale de 8 m entre les bâtiments pour empêcher la propagation de l'incendie.

N. B. : Ces règles doivent être adoptées également entre les différents corps de bâtiment de l'établissement de santé, notamment lorsque l'un d'entre eux est ancien (hors normes) ou abrite des locaux plus exposés (cuisines, locaux techniques, etc.).

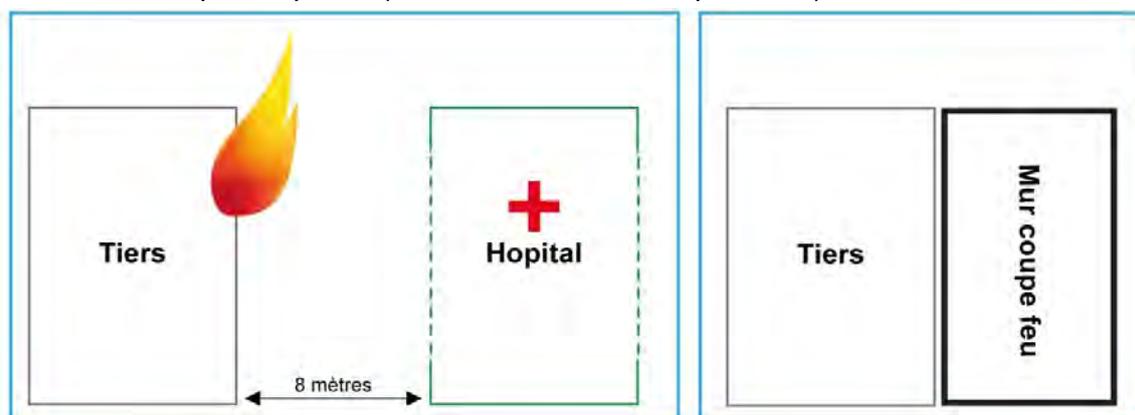


Figure 56 : Schéma de principe de l'isolement des bâtiments. (Source ANCO/PAHO)

N. B. : En outre, il faut prendre des dispositions d'isolement « interne » pour empêcher la propagation de l'incendie entre les locaux et secteurs du bâtiment affecté (exigences développées plus loin).

5.2.4. Exclusions de cohabitation

Des exclusions de cohabitation ou de proximité entre activités de santé et activités dangereuses, nécessaires à la sécurité, peuvent être exigées en fonction du contexte.

Au minimum on doit respecter celles de l'IBC 2009, notamment la directive stricte d'exclusion des activités dangereuses à proximité de l'hôpital (cf. 1^{ère} Partie 1 : choix du terrain).

5.2.5. Résistance au feu des structures

Les structures doivent être capables de résister au feu sans perte de stabilité. Le niveau de performance exigible est le suivant :

- 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.

N. B. : C'est pourquoi la réalisation de la structure des hôpitaux en charpente métallique ou en bois est déconseillée.

La charpente métallique présente une très faible stabilité aux fortes chaleurs. Elle doit subir un traitement aux peintures intumescentes, mais il faut également s'assurer de la tenue de ces peintures dans le temps.

Le bois est en général un bon propagateur de la flamme. Il ne peut être envisagé que pour des petits locaux annexes isolés.

En tout état de cause, ces structures en bois et en charpente métallique ne sont pas admises sur les locaux hospitaliers de niveau 2 et 3.

5.2.6. 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.

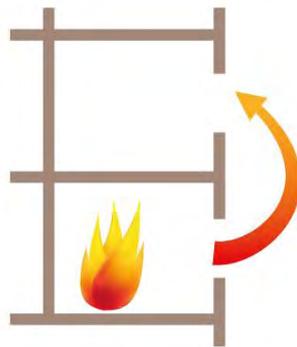


Figure 57 : Schéma indiquant la possibilité inacceptable de transmission d'un incendie d'un étage à l'autre par la façade. (Source ANCO/PAHO)

5.2.7. Toitures

La couverture et ses ouvertures éventuelles doivent être conçues et mises en œuvre de manière à ne pas prendre feu au contact de flammèches provenant d'un incendie du voisinage.

Pour cela on utilisera des éléments ininflammables comme les tôles qui sont également bien adaptées aux autres aléas haïtiens.

5.2.8. Compartimentage

Quelles que soient les précautions réglementaires prises par ailleurs, lors de la conception des bâtiments, il faut envisager une situation de départ d'incendie dans chaque partie des locaux.

Afin d'éviter d'avoir à évacuer la totalité des bâtiments de grandes dimensions, on doit y créer un compartimentage coupe-feu, permettant de n'évacuer que la zone directement concernée par le départ de feu.

Les cloisonnements coupe-feu entre compartiments doivent être continus de façade à façade, et être traversés par **un nombre limité de circulations. Les portes entre les compartiments doivent elles-mêmes être coupe-feu.**

Les règles précisent, en fonction du bâtiment, le « degré coupe-feu » (durée de la tenue aux flammes des parois et des portes).

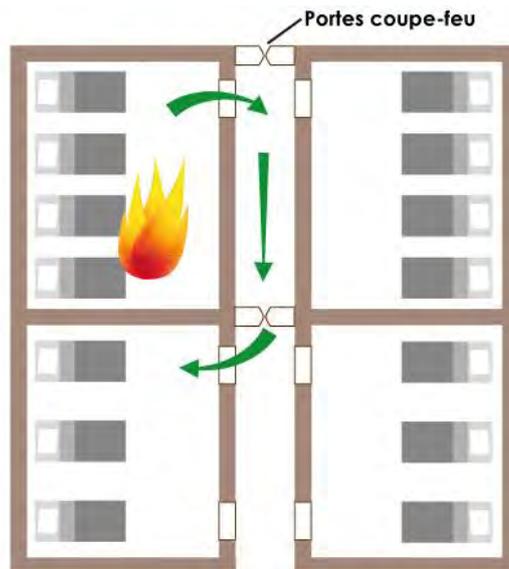


Figure 58 : Principe schématique du compartimentage. (Source ANCO/PAHO)

5.2.9. Locaux à risque

Dans un hôpital, se trouvent des locaux présentant un risque plus élevé de départ d'incendie, d'explosion, ou d'émanation de gaz toxiques, comme les réserves de fuel et/ou de gaz, de papier (archives), de produits potentiellement inflammables ou toxiques (dépôts, pharmacie, etc).

Tous ces locaux à risque doivent être isolés, par rapport aux autres locaux et leurs circulations doivent être accessibles au public, à l'aide de parois coupe-feu de degré minimum 60 minutes, et munies de portes coupe-feu 30 minutes.

En outre, les locaux à risque important, comme les archives, le stockage de gaz, le groupe électrogène, etc. doivent être isolés des circulations par des sas (doubles portes coupe-feu).

Il est toutefois préférable, à chaque fois que cela est possible, et en particulier sur les sites éloignés des secours, que les locaux à risque particulier soit séparés des bâtiments de soins.

5.2.10. Dégagements

La conception de l'hôpital doit prévoir un nombre suffisant de dégagements horizontaux et verticaux, et d'issues dont le gabarit et le nombre dépend du nombre d'occupants potentiels.

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.

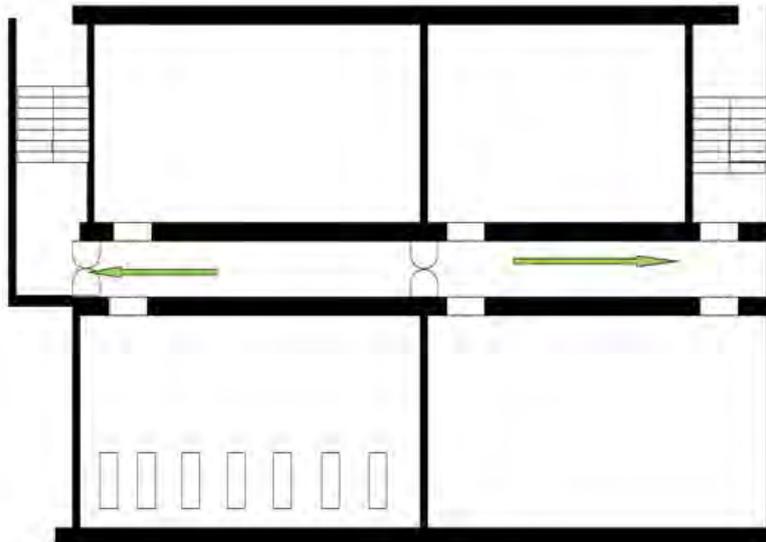


Figure 59 : Principe de fléchage des issues les plus proches. (Source ANCO)

5.2.11. Aménagements intérieurs

On trouve dans un hôpital de nombreux aménagements, principalement techniques et fonctionnels comme des faux-plafonds, des revêtements muraux et de sol, du mobilier, etc.)

Les matériaux utilisés pour ces aménagements doivent être certifiés ininflammables et ne pas générer de fumées toxiques par combustion sans flamme.

Les certificats doivent être fournis pour tous ces matériaux et mobiliers.



Figure 60 : Exemple de faux plafond en matériau propagateur de flammes ; Interdit. (Source ANCO)

5.2.12. Désenfumage des locaux sans fenêtre directe sur l'extérieur

Un système de désenfumage doit être mis en place dans certains locaux s'ils ne s'ouvrent pas directement sur l'extérieur par des fenêtres. Cela permettra que les fumées éventuelles puissent être évacuées vers l'extérieur, et préviendra leur propagation dans les locaux voisins et sur les circuits d'évacuation intérieurs.

Ces locaux sont au moins : les couloirs et escaliers, les locaux de plus de 300 m² ou de plus de 100 m² situés en sous-sol, et les locaux à risque (parkings fermés, cuisines, stockage de matières dangereuses, etc.)

Le désenfumage peut être mécanique ou naturel, sauf dans les escaliers où il est obligatoirement naturel.

N. B. : Les systèmes d'évacuation naturelle des fumées sont préférables.

5.2.13. Fluides (gaines, passage de canalisations, stockage)

Tous les fluides doivent circuler dans des canalisations adaptées à leur nature et à leur température. Les exigences spécifiques des risques liés aux gaines et canalisations (climatisation, ventilation, désenfumage, plomberie, gaz médicaux, etc.) doivent être strictement respectées au cas par cas.

Toutes les dispositions nécessaires seront prises pour que les gaines ou les percements pour le passage des canalisations, ne puissent 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.

Toutes les dispositions réglementaires propres à chaque type de stockage de matières dangereuses (prévention des incendies et des explosions), doivent être identifiées pour chaque contexte dès l'avant-projet, et doivent être mises en œuvre.



Figure 61 : Exemple de stockage de fluides médicaux non protégé (hôpital en Haïti). (Source ANCO)

5.2.14. Electricité

La continuité de l'alimentation électrique est vitale dans un hôpital. En conséquence, on doit mettre en œuvre les dispositions permettant d'éviter toute coupure d'électricité qui pourrait entraîner la suspension des soins.

Ces dispositions concernent au minimum les aspects suivants :

- Mise en place de 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 flammes ;
- Mise en œuvre de protections pour prévenir les courts-circuits ;
- Mise en œuvre de circuits de secours permettant de pallier immédiatement 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.

5.2.15. Alarme et système de sécurité

Le système d'alarme choisi doit d'abord permettre de donner une alarme restreinte au personnel désigné pour les situations d'urgence, afin que celui-ci puisse 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).

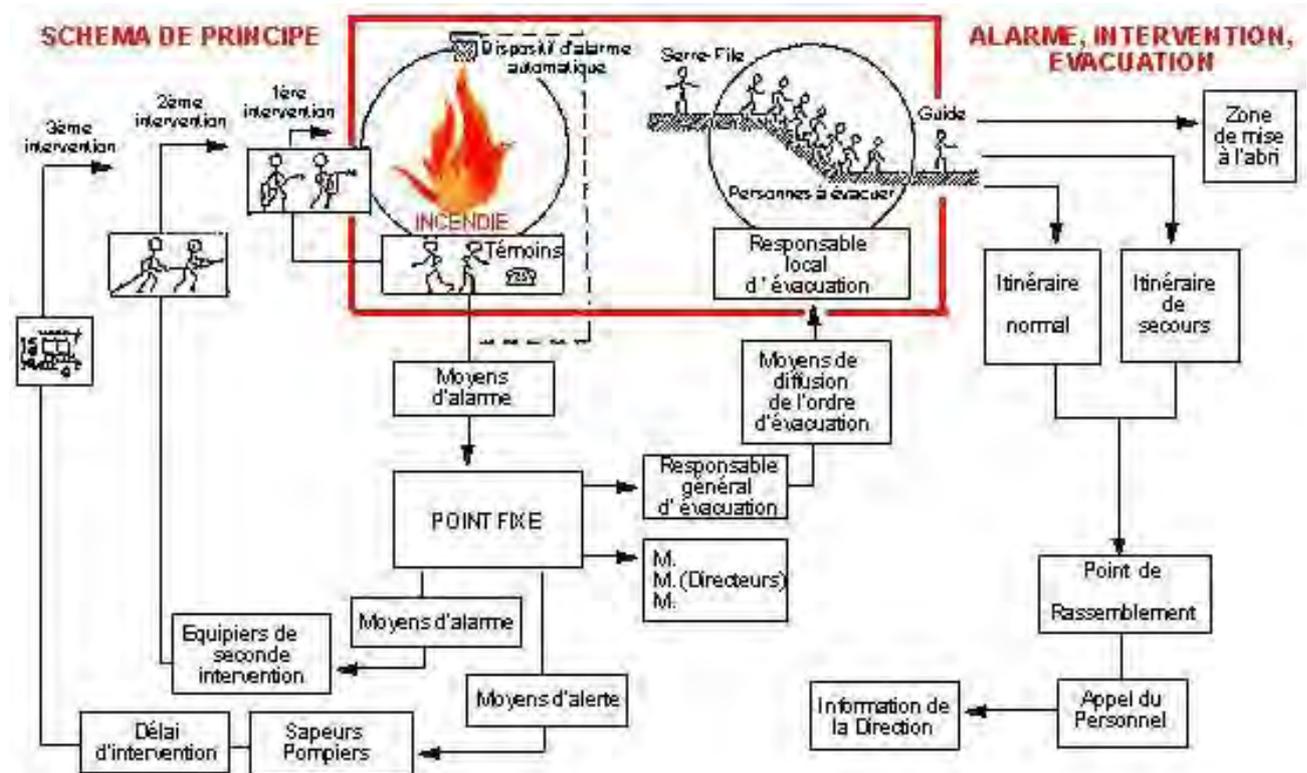


Figure 62 : Organigramme des principes d'alarme et de systèmes de sécurité. (Source : www.pc-securite.dpn.ch/formation/chapitre 4.htm)

5.2.16. Moyens de secours internes à l'établissement

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, 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.

5.2.17. Consignes de sécurité incendie

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 doit respecter les exigences légales, et les recommandations des fournisseurs.

3^{ème} PARTIE : TERMES DE REFERENCE ET ELEMENTS FORMELS DU CONTROLE TECHNIQUE

La troisième partie du Guide pour la Construction des Hôpitaux Résistants aux Aléas Naturels propose un cadre pour les contrats de contrôle technique des projets hospitaliers et de leurs chantiers.

Elle est divisée en deux sous-parties :

- *Exigences pour la préparation des contrats de mission des contrôleurs techniques ;*
- *Vérifications formelles exigibles sur chantier.*

Préambule

Dans certains pays, notamment la France, le contrôle technique indépendant des plans, des calculs, des prescriptions et des chantiers, est obligatoire pour certaines catégories de constructions, notamment pour les établissements de santé.

Le contrôle technique a pour but de prévenir les erreurs de conception et de réalisation, susceptibles d'entraîner des dégâts, par la vérification du respect des règles de l'art en matière de construction : règles relatives à la solidité (le cas échéant, normes parasismiques et paracycloniques), à la sécurité incendie, électrique, à l'acoustique, à la thermique, à la sécurité des personnes en situation de panique, à l'accessibilité aux handicapés, etc.

Dans la mesure où il n'existe pas encore de système de contrôle technique officiellement organisé en Haïti, au moment de la parution de ce guide, il nous a paru pertinent d'y inclure les éléments permettant la constitution de termes de référence adaptés au contexte haïtien pour les établissements de santé.

L'approche présentée s'inspire largement du système légal et normatif français¹ appliqué en Guadeloupe et en Martinique, dont la pratique a fortement réduit la sinistralité sur les constructions.

Ce cadre est proposé pour le contrôle des projets d'établissements de santé neufs et de leur réalisation, à l'exclusion d'une part, des autres types de construction, et d'autre part, des travaux de réhabilitation ou de renforcement des constructions existantes qui exigent, pour leur part, des approches un peu différentes, à définir hors du contexte de ce guide².

Le contrôleur technique peut réaliser sa mission pour le compte du maître d'ouvrage qui peut être privé (cliniques privées par exemple) ou public (hôpitaux départementaux par exemple). Il peut également effectuer sa mission pour le ministère de la santé, afin d'éviter d'éventuelles pressions d'un bailleur de fonds, tenté de sacrifier la sécurité au profit d'économies financières. C'est cette seconde hypothèse qui est proposée dans cette partie du guide, à titre transitoire pendant la période de mise en place de nouvelles règles de construction nationales, et de leur cadre légal.

¹ Dans le cas de la France, le *bureau de contrôle technique* est un organisme privé et indépendant qui doit disposer d'un agrément ministériel pour exercer les missions qui lui sont confiées. Il émet des avis techniques de conformité, ou de non-conformité, sur la conception ainsi que sur les travaux de bâtiment et de génie civil.

Le système est cadré notamment par le décret n° 88-443 du 28 mai 1999 relatif au Cahier des Clauses techniques Générales applicables aux marchés publics de contrôle technique (CCTG-CT) ; et par la norme NF P 03-100 « Critères généraux pour la contribution du contrôle technique à la prévention des aléas techniques dans le domaine de la construction » (1995).

² On trouvera néanmoins quelques informations générales relatives aux stratégies pour les bâtiments existants dans la quatrième et dernière partie de ce guide.

Contenu de la 3^{ème} partie

3 ^{ème} partie : Termes de référence et éléments formels du contrôle technique.....	153
1. Exigences pour la préparation des contrats de mission des contrôleurs techniques	157
1.1. Introduction : Cadre du contrôle technique	157
1.2. Définition des missions de contrôle technique	158
1.2.1. Nature et domaine des missions	158
1.2.2. Mission de base : mission <i>Solidité et Sécurité</i>	158
1.2.3. Missions complémentaires relatives à la fonctionnalité.....	160
1.2.4. Limites de la prestation	161
1.3. Modalités d'intervention du bureau de contrôle	161
1.3.1. Référentiel.....	161
1.3.2. Activités entrant dans la mission de contrôle technique.....	161
1.3.3. Critères de choix du bureau de contrôle	165
1.3.4. Conditions d'exécution du contrôle.....	165
1.3.5. Durée des responsabilités	167
2. vérifications formelles exigibles sur chantier	168
2.1. Préambule.....	168
2.2. Fondations superficielles	168
2.2.1. Introduction	168
2.2.2. Présence d'argile gonflante non décapée sous la fondation	169
2.2.3. Absence de traitement de sol contre les termites	169
2.2.4. Fondations non descendues au bon sol	169
2.2.5. Mise en œuvre de fondations superficielles sur des sols de consistances différentes	170
2.2.6. Proximité d'un bord de talus sans soutènement	170
2.2.7. Enrobages insuffisants des aciers d'armature	171
2.2.8. Fondations isolées non liaisonnées par des longrines.....	171
2.2.9. Mise en œuvre de fondations à des profondeurs différentes sans précautions	171
2.2.10. Fondations en redans sans gros béton	172
2.2.11. Erreurs de mise en place des aciers : fondations « travaillant à l'envers ».172	
2.2.12. « Bèches » et raidisseurs sous radier non coulés « en pleine fouille ».....	173
2.2.13. Armatures principales des radiers positionnées en partie basse.....	173
2.3. Joints parasismiques.....	174
2.4. Béton armé de structure	174
2.4.1. Le béton et les armatures.....	174

2.4.2.	Murs de soutènement.....	174
2.4.3.	Béton armé (défauts généraux).....	176
2.4.1.	Destruction du béton armé pour travaux imprévus	180
2.4.2.	Portiques en béton armé	180
2.4.1.	Voiles béton	182
2.4.2.	Les dalles.....	182
2.5.	Murs en maçonnerie chaînée	184
2.6.	Charpente métallique	185
2.6.1.	Préambule.....	185
2.6.2.	Traitement anticorrosion.....	185
2.6.3.	Ancrage de la charpente métallique dans le béton	185
2.6.4.	Choix des boulons.....	185
2.6.5.	Prévention des efforts parasites	185
2.6.6.	Soudure et percements sur chantier.....	186
2.6.7.	Défaut de serrage des boulons	186
2.6.8.	Protection contre la limaille de fer.....	186
2.7.	Charpente bois.....	187
2.7.1.	Préambule.....	187
2.7.2.	Ancrage de la charpente en bois dans le béton armé.....	187
2.7.3.	Choix des boulons et des clous.....	187
2.7.4.	Interdiction d'utiliser des assemblages et fixations bois-bois travaillant à l'arrachement	187
2.8.	Couverture des charpentes en toiture	188
2.8.1.	Fixation des tôles de couverture.....	188
2.8.2.	Recouvrement des tôles.....	188
2.9.	Étanchéité des toitures terrasse	188
2.10.	Scellement des cadres des menuiseries extérieures	189
2.11.	Electricité	189
2.12.	Plomberie	189

1. EXIGENCES POUR LA PRÉPARATION DES CONTRATS DE MISSION DES CONTRÔLEURS TECHNIQUES

1.1. Introduction : Cadre du contrôle technique

Le contrôle technique des différentes phases du projet, puis du chantier, doit impérativement être réalisé de façon double pour prévenir les futurs sinistres :

- **L'autocontrôle**, doit être assuré par les constructeurs eux-mêmes :
 - o les concepteurs (maîtrise d'œuvre : vérification des hypothèses, des raisonnements, des prescriptions et des opérations de calcul, suivi de la bonne exécution du chantier, etc.)
 - o les entrepreneurs en bâtiment (vérification de la bonne lecture des plans par les chefs de chantier, de la qualité des matériaux livrés, de leur mise en œuvre correcte, etc.) ;
- **Le contrôle extérieur** qui doit être effectué par une personne/équipe hautement qualifiée, totalement indépendante des constructeurs, ce qui augmente l'efficacité de la détection des erreurs. C'est le rôle joué par le bureau de contrôle technique.

Le bureau de contrôle technique vient en complément et non pas en remplacement de la maîtrise d'œuvre. Il doit exercer une véritable action d'inspection qui inclut le contrôle, le conseil et le suivi des actions correctrices éventuelles.

Pour tout projet de construction neuve³ d'un établissement de santé ou d'un bâtiment nouveau dans l'enceinte d'un établissement existant, quel que soit son niveau de classification dans la hiérarchie du système de santé haïtien, les autorités sanitaires nationales en charge de ces établissements (principalement la DOSS et/ou ses représentations régionales), doivent exiger de la part de l'entité exécutrice publique ou privée, nationale ou étrangère, l'intervention d'un bureau de contrôle technique dont les prérogatives et obligations sont présentées dans ce chapitre.

En l'absence, au moment de la rédaction de ce guide, d'un cadre légal professionnel pour le contrôle technique des projets et des chantiers de bâtiments en Haïti, on retiendra les exigences suivantes pour le choix des prestataires :

- Le cabinet chargé du contrôle technique du projet doit disposer d'ingénieurs ou autres professionnels ayant une expérience confirmée, plus étendue que celle du maître d'œuvre, dans chacun des domaines à contrôler ;
- La prestation du bureau de contrôle doit être financée par le bailleur de fonds de l'opération (elle entre dans le montant de l'opération). Le bureau de contrôle agira pour le compte des autorités sanitaires qui le nommeront, notamment pour son indépendance vis-à-vis de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'œuvre ;
- Comme l'ensemble des prestataires, il doit disposer d'une assurance professionnelle couvrant sa responsabilité de contrôleur du projet et de sa réalisation.

Par conséquent, il est proposé que le représentant des autorités sanitaires soit responsable du mandatement du contrôleur technique, et donc de l'élaboration des termes de référence de sa mission. Après appel à candidature, le contrôleur technique signera son contrat.

La suite de ce chapitre propose les éléments du cadre dans lequel doit intervenir le bureau de contrôle et a pour but de servir de guide pour l'élaboration des termes de référence de son contrat.

³ Le contrôle des projets et travaux de réhabilitation ou de renforcement des bâtiments existants est également nécessaire, mais n'est pas traité dans de ce guide. Il suit globalement les mêmes méthodologies et exigences juridiques.

1.2. Définition des missions de contrôle technique

1.2.1. Nature et domaine des missions

La mission du contrôleur technique doit être clairement définie par son contrat qui doit préciser :

- La nature de la mission, c'est-à-dire l'indication des risques techniques dont la prévention est recherchée : manque de résistance aux séismes, aux cyclones, propagation d'incendie, inaccessibilité aux handicapés, etc.
- Le domaine d'intervention, c'est-à-dire les ouvrages, parties d'ouvrages et éléments d'équipements sur lesquels porte la mission : conception générale, gros-œuvre, circuits électriques, etc.

N. B. : L'avis du contrôleur technique porte sur l'état des ouvrages et éléments d'équipement tel qu'il se présente lors des opérations de contrôle, généralement jusqu'à la réception des travaux. Par conséquent, sa responsabilité ne peut être engagée en cas de modifications ultérieures.

1.2.2. Mission de base : mission *Solidité et Sécurité*

La mission *Solidité et Sécurité* est la mission minimale à exiger en termes de contrôle technique pour la construction de tout établissement de santé, public ou privé, quel que soit son importance dans le système national de sécurité sanitaire.

Elle doit également être exigée pour tout bâtiment neuf à construire au sein d'un établissement ancien⁴.

Elle porte sur la solidité des ouvrages et des éléments d'équipement qui leur sont liés, ainsi que sur la sécurité des personnes dans les constructions achevées⁵.

Nature de la mission

Dans le cadre de la mission *Solidité et Sécurité*, le bureau de contrôle doit vérifier :

- que la solidité et la stabilité de la construction achevée, et celle des ouvrages et éléments d'équipements qui la constituent, ne sont pas compromises vis-à-vis des charges permanentes, des charges d'exploitation, des charges accidentelles, et des charges liées aux aléas naturels connus en Haïti (sismiques, cycloniques, géologiques, etc.) ;
- que les contraintes liées à la durabilité des matériaux ainsi qu'aux conditions d'étanchéité du clos et du couvert, appréciées en fonction du site et de l'exposition aux intempéries, sont prises en compte ;
- que les éléments d'équipement ne pourront pas être générateurs d'accidents corporels ou de gêne dans le fonctionnement de l'établissement en cas de survenance d'un désastre naturel ou technologique extrême, mais prévisible dans son contexte ;
- que la sécurité et la protection des personnes ne sont pas compromises vis-à-vis des risques liés à la panique et aux incendies (prévention des incendies et moyens de lutte contre leur propagation, évacuation de la fumée, évacuation et sécurisation des occupants selon leur capacité de déplacement, stabilité au feu de la structure, sécurité des équipes de secours...).

⁴ Comme mentionné plus haut, le contrôle technique devrait également être exigé pour toute modification significative d'un bâtiment existant. Mais le cadre légal de garanties pour des interventions sur des constructions qui, dès l'origine, ont été défectueuses au regard des règles de base, est trop complexe pour être abordé ici.

⁵ Des exigences d'un autre type peuvent être stipulées pour la sécurité des ouvriers pendant le chantier et pendant les opérations futures de maintenance.

Domaine d'intervention

Dans le cadre de la mission *Solidité et Sécurité* et selon les travaux réalisés, l'intervention du bureau de contrôle doit porter sur les éléments suivants, s'ils sont présents dans le projet à réaliser :

- Les ouvrages de viabilité (eau potable, eaux usées, électricité...) reliés aux réseaux publics et/ou internes à l'établissement et la voirie, qui sont dans l'enceinte de l'établissement de santé ;
- Les ouvrages de fondation, les ouvrages de structure (gros-œuvre) ;
- Les ouvrages de clos et de couvert (fenêtres, portes, toiture...) qui offrent une protection (dont le niveau d'exigence est défini en fonction du projet et du site) contre les agressions des éléments naturels extérieurs, ainsi que les façades ;
- Les éléments d'équipement liés aux ouvrages énumérés ci-dessus ;
- Les dispositions des garde-corps et fenêtres basses relatives à la protection contre les chutes de hauteur ;
- Les portes et portails automatiques ou non ;
- Les vérifications des installations électriques comportant des courants forts (tension supérieure à 50 Volts) ;
- Le comportement au feu des matériaux et éléments de construction, isolement, desserte, cloisonnements et dégagements, moyens de secours, dispositifs d'alarme et d'alerte, équipements de désenfumage naturel ;
- Les installations fixes d'alimentation en eau chaude sanitaire, de ventilation, conditionnement d'air, réfrigération et équipements de désenfumage mécanique ;
- Les conduits de fumée ;
- Les ouvrants en élévation ou en toiture et les parois transparentes ;
- Les ascenseurs, monte-charges, escaliers mécaniques, trottoirs roulants ;
- Les installations de gaz combustibles, d'hydrocarbures liquéfiés, de fluides médicaux, les appareils et installations sous pression de vapeur ou de gaz, les dispositions de construction concernant la protection contre les rayonnements ionisants.

ATTENTION : le contrôle technique de la solidité des ouvrages effectué lors de leur construction ne dispense pas l'exploitant du contrôle de l'entretien régulier de ces ouvrages (Cf. partie 4 de ce guide).

Limites de la mission

Les prestations énumérées ci-après ne relèvent pas a priori de la mission *Solidité et Sécurité* de base, mais peuvent faire l'objet de missions particulières à la demande des autorités sanitaires. Il s'agit des autres vérifications techniques, relatives à la sécurité de l'exploitation (fonctionnement) de l'établissement de santé, hors solidité des locaux et protection contre les risques d'incendie, de panique, etc. :

- Les vérifications des chambres funéraires et crématoriums ;
- Les vérifications sur les aménagements réalisés à l'initiative ou sous la responsabilité des exploitants ou occupants (hors projet initial), même s'ils sont entrepris avant l'ouverture de l'établissement ou l'occupation de locaux ;
- Les vérifications sur les biens meubles ;
- Les vérifications des éventuelles nacelles suspendues de nettoyage ;
- Les vérifications de l'état de conformité des équipements de travail (appareils et machines) ;
- Les vérifications initiales des générateurs sans présence humaine ;
- Les vérifications avant épreuve ou avant mise en service des appareils sous pression de gaz ou de vapeur ;
- Les vérifications avant mise en service des sources de rayonnements ionisants.

Sauf mention contraire du contrat, la mission *Solidité et Sécurité* ne comprend pas non plus la vérification de la sécurité de l'organisation du chantier :

- Les documents de phasage de la réalisation de la construction ;
- Les sollicitations liées aux phases provisoires de travaux ;
- Les dispositions relatives à l'étalement des ouvrages ou au blindage des fouilles (qui sont du ressort de la sécurité pendant les travaux) ;
- Les dispositions relatives à la sécurité des travailleurs sur site.

1.2.3. Missions complémentaires relatives à la fonctionnalité

Dans le domaine de la santé, le recours à la mission de base peut ne pas s'avérer suffisante à la prévention de l'ensemble des aléas techniques du futur établissement.

Les autorités sanitaires ont alors la possibilité de recourir à des missions complémentaires, définies selon leurs propres exigences, notamment en fonction de l'importance du futur établissement dans le système de santé.

Mais ces missions complémentaires ne doivent pas être fournies sans mission de base. La mission de base contrôle la sécurité de l'établissement, les missions complémentaires éventuelles, en contrôlent sa fonctionnalité.

Outre les missions complémentaires de sécurité évoquées dans le chapitre précédent, d'autres contrôles peuvent être spécifiquement demandés pour les grands hôpitaux ou à l'opposé, pour des établissements géographiquement isolés, s'il est apprécié que le contexte est propice aux négligences, ou que des négligences pourraient avoir un impact très pénalisant (complexité et durée d'intervention pour les réparer). Il s'agit des missions de contrôle relatives à :

- La vérification du fonctionnement des installations⁶ ;
- L'hygiène et à la santé dans les bâtiments⁷ ;
- Le transport des brancards dans les constructions⁸ ;
- L'accessibilité des constructions pour les personnes handicapées⁹ ;
- L'isolation acoustique, à l'isolation thermique et aux économies d'énergie ;
- La gestion technique des bâtiments ;
- L'environnement de l'établissement vis-à-vis du risque incendie ou explosion ;
- La sécurité sanitaire (exposition à l'amiante, au plomb, à la légionellose...) ;
- La sécurité sur les aires de jeux ;

⁶ **Mission relative au fonctionnement des installations** : Avis relatif au bon fonctionnement des installations. Prévention de l'impossibilité, pour une installation, d'assurer le service demandé dans les conditions de performances imposées par les textes normatifs ou les prescriptions techniques contractuelles.

Domaine d'intervention : En général (à préciser le cas échéant)

- Réseaux d'alimentation en eau, chauffe-eau, assainissement ;
- Conditionnement d'air, ventilation mécanique ;
- Installations électriques intérieures (courants forts) ; ascenseurs, monte-charge, escaliers mécaniques ;

N. B. : Le stockage et les installations de gaz et d'hydrocarbures liquéfiés font l'objet de missions spécifiques.

⁷ **Mission relative à l'hygiène et à la santé dans les bâtiments** : avis sur la capacité de l'ouvrage à satisfaire aux prescriptions réglementaires ou contractuelles, relatives à l'hygiène et à la santé dans les constructions achevées. Elle comporte l'examen des prescriptions d'hygiène relatives :

- à l'éclairage naturel ;
- à l'aération des locaux à pollution non spécifique (ventilation naturelle ou mécanique, ouvrants) ;
- à la distribution d'eau potable (distribution d'eau froide, production et distribution d'eau chaude) ;
- aux équipements sanitaires (existence et implantation) ;
- aux installations d'évacuation des eaux usées (eaux ménagères et eaux vannes) ;
- au stockage et à l'évacuation des ordures ménagères et déchets médicaux (local poubelle, vide-ordures).

⁸ **Mission relative au transport des brancards dans les constructions** : Contrôle de l'application des dispositions réglementaires relatives au transport des brancards dans les bâtiments. La mission porte sur les cheminements (circulations horizontales et verticales). Il s'agit de vérifier dès l'avant-projet que le passage des brancards n'est pas empêché dans les cheminements stratégiques de l'établissement (passage des ports, rotations, etc.).

⁹ **Mission relative à l'accessibilité des constructions pour les personnes handicapées** : Contrôle de l'application des dispositions réglementaires relatives à l'accessibilité des constructions aux personnes handicapées. La notion de handicap est à prendre au sens large (incapacité permanente ou temporaire, visuelle, auditive ou motrice). La mission porte sur les ouvrages et équipement concourant à la satisfaction de ces exigences réglementaires.

- La coordination des missions de contrôle dans le cas où il est fait appel à plusieurs bureaux de contrôle.

Cette liste n'est pas limitative et il peut y être ajoutée toute autre mission complémentaire, dès lors que celle-ci ne relève pas de la conception, de l'exécution ou de l'expertise du bâtiment.

Comme pour la mission de base, le contrôle commence dès l'avant-projet (hypothèses) et se termine à la réception des travaux (réalisation).

1.2.4. Limites de la prestation

Dans sa mission, le contrôleur technique :

- N'examine pas les dispositions relatives aux espaces verts et aux aménagements extérieurs, ni celles concernant les aménagements spécifiques des activités professionnelles exercées dans l'établissement de santé (sauf dispositions contraires du contrat de contrôle technique) ;
- Ne procède pas aux vérifications hors sécurité (mission de base) et hors fonctionnalité (missions complémentaires éventuelles), comme l'implantation, les cotes qui n'ont pas d'incidence sur l'objet de sa mission ou le mètre des ouvrages et équipement soumis au contrôle ;
- Ne prend pas en compte les risques liés aux cas de force majeure, à l'utilisation anormale des ouvrages, à la malveillance, et à la fission ou à la fusion de l'atome ;
- N'est pas tenu de s'assurer de la véracité des constatations conformes contenues dans les fiches techniques, les rapports ou les procès-verbaux (matériaux et matériels) qui lui sont remis sous la responsabilité des fabricants et fournisseurs.

Comme précisé plus haut, l'intervention du contrôleur technique en tant que telle, ne porte ni sur la sécurité et la santé des personnes pendant toute la durée des travaux ni sur la sécurité des matériels utilisés par les entreprises, tels que grues, engins de chantier, échafaudages, ni sur les travaux préparatoires tels que démolitions, terrassements, blindages, coffrages, étalements, levages, manutentions.

1.3. Modalités d'intervention du bureau de contrôle

1.3.1. Référentiel

Le rôle du contrôleur technique est de vérifier la conformité entre un ou, généralement, des référentiels reconnus et l'ouvrage à contrôler. Il consiste à formuler un avis sur la capacité dudit ouvrage à satisfaire les dispositions techniques contenues dans le référentiel. Pour les établissements de santé en Haïti, ce référentiel doit comporter notamment :

- Le Code National du Bâtiment d'Haïti (CNBH) et tout autre document normatif haïtien complémentaire, ou, à titre transitoire, les règles intérimaires tant qu'elles restent en vigueur ;
- Les autres normes et codes internationaux, généralistes ou spécifiques des établissements de santé, acceptés par le MTPTC, voire exigés par les autorités sanitaires en complément des règles générales.

Les précisions relatives au référentiel à utiliser doivent être apportées dans le contrat de contrôle technique, comme dans les contrats des concepteurs et des réalisateurs du projet.

1.3.2. Activités entrant dans la mission de contrôle technique

Pour remplir sa mission, le contrôleur technique doit, d'une part, examiner le projet, puis les ouvrages en cours de réalisation et achevés, et d'autre part, faire connaître par écrit au représentant des autorités sanitaires, à chaque étape du contrôle et « en temps réel », ses avis sur la conformité des ouvrages.

Une non-conformité éventuelle doit être signalée verbalement immédiatement aux constructeurs (maîtrise d'œuvre et entreprises) et par écrit le plus rapidement possible à l'autorité commanditaire. L'efficacité de cette procédure conditionne le délai des modifications nécessaires, sans retard significatif sur la réalisation du futur établissement.

Le contrôleur peut émettre des avis favorables, « suspendus » ou défavorables. Il émet des avis suspendus quand les éléments soumis à son contrôle, n'étant pas de nature à motiver un avis défavorable, sont toutefois trop généraux pour justifier un avis favorable en l'absence de précisions complémentaires. Un avis suspendu ou défavorable doit être levé par fourniture des éléments probants ou par modification des dispositions refusées.

En fin de chantier il ne doit plus subsister que des avis favorables pour tous les éléments soumis au contrôle de conformité (mission de base et missions complémentaires éventuelles).

Ainsi, pour la mission de base, comme pour les éventuelles missions complémentaires qui lui sont confiées, le contrôleur doit procéder à :

- L'examen des dispositions définies dans l'ensemble des plans et autres documents techniques, accompagné des justificatifs tels que procès-verbaux d'essais et certification des produits ;
- La rédaction d'un rapport initial de contrôle technique, relatif au contrôle des documents de conception avant la consultation des entreprises. Ce rapport initial a pour vocation de prévenir les risques techniques avant la réalisation des documents d'exécution qui seront transmis aux entreprises ; il comprend la formulation d'avis techniques sur la capacité des ouvrages projetés à répondre aux exigences précisées dans le cahier des charges du projet et de la mission confiée au contrôleur technique ;
- L'examen sur chantier (à chaque étape de la construction) des ouvrages et éléments d'équipement, soumis au contrôle technique, conformément aux dispositions du projet approuvé ;
- L'examen sur documents et un avis sur chantier pour toute modification apportée au projet en cours de réalisation ;
- Des avis sur la conformité des travaux, pendant tout le chantier¹⁰ ; les avis négatifs doivent impérativement conduire à la réfection de la partie d'ouvrage refusée avant la poursuite des travaux ; pour prévenir les coûteuses démolitions, il peut être exigé que les armatures et les coffrages soient vérifiés avant l'autorisation de bétonnage dans certaines parties d'ouvrage ;
- La rédaction d'un rapport final de contrôle technique, relatif à l'ensemble de la mission ; il rend compte de la mission du contrôleur et signale les avis qui, à sa connaissance, n'ont pas été suivis d'effet. Aucun avis suspendu ou négatif ne doit subsister dans le rapport final. Le représentant des autorités sanitaires doit faire en sorte que soient fournies au plus tôt les informations permettant au contrôleur technique de lever les avis suspendus.

La réalisation d'analyses en laboratoire, d'essais ou d'enquêtes sur matériaux, produits ou procédés, ne relève pas de la mission de contrôle technique. Leurs résultats doivent être communiqués au contrôleur technique qui les prend en compte dans l'exercice de sa mission. Cependant, en cas de besoin, les autorités sanitaires peuvent confier au contrôleur technique, en complément de sa mission, des contrôles en usine sur les ouvrages, parties d'ouvrage ou éléments d'équipement destinés à être incorporés dans la construction. Elle en informe le contrôleur technique de préférence dès la phase de consultation des contrôleurs afin que sa mission soit connue avant son offre. Le contrat de contrôle technique doit spécifier, au besoin par voie d'avenant, ces contrôles complémentaires.

Le rapport initial de contrôle technique du projet réalisé par le maître d'œuvre est adressé au représentant des autorités sanitaires avant consultation des entreprises de construction ;

¹⁰ Les interventions du contrôleur technique sur le chantier s'effectuent par examen visuel à l'occasion de visites ponctuelles réparties sur la durée de réalisation des ouvrages. Elles ne revêtent aucun caractère exhaustif car elles ne se substituent pas à l'autocontrôle.

ceci implique que l'ensemble du dossier de conception destiné à la consultation des entreprises lui soit fourni en temps utile.

Le rapport final est adressé au représentant des autorités sanitaires avant réception des travaux réalisés. Il fait partie des éléments qui lui permettront de prononcer la réception, avec ou sans réserves, ou de la différer en attendant la levée des avis négatifs ou suspendus.

Phases et nature des interventions

Phase 1 : Examen des documents de conception (selon les missions confiées au bureau de contrôle)

- Examen des rapports d'étude des sols ;
- Examen de l'avant-projet sommaire (avis préliminaire), puis définitif ;
- Examen des documents techniques du projet en vue de l'établissement du rapport initial de contrôle technique ;
- Examen des dispositions relatives à la solidité des ouvrages incluant les charges liées aux aléas naturels connus en Haïti (sismiques, cycloniques, géologiques, etc.) ;
- Examen des dispositions contre les risques d'incendie et de risque de panique prévues par la maîtrise d'œuvre en phase esquisse ;
- Participation à des réunions techniques de mise au point ;
- Réalisation du rapport initial de contrôle technique.

Phase 2 : Examen des documents d'exécution (selon les missions confiées au bureau de contrôle)

- Examen des documents finalisés ou modifiés relatifs aux ouvrages soumis au contrôle ;
- Examen des documents relatifs aux éléments d'équipement soumis au contrôle ;
- Participation à des réunions de mise au point technique ;
- Formulation des avis techniques correspondants.

Phase 3 : Examen sur chantier des ouvrages et éléments d'équipement soumis au contrôle (selon les missions confiées au bureau de contrôle)

- Examen des fiches techniques ou attestations formalisant les résultats des vérifications techniques, réglementaires ou non, effectuées par les constructeurs pour les ouvrages et éléments soumis au contrôle ;
- Examen visuel des ouvrages en cours de réalisation et éléments d'équipement soumis au contrôle, à l'occasion de visites de chantier ;
- Participation à tous les rendez-vous de chantier exigibles, en raison de l'enjeu des établissements hospitaliers ;
- Visites complémentaires éventuelles pour vérification des armatures, cales et coffrages avant bétonnage souhaitées ;
- Formulation des avis techniques correspondants.

N. B. : il doit être exigé que les avis positifs, suspendus ou négatifs soient explicités et accompagnés de photos descriptives justifiant ces avis. La transmission numérique de ces avis illustrés au représentant des autorités sanitaires sous des délais très courts (24 à 48 h) doit être exigée. Ce mode de communication permet une réactivité réduisant les éventuels retards. Il est fondamental pour les chantiers situés dans des lieux géographiquement isolés.

Phase 4 : Examens préalables à la réception

- Examen des justificatifs pour la levée des réserves et avis suspendus émis par le contrôleur au cours des travaux ;
- Etablissement du rapport final de contrôle technique avant la réception.

Phase 5 : Avis techniques pendant la période de garantie de parfait achèvement

La période de garantie de parfait achèvement s'étend a priori sur une durée de 12 mois après la réception des travaux. Durant cette période, le représentant des autorités sanitaires peut réclamer aux entreprises la réparation de défauts ou vices cachés à la réception sans supplément de prix. Pour l'exécution de cette phase, le représentant des autorités sanitaires sollicite le contrôleur technique à l'occasion des travaux effectués.

Il procède à l'examen des ouvrages et éléments d'équipement soumis au contrôle, qui font l'objet de travaux effectués pendant la période de garantie de parfait achèvement.

Adaptation des activités constituant la mission de contrôle technique au contexte territorial haïtien

- **Etablissements à construire sur toute l'étendue de la grande agglomération de Port-au-Prince (inclus Carrefour, Pétion-ville et Delmas) et de celle du Cap-Haïtien, et dans les zones urbaines des chefs-lieux départementaux**

Dans le cas des grandes agglomérations et des zones urbaines des chefs-lieux départementaux, tous les établissements, même secondaires au regard des enjeux sanitaires nationaux, publics ou privés, revêtent, en raison de la pression démographique, une importance fondamentale en situation de crise (séisme, cyclone, épidémie, etc.). Il est suggéré que les autorités sanitaires exigent que l'ensemble des procédures de contrôle, telles que décrites dans cette partie du guide, soit réalisé par un bureau de contrôle indépendant.

- **Etablissements à construire dans les zones urbaines des villes secondaires**

Dans le cas des villes secondaires, où la pression démographique est moindre, il est suggéré que les procédures de contrôle soient les mêmes que dans les grandes villes pour tous les établissements dotés d'un ou plusieurs blocs opératoires, et/ou pratiquant les soins intensifs (dialyse ou autres), le traitement des longues maladies, les accouchements et/ou ayant des lits d'hébergement de patients.

Pour les établissements secondaires pratiquant les consultations et soins « courants », construits de plain-pied (type dispensaire), une procédure allégée (du type de celle qui est proposée ci-dessous pour les sections très isolées) peut être envisagée par dérogation, sur autorisation explicite des autorités sanitaires.

- **Petits établissements géographiquement très isolés**

Pour les établissements « de proximité » des sections rurales, éloignées des bourgs des villes secondaires de plus de 10 km¹¹, construits de plain-pied, et pratiquant les consultations et soins « courants » (type dispensaire), une procédure allégée doit être envisagée en raison des difficultés et du coût de déplacement des experts hautement qualifiés. Cette procédure dite allégée ne doit néanmoins pas conduire à des insuffisances de contrôle.

Dans ce cas, s'agissant de petits bâtiments, la nature des travaux n'est pas complexe, et il peut être envisagé une mission de contrôle technique simplifiée portant sur :

- Un avis de conformité aux normes¹², des plans de détail d'exécution du projet (description des fondations, du ferrailage du béton armé, du chaînage des maçonneries, de l'assemblage des éléments de charpente et de couverture, du scellement des portes et volets métalliques assurant la protection des ouvertures, etc.) ;
- Un avis de conformité des ouvrages à ces plans approuvés, dans le cadre de contrôles formels de l'avancement du chantier. Les éléments photographiques

¹¹ Cette distance, proposée en tenant compte de l'état actuel des voies rurales, est laissée à l'appréciation des autorités en fonction de l'évolution de la situation.

¹² Dans le cas de ces petits bâtiments, le calcul peut être remplacé par l'application des dispositions constructives forfaitaires d'un guide agréé par l'Etat haïtien, précisant les exigences du dimensionnement en fonction des volumes à construire.

justifiant les avis de conformité ou les réserves pour non-conformité, devront être fournis sous 24 h, par internet aux autorités sanitaires en charge du suivi de projet, de manière à permettre une contre-expertise à distance et la demande d'informations et photos complémentaires le cas échéant.

Ces deux phases du contrôle peuvent être réalisées par un ingénieur civil de proximité qualifié en construction parasismique et paracyclonique, indépendant du groupe maîtrise d'ouvrage – maîtrise d'œuvre.

Le contrat doit prévoir qu'un ingénieur départemental travaillant pour les autorités sanitaires puisse réaliser un contrôle formel en ayant autorité pour suspendre les travaux pour modification, en cas de faute grave signalée (ou non) par l'ingénieur civil exerçant le contrôle.

1.3.3. Critères de choix du bureau de contrôle

Les capacités du contrôleur technique devront être vérifiées, elles doivent inclure :

- Des compétences pluridisciplinaires permettant d'appréhender les aléas techniques susceptibles d'être rencontrés dans la conception et la réalisation des ouvrages¹³ ;
- Une moralité professionnelle garantissant le sérieux et l'impartialité de ses interventions ;
- L'indépendance vis-à-vis des personnes physiques ou morales exerçant une activité de conception, d'exécution ou d'expertise relative à l'opération considérée.

N. B. : Le bureau de contrôle ne doit avoir aucun lien d'intérêt ou de subordination avec les intervenants¹⁴ sur l'opération objet du contrôle, autres que ses obligations envers le représentant des autorités sanitaires et administratives.

1.3.4. Conditions d'exécution du contrôle

Le contrôle technique doit respecter des règles éthiques strictes. Les conditions suivantes sont proposées afin de garantir son indépendance.

Responsabilité du représentant des autorités sanitaires

Le bureau de contrôle doit être mandaté par les autorités sanitaires, même si sa mission émerge au budget général de l'opération (il est payé par la maîtrise d'ouvrage qui peut être privée).

Il doit être impliqué dès la définition du projet et être embauché au plus tard en même temps que l'équipe de maîtrise d'œuvre, voire avant même la sélection de la dite équipe en cas de concours, afin qu'il puisse fournir un avis préliminaire sur les projets en compétition.

Pendant l'exécution des ouvrages, le contrôleur technique effectuera un certain nombre de visites inopinées. Les autorités sanitaires doivent stipuler dans le cahier des charges les visites minimum qu'il impose au contrôleur technique (présence aux réunions de chantier ou non, aux réunions techniques, etc.). La présence systématique aux réunions d'avancement (respect des délais, modification des agendas) n'est pas nécessaire.

Afin de permettre au contrôleur technique de remplir sa mission, le représentant des autorités sanitaires doit s'engager à prendre, ou faire prendre (notamment par le maître d'ouvrage privé, le maître d'œuvre et les réalisateurs), les mesures nécessaires pour :

- lui indiquer l'usage précis auquel il destine les ouvrages soumis au contrôle ainsi que les sujétions particulières inhérentes à cet usage, afin que les hypothèses et propositions soient vérifiées correctement (ex : hypothèses de charges d'utilisation ou liées à la nature et aux caractéristiques des matériaux, matériels ou produits objet de l'exploitation) ;

¹³ Ce niveau de compétence dépend étroitement de l'ampleur et de la complexité du projet.

¹⁴ Bailleurs de fonds autre que l'Etat (ONG, investisseur, etc.), maître d'œuvre (architecte, ingénieur, dessinateur, technicien, etc.), constructeur (entreprise, contremaître, fournisseur, etc.)

- lui fournir, en tenant compte des délais nécessaires à ses opérations, tous plans, renseignements (dont copie du permis de construire et de la déclaration d'ouverture de chantier), justificatifs (tels que certificats et procès-verbaux d'essais) et documents techniques utiles à l'accomplissement de sa mission, ainsi que toute pièce modificative ;
- lui fournir la preuve des qualités des matériaux et éléments de construction ou celle de leur conformité aux règles qui leur sont applicables, soit par un marquage, soit par un certificat, soit par tout autre moyen admis par les autorités compétentes ;
- lui fournir tous plans, renseignements, justificatifs, constats officiels d'état des lieux, concernant les ouvrages existants ou avoisinants, quand sa mission porte sur ces ouvrages ;
- lui donner accès au chantier, le prévenir en temps utile des dates de commencement des travaux de chaque corps d'état et des phases essentielles de leur exécution ;
- lui communiquer, si une intervention lui est demandée pendant la période de parfait achèvement, le procès-verbal de réception des travaux et les plans de récolement ;
- lui signaler tout incident ou circonstance susceptible d'avoir une incidence sur l'exercice de sa mission ;
- informer dès l'origine, tous les intervenants à la construction (les maîtres d'œuvre, entreprises, bureaux d'études, etc.) des dispositions qui les concernent dans le contrat de contrôle technique ;
- lever tout empêchement ou écarter toute difficulté qui ferait obstacle à la bonne exécution des missions retenues ;
- permettre aux équipes du contrôleur technique d'intervenir sur le chantier dans des conditions normales de sécurité.

Il appartient au représentant des autorités sanitaires de s'assurer que les avis qu'il a reçus du bureau de contrôle sont transmis aux constructeurs (maître d'ouvrage privé, maîtrise d'œuvre et réalisateurs), qu'ils sont suivis d'effet, et de prendre, ou de faire prendre, les mesures nécessaires pour la suppression des déficiences signalées.

Responsabilité du bureau de contrôle technique

Comme les autres intervenants sur le projet, le contrôleur technique doit être dûment assuré pour cette activité. Sa responsabilité sur les parties d'ouvrages qu'il doit contrôler est engagée aux côtés de celle des constructeurs (sauf avis suspendu ou négatif non levé). S'il est étranger, son assurance doit explicitement couvrir son activité en Haïti, le cas échéant par un contrat complémentaire ponctuel pour le chantier visé.

Si le contrôleur technique n'a pas reçu les documents qu'il estime nécessaires à son intervention, il est tenu de le signaler immédiatement au représentant des autorités sanitaires. Il ne peut se prévaloir d'un manque d'information a posteriori.

La mission du contrôleur technique peut le conduire à s'assurer que la qualité des produits utilisés dans la construction est appropriée au projet ; dans ce but, il doit notamment signaler au représentant des autorités sanitaires les essais qu'il estime nécessaires en complément des affirmations et fiches techniques fournies par le fabricant ou le fournisseur.

Sur chantier, l'examen des ouvrages et éléments d'équipement est effectué sur les parties visibles et accessibles au moment de l'intervention du contrôleur technique, qui ne procède à aucun démontage ou sondage destructif (exceptions possibles en cas de diagnostic). Il peut donc exiger de contrôler certaines parties d'ouvrages avant qu'elles soient inaccessibles (armatures avant bétonnage par exemple). L'entrepreneur doit alors lui indiquer suffisamment tôt la date de contrôle si ce n'est pas celle des visites de chantier contractuelles.

Les avis rédigés au fur et à mesure, sur l'exécution des travaux sont signés ou contresignés par le responsable du contrôle de l'opération, personne physique désignée à cet effet. Par conséquent, dès la notification du marché, le bureau de contrôle doit désigner le responsable technique qualifié pour signer, au cours de l'exécution du marché, les avis prévus aux actes

techniques. Le changement de responsable technique qualifié devra être notifié immédiatement au représentant des autorités sanitaires.

La responsabilité du contrôleur technique est celle d'un prestataire de service assujéti à une obligation de moyens. Elle ne peut être recherchée pour une mauvaise conception ou exécution d'ouvrages dont les documents ne lui ont pas été transmis¹⁵, ou d'ouvrages utilisés en fonction de destinations qui ne lui ont pas été signalées. La responsabilité du contrôleur technique s'apprécie dans les limites de la mission qui lui est confiée par le représentant des autorités sanitaires.

1.3.5. Durée des responsabilités

La mission du contrôleur technique s'achève à la remise du rapport final, qui intervient au plus tard à l'expiration du délai de la garantie de parfait achèvement, si elle est prévue au contrat.

Le contrôleur technique n'est pas tenu de conserver les pièces techniques et documents qui lui sont communiqués par les constructeurs à l'occasion de l'exécution du contrat. Ces pièces doivent être conservées par la maîtrise d'œuvre et par la maîtrise d'ouvrage.

Néanmoins, le contrôleur technique doit conserver les correspondances, rapports de contrôle et, d'une manière générale, les documents qu'il a établis pendant la durée des garanties légales sur la construction. Il reste responsable de ses avis favorables pendant cette durée.

Un délai de garantie de 10 ans après réception des travaux doit être retenu pour le gros-œuvre, la toiture et les éléments fixes du second-œuvre (cloisons, réseaux électriques et canalisations). Des délais plus courts peuvent être retenus pour les éléments mobiles (menuiseries, sanitaires, etc.) ou des équipements (appareils médicaux, ou autres).

Les délais de garantie sur les ouvrages et équipements¹⁶, devront être explicitement couverts par les contrats d'assurance de chacun des prestataires, qui doivent fournir la copie de ces contrats¹⁷ et l'attestation de versement des primes couvrant le projet et son chantier, aux autorités sanitaires en charge du suivi du projet, pour vérification.

¹⁵ Il s'agit d'informations dissimulées ou d'ouvrages ne correspondant pas aux documents qu'on lui a transmis sans que ce soit visible, puisqu'il est tenu de demander les descriptifs et notes de calcul nécessaires à sa mission. La non-fourniture des documents explicitement demandés entraînant un avis suspendu.

¹⁶ Soit qu'ils correspondent à des exigences nationales, soit qu'ils soient exigés de tous les prestataires, de façon contractuelle, dès la définition des termes de référence du projet en amont de la signature des contrats.

¹⁷ Via la maîtrise d'œuvre, sauf pour le bureau de contrôle qui la transmettra directement aux autorités sanitaires en charge du suivi du projet.

2. VÉRIFICATIONS FORMELLES EXIGIBLES SUR CHANTIER

2.1. Préambule

Le soin apporté à la qualité d'exécution de la construction est aussi important pour le résultat final, que la pertinence de la conception et la rigueur du calcul de dimensionnement.

En effet, en zone sismique, après le calcul de structure certains choix de réalisation faits par une personne non compétente peuvent avoir pour conséquence de fausser les hypothèses de calcul et de modifier les « mécanismes » prévus par les concepteurs techniques du bâtiment.

Par exemple : un bâtiment calculé pour un contreventement parasismique par portiques est doté d'armatures positionnées et dimensionnées de manière à reprendre les efforts de flexion et de cisaillement dans les éléments déformés pendant un séisme. Ces armatures assurent la ductilité requise en complément de la résistance. Mais si certains portiques sont localement ou totalement bloqués par des murs maçonnerie sans précautions appropriées, des efforts imprévus apparaissent localement dans les poteaux, voire les poutres, et le potentiel de ductilité de la structure est anéanti. (N. B. : Certaines règles parasismiques préconisent de limiter le coefficient de comportement à 1,5 dans un tel cas de figure. Si l'erreur est commise après un calcul avec un coefficient plus élevé, le bâtiment manquera de résistance).

En outre, la mise en œuvre elle-même doit respecter scrupuleusement les plans d'exécution. C'est pourquoi le chantier doit être suivi par le concepteur du projet et par un contrôleur technique indépendant compétent, qui devra vérifier que l'exécution correspond bien aux hypothèses de calcul et aux plans faits par l'ingénieur structure.

La deuxième « sous-partie » de cette partie 3 consacrée au contrôle technique, ne traite que des erreurs de mise en œuvre que l'on rencontre trop fréquemment sur les chantiers et qui ont des conséquences graves lors d'un tremblement de terre ou d'un cyclone.

Le but de ces chapitres n'est pas de proposer une liste exhaustive des vérifications formelles à réaliser sur chantier, mais d'attirer l'attention sur les conséquences de négligences inacceptables.

Les exigences techniques elles-mêmes, objets des première et deuxième parties du guide, et découlant de l'application normale des règles en vigueur, ne sont pas ou peu rappelées ici.

Les sujets abordés dans ce chapitre sont le béton armé (fondations et gros œuvre), la maçonnerie, la charpente en bois, la charpente métallique, la menuiserie, la couverture et les réseaux fixes. C'est-à-dire les ouvrages sur lesquels il est impossible d'intervenir a posteriori sans destruction.

2.2. Fondations superficielles

2.2.1. Introduction

La vérification des conditions de mise en place des fondations superficielles est trop souvent négligée sur le chantier. Lorsqu'il s'agit de fondations profondes pour lesquelles interviennent des entreprises spécialisées, les intervenants sont plus qualifiés et les obligations d'exécution sont davantage respectées.

Les erreurs de mise en œuvre peuvent conduire à de vraies catastrophes, et les réparations afférentes peuvent s'avérer très coûteuses et complexes.

Les erreurs les plus fréquentes sont mentionnées ci-après.

2.2.2. Présence d'argile gonflante non décapée sous la fondation

L'argile gonflante a pour caractéristique de se rétracter ou de gonfler au gré des saisons sèches ou humides et d'exercer ainsi des pressions/décompressions sur les fondations provoquant leur fissuration ainsi que celle du bâtiment.

Lorsque les formations de sol en place sont argileuses, une expertise s'avère impérative pour détecter s'il s'agit d'argiles gonflantes. Il peut alors s'avérer nécessaire de procéder au décapage des couches de sol concernées jusque sous le niveau prévu pour l'assise des fondations.

Un contrôle formel du fond de fouilles doit être réalisé avant d'autoriser la mise en place du béton de propreté

2.2.3. Absence de traitement de sol contre les termites

Haïti, comme l'ensemble de la Caraïbe est concerné par la présence de termites. Les termites « de sol » sont les plus redoutables. Alors que les traitements du bois utilisés pour la construction sont assez généralement requis, les traitements « anti-termites » du sol sont souvent négligés, ce qui facilite la progression des termites du sol vers les bois de construction, de menuiserie et décoratifs.

Dès la phase projet, le choix du type de protection doit être explicite et soumis à l'avis du contrôleur technique.



Figure 1 : Exemple de barrière physico-chimique : film imprégné de répulsif en fond de fouille. (Source ANCO)

Le contrôle formel de la réalisation du traitement anti-termites du sol, prévu au projet, doit être réalisé avant la mise en œuvre des fondations

2.2.4. Fondations non descendues au bon sol

Par insuffisance de sondages, ou par négligence de l'entreprise chargée de l'exécution, les semelles sont parfois réalisées sur une couche de sol superficielle manquant de résistance. Des tassements peuvent survenir dans les mois qui suivent leur mise en charge, et en cas de tremblement de terre ou de modification de la nappe phréatique (pluies cycloniques), la fondation risque de descendre brutalement de plusieurs centimètres. Les tassements de sol ainsi provoqués peuvent entraîner des dommages très graves au bâtiment.

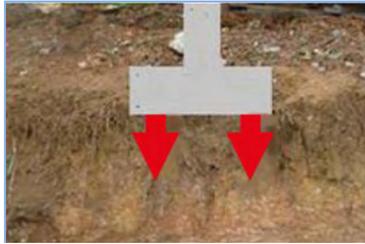


Figure 2 : Coupe sur sol montrant deux couches de natures différentes, et schéma théorique de position incorrecte d'une semelle, dont la charge (flèches rouges) s'applique sur un sol de résistance insuffisante. (Source ANCO)

Suite aux études de sol, le projet précise la profondeur de la sous-face des fondations. Cette profondeur doit être respectée.

Il doit être vérifié de façon formelle que la profondeur de la fouille est au minimum celle qui a été prescrite par l'ingénieur, et en outre que le fond de fouille est bien descendu de 30 cm minimum (+ béton de propreté) dans la couche de sol résistant

2.2.5. Mise en œuvre de fondations superficielles sur des sols de consistances différentes

Sur les terrains en pente il est fréquent de réaliser un terrassement en déblai-remblai, de façon à créer une plateforme horizontale sur laquelle on implante des fondations superficielles. Si c'est le cas, il faut veiller à ce que l'ensemble du système de fondations soit assis sur un sol homogène et de résistance appropriée, et en aucun cas sur du remblai¹⁸.

Dans le cas où la fondation repose (partiellement ou non) sur du remblai, le sol risque de tasser de façon plus importante dans la zone moins résistante, notamment en cas de séisme, et d'entraîner la fondation vers le bas sur plusieurs centimètres, provoquant des désordres pouvant entraîner des dommages très graves au bâtiment.



Figure 3 : Exemple de plateforme en déblai-remblai et schéma des déformations liées à un tassement différentiel. (Source ANCO)

Il faut vérifier de façon formelle que l'ensemble du système de fondations est ancré dans le bon sol. Si nécessaire, faire modifier le projet par l'ingénieur, s'il faut avoir plusieurs niveaux de fondations

2.2.6. Proximité d'un bord de talus sans soutènement

Il arrive que les fondations d'un bâtiment soient situées à proximité d'un talus naturel, ou pire d'un talus de terrassement, sans que ce talus soit contenu par un mur de soutènement approprié. Les poussées du bâtiment, considérablement augmentées pendant un séisme, peuvent déstabiliser le talus et provoquer la ruine du bâtiment, voire des dommages sur les ouvrages situés en bas du talus.

¹⁸ La construction sur remblai obéit à des règles strictes de confinement du remblai (soutènement) et de compactage normalisé.



Figure 4 : Représentation schématique des poussées de fondations dans un talus. (Source ANCO)

Avant d'autoriser les travaux d'implantation d'un bâtiment à proximité d'un talus il faut vérifier de façon formelle que les prescriptions de soutènement du bureau d'études de sols et de l'ingénieur structure ont été réalisées

2.2.7. Enrobages insuffisants des aciers d'armature

Les aciers des fondations sont souvent mal calés ou dans une zone de béton de mauvaise qualité ou encore posés directement sur la terre, sans la mise en place du béton de propreté obligatoire. Avec le temps, l'acier directement exposé à l'humidité et aux sels contenus dans le sol, sera corrodé, provoquant l'éclatement du béton. La fondation sera moins résistante que prévue lors de l'application des surcharges sismiques, ce qui peut générer des dommages qui auraient pu être évités.

Les conditions garantissant un enrobage de 5 cm minimum des aciers dans les fondations (béton de propreté, cales dans les coffrages) doivent être formellement vérifiées avant d'autoriser le bétonnage

2.2.8. Fondations isolées non liaisonnées par des longrines

Un système de fondation sur semelles isolées non liaisonné par un réseau bidirectionnel de longrines n'est acceptable en zone sismique que dans deux cas précis¹⁹. En absence de longrines, les fondations peuvent subir des déplacements non homogènes entraînant des dommages inacceptables dans la fondation, et par conséquent dans le bâtiment.

Les plans d'ingénieur structure, validés par un contrôleur technique compétent en construction parasismique peuvent imposer ou non la présence de longrines.

Un contrôle formel de la conformité aux plans des armatures de fondations sur semelles isolées, incluant en général des longrines, doit être réalisé avant d'autoriser le bétonnage

2.2.9. Mise en œuvre de fondations à des profondeurs différentes sans précautions

Lorsque des fondations sont réalisées à des niveaux différents, impérativement dans une même couche de bon sol, un système de liaison approprié (longrines, voile en béton armé) doit être mis en place. Les rapports hauteur / distance entre semelles obéissent également à des règles.

¹⁹ 1) Fondation dans un rocher de bonne qualité ; 2) Sous-face des chaînages du premier plancher à moins d'un mètre vingt de la sous-face des semelles.



Figure 5 : En zone sismique, il est interdit d'implanter des semelles de fondation à des niveaux différents sans liaison appropriée à la différence de hauteur. (Source ANCO)



Figure 6 : Le rapport h/l doit être au maximum de 2 pour 3 dans les sols raides (rochers et assimilés) et de 1 pour 3 dans les autres sols. (Source ANCO)

Les plans d'ingénieur structure, validés par un contrôleur technique compétent en construction parasismique précisent toutes les exigences issues des règles pour la sécurité.

Un contrôle formel de la conformité aux plans, des niveaux d'implantation des semelles, et des armatures appropriées, doit être réalisé avant d'autoriser le bétonnage

2.2.10. Fondations en redans sans gros béton

Lorsque les fondations en redans ne sont pas mises en œuvre sur le nécessaire « gros béton », des efforts importants sont transmis au niveau de la fondation la plus basse, ce qui peut s'accompagner d'efforts latéraux importants sur ces fondations basses pendant les secousses sismiques, et de désordres dans le bâtiment.

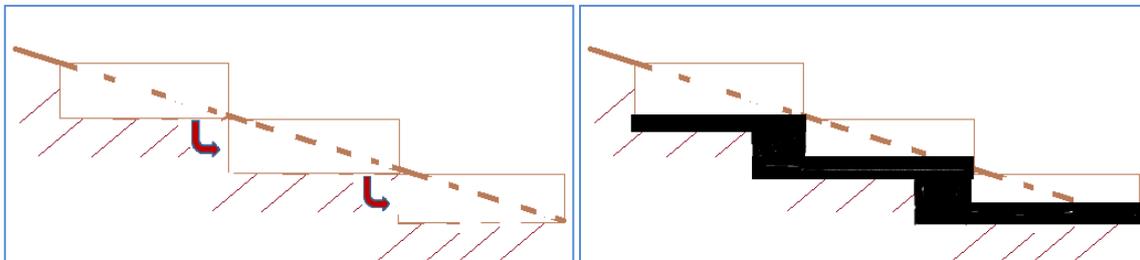


Figure 7 : Transmission schématique des efforts entre les fondations « à redans ». A gauche sans gros béton, à droite avec gros béton. (Source ANCO)

Un contrôle formel de la conformité aux descriptifs du gros béton (en épaisseur et en qualité) doit être réalisé avant d'autoriser la réalisation des fondations elles-mêmes

2.2.11. Erreurs de mise en place des aciers : fondations « travaillant à l'envers »

Les segments de semelles filantes ou de radiers non chargés situés entre deux parties chargées, travaillent « à l'envers » (charges appliquées vers le haut). Il faut veiller à ce que les armatures nécessaires en partie haute pour reprendre ces efforts (qui seront accrus pendant un séisme) ne soient pas oubliées. Sinon la rupture de la fondation peut survenir, impliquant éventuellement des dommages structuraux.

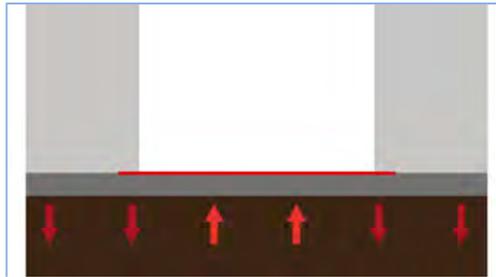


Figure 8 : Représentation schématique de l'inversion des efforts sur un tronçon de semelle filante non chargé entre deux murs. (Source ANCO)

Les plans d'ingénieur structure, validés par un contrôleur technique compétent en construction parasismique positionnent et dimensionnent ces armatures complémentaires.

Un contrôle formel de la conformité aux plans, de l'implantation et de la nature des armatures complémentaires appropriées, doit être réalisé avant d'autoriser le bétonnage

2.2.12. « Bèches » et raidisseurs sous radier non coulés « en pleine fouille »

Il arrive que les bèches et raidisseurs sous radiers soient coffrés pour économiser le béton, et qu'après décoffrage on vienne remplir le vide avec des remblais. Ce remblai, même soigné, étant compactable, la butée (stabilisation horizontale du radier) n'est alors pas assurée pendant un séisme. Or, le déplacement du radier, même modéré peut générer des désordres inacceptables.



Figure 9 : Exemple de butée de radier coffrée. Après décoffrage les vides latéraux seront remplis de remblai n'ayant pas suffisamment de résistance horizontale pendant un séisme. (Source ANCO)

Il faut vérifier de façon formelle que les armatures des bèches et raidisseurs sous radiers soient mises en place dans la fouille sur béton de propreté, sans coffrage, la largeur de fouille étant calculée en respectant les règles d'enrobage avec une marge de sécurité prenant en compte l'instabilité de la fouille pendant le bétonnage

2.2.13. Armatures principales des radiers positionnées en partie basse

Les armatures principales des radiers doivent être positionnées en partie haute de la dalle de béton. Or, par négligence ou par recherche d'économie, on omet parfois la mise en place des chevalets²⁰ dont la fonction est de prévenir l'affaissement de ces armatures sous le poids des ouvriers qui se déplacent dessus pendant la mise en œuvre.

Les armatures étant ainsi mal positionnées, le radier a tendance à se soulever et à fissurer, ce qui génère des dommages dans la structure.

La présence de chevalets de hauteur appropriée, pas trop espacés pour prévenir les déformations de la nappe d'armatures du radier doit être vérifiée de façon formelle

²⁰ Cales permettant de maintenir la nappe d'armatures du radier au bon niveau jusqu'au bétonnage.

2.3. Joints parasismiques

Il est rappelé que les joints de dilatation ordinaires sont prohibés en zone sismique pour prévenir l'entrechoquement des blocs de construction. Ils doivent être remplacés par des joints parasismiques dont la largeur est calculée par l'ingénieur au cas par cas. Ces joints doivent être vides de tout matériau « résistant » (gravats, bois, et même polystyrène) pouvant transmettre une partie des efforts sismiques



Figure 10 : A gauche, la largeur d'un joint de dilatation parasismique doit être calculée, et respecter un minimum de 6 cm. (Source ANCO)

Figure 11 : A droite, il a été prouvé que le polystyrène transmet une partie des efforts sismiques, ce qui, outre l'entrechoquement, modifie la raideur effective des blocs, faussant les hypothèses de calcul. (Source ANCO)

La largeur de chaque joint doit impérativement être vérifiée sur chantier et ne jamais être inférieure à la dimension prescrite après calcul des déformations des structures

Au fur et à mesure de la montée des structures de part et d'autre du joint, il faut vérifier qu'ils restent vides, et les protéger (par exemple par des planches) en attendant la mise en place de couvre-joints définitifs

2.4. Béton armé de structure

2.4.1. Le béton et les armatures

Trop de négligences sont commises, par manque de surveillance des chantiers, sur la qualité des matériaux.

Le contrôle formel de la qualité des matériaux livrés sur le chantier doit être réalisé
Des prélèvements doivent être réalisés de façon systématique (grands chantiers) ou aléatoire (petits chantiers) pour vérification en laboratoire

2.4.2. Murs de soutènement

2.4.2.1. Armatures mal positionnées par absence de cales appropriées

Les armatures des murs de soutènement doivent être parfaitement positionnées à l'aide de chevalets côté terre. L'enrobage doit être de 5 cm minimum.

Dans le cas des murs de soutènement intégrés à la structure, les armatures doivent être positionnées du côté intérieur (face opposée à la face contre terre) et maintenues de manière à ce que le coulage du béton ne les déplace pas.



Figure 12 : Les aciers des murs de soutènement sont souvent mal positionnés en particulier les aciers travaillant en traction côté terre. (Source ANCO)

Un contrôle formel de la conformité aux plans, de l'implantation et de la nature des armatures appropriées, et de la présence de chevalets doit être réalisé avant d'autoriser le bétonnage

2.4.2.2. Défaut de positionnement des aciers au niveau des ruptures de pente

Au niveau des ruptures de pente (angles d'axe horizontal dans le plan du mur), l'absence d'aciers s'opposant aux poussées au vide peut entraîner la rupture du mur de soutènement sous l'effet des surcharges apportées par le mouvement sismique. Il faut veiller à leur mise en place correcte et effective sur le chantier.



Figure 13 : Les nappes d'acier simplement pliées pour marquer l'angle vont avoir tendance à se redresser (poussée au vide) et entraîner l'éclatement du béton. (Source ANCO)

les aciers vont avoir tendance sous effort de traction à se remettre à l'horizontale et à provoquer une poussée au vide

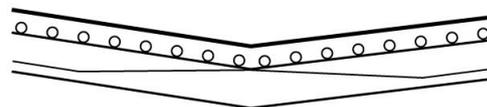


Figure 14 : Aux ruptures de pente, il faut croiser les aciers pour s'opposer à la poussée au vide. (Source ANCO)

Les plans d'ingénierie structure, validés par un contrôleur technique compétent en construction parasismique positionnent et dimensionnent ces armatures complémentaires.

Un contrôle formel de la conformité aux plans, de l'implantation et de la nature des armatures complémentaires appropriées, doit être réalisé avant d'autoriser le bétonnage

2.4.2.3. Semelles non descendues au bon sol

Les murs de soutènement courants, considérés comme des ouvrages annexes, sont parfois réalisés avec moins de rigueur que les bâtiments. Leurs fondations ne sont pas toujours descendues au bon sol ce qui peut les déstabiliser pendant un séisme, ou sous l'effet de pluies abondantes.

Les vérifications de fond de fouille et de fondation (voir plus haut) sont les mêmes que pour les bâtiments

2.4.2.4. Barbacanes bouchées ou inexistantes



Figure 15 : Barbacanes dans un mur de soutènement. (Source ANCO)

Les barbicanes drainent les eaux arrivant derrière les murs de soutènement. Si elles sont mal positionnées (il faut deux niveaux au moins, dont un en partie basse) ou bouchées, elles fonctionneront mal et l'eau s'accumulera alors derrière le mur, augmentant les poussées. Des pluies cycloniques abondantes ou un séisme peuvent alors déclencher la rupture du mur.

Le bureau d'études de sol doit fournir les indications relatives au fonctionnement approprié des barbicanes en fonction du contexte hydrogéologique
L'existence de ces prescriptions et la propreté de mise en œuvre sur chantier seront vérifiées de façon formelle

2.4.3. Béton armé (défauts généraux)

2.4.3.1. Recouvrement insuffisant des barres longitudinales

Les recouvrements d'aciers longitudinaux (qui garantissent la transmission des efforts) sont souvent très insuffisants sur chantier. La longueur des recouvrements obéit à des règles strictes en fonction de leur positionnement. Il faut faire respecter les prescriptions des plans d'exécution. Cela commence par la vérification soignée des longueurs des barres d'acier nécessaires avant de les couper.



Figure 16 : A gauche, les attentes des chaînages verticaux sont trop courtes et ne permettront pas un recouvrement garantissant la continuité de la transmission des efforts en situation sismique. (Source ANCO)

Figure 17 : A droite, on observe, à la base d'un poteau, le recouvrement de l'attente de l'étage inférieur par les armatures de l'étage en cours. Dans ce cas, 75 fois le diamètre des barres, soit 1,5 m de recouvrement pour des barres de 20 mm de diamètre. On observe aussi la qualité des ligatures qui empêcheront tout déplacement des cadres pendant le bétonnage. Chantier exemplaire à Pétiion-ville en 2011. (Cliché Balandier)

Un contrôle formel des longueurs de recouvrement des armatures longitudinales doit être réalisé avant d'autoriser ce bétonnage

En cas de coupe trop courte des attentes, rajouter des segments de barres garantissant le recouvrement suffisant sur chacune des barres à assembler

2.4.3.2. Les cadres ne sont pas fermés

Trop d'entrepreneurs et de professionnels du bâtiment ignorent encore qu'en zone sismique les aciers des cadres (poteaux, poutres, chaînages, etc.) doivent être rentrés de 10 diamètres au minimum à l'intérieur du volume de béton, et non simplement repliés parallèlement aux côtés, pour prévenir leur ouverture en cas d'endommagement de l'enrobage.



Figure 18 : A gauche, cadres incorrectement fermés. (Source ANCO). A droite, mise en œuvre correcte : chantier exemplaire à Pétiion-ville en 2011. (cliché Balandier)

Un contrôle formel de la fermeture correcte des cadres doit être réalisé avant d'autoriser le bétonnage

2.4.3.3. Attentes pliées (crosses et « coups de griffe »)

Les armatures longitudinales qui travaillent en traction (poutres, poteaux et chaînages), doivent impérativement être rectilignes d'étage en étage. Si elles présentent un angle, lors d'un effort en traction elles risquent d'endommager le béton en se dépliant.

L'usage du fil à plomb pour le positionnement des coffrages, et de cales pour le positionnement des aciers dans le coffrage est impératif pour éviter d'avoir à décaler les armatures par un « coup de griffe » (baïonnette) pour les repositionner d'un étage à l'autre.



Figure 19 : Lors des efforts sismiques de traction, les aciers vont se remettre à la verticale avant d'assurer la résistance. (Source ANCO)

Un contrôle formel des verticalités et horizontalités des armatures longitudinales, et de la présence de cales garantissant leur stabilité dans le coffrage pendant le bétonnage doit être réalisé avant d'autoriser ce bétonnage

2.4.3.4. Destructurations du béton armé a posteriori pour imprévision

Lorsqu'un mur en béton armé est endommagé pour faire passer des réseaux, la perte de résistance est inacceptable dans les cas suivants :

- Percement des murs par défaut de réservations

Afin de faire passer les canalisations, les ouvriers sont souvent amenés à réaliser des percements dans les voiles de contreventement, car les réservations ont été oubliées. Cet affaiblissement est inacceptable.



Figure 20 : Il est interdit de réaliser des percements a posteriori dans les voiles de contreventement. (Source ANCO)

Il faut impérativement vérifier avec l'architecte les réservations nécessaires, et préparer leur renforcement avant de coffrer le futur mur

Mieux vaut une réservation inutilisée, mais bien réalisée qu'un percement « sauvage »

- Saignées horizontales ou en biais

Les ouvriers chargés d'installer les gaines et canalisations arrivent souvent alors que le gros œuvre est terminé et que les réservations n'ont pas été prévues. Ils n'hésitent pas à réaliser des saignées horizontales ou en biais dans les voiles de béton armé. Cet affaiblissement des murs, de contreventement ou non, est inacceptable et totalement interdit.

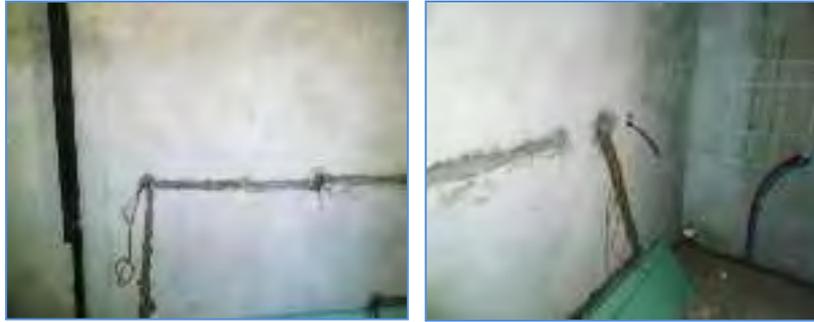


Figure 21 : Ce type d'affaiblissement des murs en béton armé est interdit en zone sismique. (Source ANCO)

- Saignées verticales

Dans les voiles de contreventement, les saignées verticales sont également interdites.

Seules sont autorisées dans les voiles non de contreventement des saignées verticales de 1,2 m maximum en partant du sol et 0,5 m en partant du plafond.



Figure 22 : Saignée verticale de pleine hauteur, à proximité d'un chaînage d'ouverture, interdite. (Source ANCO)

Toute saignée a posteriori dans un mur doit être autorisée et tracée par une personne compétente (ingénieur, architecte connaissant les règles de construction parasismique)

2.4.3.5. Reprise de bétonnage

Il est interdit de faire des reprises de bétonnage dans le mur. Celles-ci doivent être réalisées sur des chaînages horizontaux.



Figure 23 : Les reprises de bétonnage réalisées n'importe où et en particulier en diagonale, sont des amorces de fissures. (Source ANCO)

Le calendrier prévisionnel de bétonnage doit être fourni au contrôleur chaque semaine
Il ne faut pas commencer à bétonner si les circonstances (horaire, intempéries, etc.) laissent penser que la partie d'ouvrage ne sera pas terminée dans la journée

2.4.1. Destruction du béton armé pour travaux imprévus

A priori aucune gaine ni fourreau ne doit être placé dans un coffrage et le positionnement des percements en attente obéit à des règles strictes (hors des zones d'efforts importants, par exemple sur la fibre neutre d'une poutre).

Les ouvriers n'hésitent malheureusement pas, pour faire passer des gaines, à couper ou tordre des aciers après avoir cassé le béton, ce qui occasionne une perte de résistance inacceptable.



Figure 24 : A gauche : Endommagement volontaire d'une poutre inacceptable... et irréparable. (Source ANCO)

Figure 25 : A droite : Lorsqu'il y a des poutres croisées les ouvriers sont amenés à réaliser une saignée dans la poutre qui, si les poutres sont de même hauteur, peut devenir une réservation sur toute la hauteur de la poutre provoquant une faiblesse inacceptable au milieu de la poutre. (Source ANCO)



Figure 26 : Cette trémie improvisée supprime les aciers et le béton permettant la transmission des efforts de la dalle aux éléments de contreventement. (Source ANCO)

Il est totalement interdit de casser un ouvrage de béton armé contribuant à la résistance de la structure

Les percements a posteriori peuvent être autorisés après avis écrit du maître d'œuvre et du contrôleur

Cet avis précise l'emplacement et la dimension en fonction de l'implantation des armatures et des efforts possibles dans l'élément. S'il y a lieu, il précise les renforcements à réaliser impérativement

2.4.2. Portiques en béton armé

2.4.2.1. Ferrailage inapproprié des portiques en béton armé

Le respect des seules règles générales de béton armé est dangereux en zone sismique, où des exigences complémentaires très complexes sont requises.

Le positionnement des cadres dans les zones critiques des portiques (zones d'assemblage entre les poteaux et les poutres) obéit à des règles strictes, déterminées à l'issue du calcul de dimensionnement. En aucun cas une structure en portiques ne doit être envisagée sans

ingénieur compétent, et les ouvriers doivent être correctement encadrés par une personne apte à comprendre les plans et vérifier leur exécution stricte.

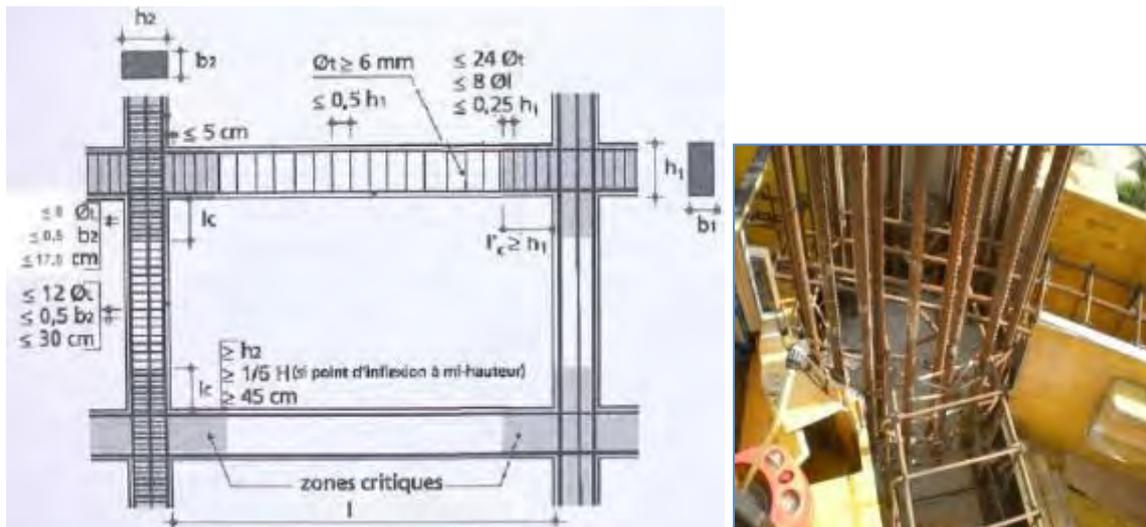


Figure 27 : A gauche : Exemple de schéma pédagogique explicitant les principes de mise en œuvre des portiques parasismiques, une fois leur résistance calculée (d'après Milan Zacek).

Figure 28 : A droite : Trop souvent on « arrête » les cadres du poteau dans les zones de liaison avec les poutres, alors que ce sont les zones les plus sollicitées. (Source ANCO)

Les plans d'ingénieur structure, validés par un contrôleur technique compétent en construction parasismique positionnent et dimensionnent les armatures des poteaux et des poutres.

Un contrôle formel de la conformité aux plans, notamment du recouvrement des armatures longitudinales, et de l'implantation et de la nature des cadres, doit être réalisé avant d'autoriser le bétonnage

2.4.2.2. Premier cadre de poutre situé trop loin des appuis

Lors de la mise en œuvre du ferrailage les ouvriers ont tendance à positionner le premier cadre des poutres trop loin du poteau. Un maximum de 50 mm est toléré car c'est à cet endroit que l'on a le maximum d'effort tranchant.

Un contrôle formel du positionnement du premier cadre de chaque extrémité des poutres doit être réalisé avant d'autoriser le bétonnage

2.4.2.3. Défaut de calage des barres longitudinales dans le coffrage (tous types d'ouvrages)

Les aciers qui ne sont correctement calés dans les coffrages sont incorrectement enrobés et mal tendus. Cela provoque leur corrosion, l'éclatement du béton et un manque de résistance en traction.

En Haïti, une mauvaise pratique consiste à caler les aciers avec des roches ou des bouts de parpaing. Ces éléments pour la plupart poreux favorisent la venue d'oxygène qui va corroder les aciers. A défaut de cales normalisées en plastique, les cales en béton doivent être fabriquées avec un béton de qualité.



Figure 29 : Des cales d'épaisseur contrôlée doivent être mises en place avant positionnement vertical des coffrages de ce mur. (Source ANCO)

Un contrôle formel du calage des armatures doit être réalisé avant d'autoriser le coffrage

2.4.1. Voiles béton

2.4.1.1. Absence de liaison entre les treillis et les chaînages

Il faut vérifier la présence de liaisons par des U entre les nappes d'armatures des voiles en béton armé et leurs chaînages.

Si ce renforcement n'est pas réalisé, les efforts de cisaillement sont incorrectement transmis et des fissures verticales de cisaillement apparaissent dans les murs pendant un séisme.



Figure 30 : Il faut mettre en œuvre des U entre le chaînage d'angle et les aciers des voiles de façon à éviter les éclatements d'angle. (Source ANCO)

Il faut vérifier de façon formelle l'assemblage des treillis avec les chaînages avant d'autoriser le coffrage des murs

2.4.2. Les dalles

2.4.2.1. Insuffisance d'aciers sur appui

Les armatures des dalles sont parfois insuffisamment appuyées sur les voiles et poutres, ce qui réduit la raideur de l'assemblage de la dalle à ses supports. Les longueurs d'appui dépendent du calcul avec un minimum de 70 mm.

Le scellement après coup des aciers des attentes pour l'ancrage des dalles doit être évité.



Figure 31 : Ces attentes scellées après coup par percement du béton ne sont pas correctement ancrées, les aciers ne seront pas en mesure de travailler correctement en traction. (Source ANCO)

Il faut vérifier de façon formelle la conformité aux plans des assemblages des dalles avec les chaînages des murs avant d'autoriser le bétonnage

2.4.2.2. Défaut de continuité des chaînages horizontaux aux angles

L'assemblage des chaînages horizontaux aux angles obéit à des exigences strictes qui garantissent la protection contre les poussées au vide, et l'assemblage avec le chaînage vertical ou le poteau d'angle.

Ces dispositions doivent figurer de façon explicite sur les plans d'exécution et être contrôlées sur chantier avant coulage du béton.

Il faut vérifier de façon formelle la conformité aux plans des armatures de recouvrement aux angles des murs avant d'autoriser le bétonnage

2.4.2.3. Aciers des dalles en porte à faux (consoles) mal positionnés

Dans les parties en porte à faux des dalles, les aciers doivent être situés en partie haute. En zone sismique, il faut également des armatures en position basse. Or, très souvent, après bétonnage les aciers sont mal positionnés suite à un mauvais calage sur le coffrage.

Il faut vérifier de façon formelle la conformité aux plans des armatures des dalles en porte-à-faux avant d'autoriser le bétonnage

2.4.2.4. Présence de faisceaux de canalisations trop important

Les canalisations mises en œuvre dans les dalles ne doivent pas être trop rapprochées, sinon ces canalisations créent des « poches de vide » qui constituent des zones de faiblesse dans le béton.



Figure 32 : Une répartition plus judicieuse des canalisations aurait permis de couler le béton sans perte de résistance en compression. (Source ANCO)

Il faut vérifier de façon formelle le positionnement des fourreaux et tuyaux sur la dalle, qui ne doivent pas causer de zone faible, avant d'autoriser le bétonnage

2.4.2.5. Reprise de bétonnage inappropriée, notamment « en portée »

Souvent les ouvriers sont obligés d'arrêter le coulage pour des faits de chantier mal coordonné dans le temps (plus de béton, fin de journée de travail, etc.). Le bétonnage reprendra le lendemain ou plus tard, ce qui va créer une reprise de bétonnage sur un béton déjà tiré, donc une zone de rupture.

Les reprises de bétonnage ne doivent pas se faire n'importe où, notamment dans la portée d'une dalle. Si on ne peut les éviter, les reprises de bétonnage des dalles doivent être réalisées sur l'appui ou au tiers de la portée.



Figure 33 : Arrêt du bétonnage correct sur un mur porteur. (Source ANCO)

Un agenda de ferrailage – bétonnage réaliste doit être établi et respecté, éventuellement mis à jour, pour garantir que les parties d'ouvrage soient coulées sans interruption, la gestion des ouvriers doit en tenir compte

2.5. Murs en maçonnerie chaînée

Avec la diffusion du guide haïtien pour la réalisation des petits bâtiments en zone sismique, l'absence de chaînages ou la réalisation de chaînages inappropriés devrait disparaître progressivement en Haïti.

Aucun bloc à maçonner non vibré ou contenant des graviers non conforme ne doit être toléré dans les murs porteurs et de contreventement.

Rappelons qu'en l'absence de blocs de béton de résistance contrôlée, cette technique de construction est prohibée pour la réalisation d'établissements hospitaliers, sauf petits locaux de plain-pied n'hébergeant pas d'activité vitale.



Figure 34 : Le domaine d'application de ce guide de maçonnerie chaînée pour Haïti est limité aux petits bâtiments à un étage maximum. (Source MTPTC)

Les constructions en maçonnerie chaînée nécessitent impérativement un contrôle pas à pas de la conformité des réseaux de chaînage et de la qualité des blocs à maçonner

2.6. Charpente métallique

2.6.1. Préambule

Bien que la réalisation de structures hospitalières en charpente métallique soit peu probable en Haïti à la date de rédaction de ce guide, la réalisation de toitures en charpente métallique est pour sa part fréquente.

Ce sous-chapitre résume quelques recommandations pour leur mise en œuvre. Rappelons que les conditions de raideur des toitures dans leurs plans, et de résistance aux vents cycloniques doivent faire l'objet de vérifications par le calcul et de prescriptions très détaillées par un ingénieur compétent.

2.6.2. Traitement anticorrosion

Il faut vérifier que le fournisseur atteste par écrit que le traitement anticorrosion des pièces à assembler est conforme aux exigences légales du code de construction.

Dans tous les cas, il doit être procédé au peinturage des pièces métalliques d'assemblage situées à l'extérieur par une peinture riche en zinc type EPOXY ZINC (3 couches).

2.6.3. Ancrage de la charpente métallique dans le béton

L'ancrage des éléments de charpente dans le béton doit être parfaitement réalisé en respectant les prescriptions de l'ingénieur qui a vérifié les hypothèses d'efforts de vent et de séisme.



Figure 35 : Les ancrages des charpentes obéissent à des règles strictes pour résister à l'arrachement par endommagement du béton. (Source ANCO)

2.6.4. Choix des boulons

La résistance, la ductilité et la section maximum des boulons sont strictement réglementées en zone sismique. En région sismique il ne faut pas s'aviser de réduire le nombre de boulons sous prétexte d'en mettre de plus résistants. La protection anticorrosion par galvanisation prescrite sera également strictement respectée.



Figure 36 : Assemblage boulonné de portiques avec goussets. (Source ANCO)

2.6.5. Prévention des efforts parasites

Toute modification des fixations sera vérifiée par l'ingénieur auteur du projet initial. En effet, la mise en place d'éléments additionnels peut provoquer des efforts déportés (à vérifier).

2.6.6. Soudure et percements sur chantier

Les soudures et percements sur chantier sont rarement réalisés en respectant les protocoles de protection des traitements anticorrosion par galvanisation.

Les soudures sur chantier sont à éviter. Elles ne devront être acceptées qu'exceptionnellement par des soudeurs qualifiés et être protégées après réalisation par des peinture à base de résine.

Pour les petits chantiers, le boulonnage est préférable, mais les percements doivent être préparés en usine avant galvanisation. Si des percements doivent néanmoins être faits sur chantier, la partie dégarnie devra être protégée contre la corrosion par un procédé approprié prescrit par l'ingénieur structure en fonction de l'exposition à l'humidité et aux embruns.



Figure 37 : Corrosion en cours de développement au départ d'une soudure mal réalisée. (Source ANCO)

2.6.7. Défaut de serrage des boulons

Le serrage contrôlé des boulons doit être réalisé selon les prescriptions de l'ingénieur. Ils doivent tous être vérifiés après mise en œuvre : oublis éventuels, jeu né de déformations de la structure en chantier, etc.).



Figure 38 : Le serrage d'un boulon mis en place peut être oublié. Les vérifications doivent être faites avec méthode. (Source ANCO)

2.6.8. Protection contre la limaille de fer

Pendant le chantier, de la limaille de fer peut tomber sur les éléments de charpente métallique. La corrosion de cette limaille qui reste en place peut se propager aux éléments sains. Il faut enlever soigneusement la limaille de fer rejetée par les opérations de perçage et découpage divers.



Figure 39 : Corrosion de limaille sur un profilé horizontal mal nettoyé et non protégé. (Source ANCO)

2.7. Charpente bois

2.7.1. Préambule

Bien que la réalisation de structures hospitalières en charpente bois soit prohibée par ce guide en raison du risque d'incendie, la réalisation de toitures en charpente bois est, elle, vraisemblable.

Ce sous-chapitre résume quelques vérifications pour la mise en œuvre. Rappelons que les conditions de raideur des toitures dans leurs plans, et de résistance aux vents cycloniques doivent faire l'objet de vérifications par le calcul et de prescriptions très détaillées par un ingénieur compétent.

En outre la construction de petits bungalows pour des activités non essentielles en situation d'urgence peut être envisagée. On se référera à des guides de construction en bois pour les zones sismiques et cycloniques en milieu tropical humide.

2.7.2. Ancrage de la charpente en bois dans le béton armé

Les ancrages des charpentes dans le béton doivent être parfaitement réalisés en respectant les prescriptions de l'ingénieur qui a vérifié les hypothèses d'efforts de vent et de séisme.



Figure 40 : Fixation de fermettes en bois par équerres multicloüées sur le bois et ancrées dans le béton. (Source ANCO)

2.7.3. Choix des boulons et des clous

La résistance, la ductilité et la section maximum des boulons et des clous sont strictement règlementées en zone sismique. Pour une résistance recherchée, l'ingénieur prescrira plus de boulons (ou de clous) de section limitée qu'en région non sismique. Il ne faut pas s'aviser de réduire le nombre de boulons en en mettant de plus résistants.

La protection anticorrosion par galvanisation prescrite sera également strictement respectée, elle peut être plus exigeante en bord de mer qu'en altitude.

2.7.4. Interdiction d'utiliser des assemblages et fixations bois-bois travaillant à l'arrachement

Les fixations entre deux pièces de bois doivent toujours travailler au cisaillement. En effet, les clous et les vis n'ont aucune résistance à l'arrachement et les tirefonds et boulons ne peuvent être employés que pour de faibles valeurs (l'assemblage céderait par endommagement du bois). L'utilisation de plaques métalliques percées appropriées permet d'orienter les clous pour les faire travailler au cisaillement.

Aussi on veillera scrupuleusement au respect des assemblages prescrits par l'ingénieur et on ne les modifiera qu'avec son accord.



Figure 41 : Les liteaux de couverture doivent être fixés pour résister aux efforts d'arrachement. (Source ANCO)

2.8. Couverture des charpentes en toiture

2.8.1. Fixation des tôles de couverture

Les fixations par clous sont interdites. Il faut utiliser des tirefonds.

Leur espacement (réduit à proximité des faîtières, arêtières et rives) est prescrit par le fabricant en fonction du type de tôle et de la zone cyclonique (résistance à l'arrachement, étanchéité des percements).

Les bandes faîtières, les solins et autres accessoires de finition sont extrêmement sollicités à l'arrachement et leur fixation doit respecter scrupuleusement les exigences du fabricant pour la zone cyclonique.

2.8.2. Recouvrement des tôles

Le recouvrement des tôles entre elles est conditionné par la pente et la pluviométrie cyclonique. La longueur de recouvrement dans le sens de la pente est donnée par le fabricant en fonction de ces éléments.

Le recouvrement transversal doit être « sous le vent » dominant pour réduire les infiltrations en situation courante, bien qu'en situation cyclonique l'orientation du vent et de la pluie dépende de la localisation de l'œil du cyclone par rapport au bâtiment.



Figure 42 : Recouvrement transversal « sous le vent dominant ». (Source ANCO)

2.9. Étanchéité des toitures terrasse

Seules les étanchéités posées en adhérence sont admises en zone de pluies cycloniques (pas d'étanchéités posées en indépendance).

La préparation des fonds sera scrupuleusement vérifiée avant la pose.

2.10. Scellement des cadres des menuiseries extérieures

Les menuiseries sont directement exposées aux pressions des vents cycloniques.

Le scellement de leurs cadres dans les chaînages des ouvertures doit être efficace.

On retiendra qu'il faut prévoir une fixation chevillée tous les 600 mm maximum sur chaque côté, et que le diamètre de la tige filetée sera de 40 mm minimum.

Les volets roulants ne doivent être utilisés que s'ils sont renforcés (le fournisseur doit adapter le renforcement à la surface) et les rails de guidage doivent être suffisamment profonds.

2.11. Electricité

Outre les vérifications courantes :

Afin d'éviter toute tentation de fraude, toutes les alimentations électriques sans exception doivent être vérifiées (tension, terre).

Il doit être vérifié depuis le tableau général (ou les tableaux de secteurs) que le nombre de points alimentés depuis chaque coupe-circuit est conforme à la réglementation.

2.12. Plomberie

Outre les vérifications courantes :

La conformité des pentes d'évacuation et de leurs sections doit faire l'objet d'un contrôle formel afin de prévenir les problèmes ultérieurs.

4^{ème} PARTIE : EVALUATION ET ENTRETIEN DES CONSTRUCTIONS EXISTANTES EN VUE DE LA REDUCTION DE LEUR VULNERABILITE

La quatrième partie du Guide pour la construction des établissements de santé en Haïti propose des recommandations pour la gestion et l'entretien des constructions existantes, anciennes ou récentes, ainsi que des éléments pour l'approche du diagnostic de vulnérabilité.

Elle est divisée en deux sous-parties :

- *Eléments des termes de référence pour la maintenance des bâtiments existants ;*
- *Eléments des termes de référence des diagnostics de vulnérabilité des constructions anciennes.*

Préambule

Dans la Caraïbe, le climat tropical humide est à l'origine d'un vieillissement prématuré des constructions dont la maintenance n'est pas correctement assurée.

La dégradation accélérée des peintures contribue à la dégradation des matériaux qu'elle devrait protéger. Les arrivées d'eau non détectées et traitées contribuent à la perte de résistance des matériaux. La corrosion des matériaux à partir d'un « point » mal protégé se propage rapidement. Un peu de jeu sur des fixations favorise l'arrachement en situation sismique ou cyclonique. Des ruissellements mal maîtrisés peuvent modifier les conditions de fondation, etc.

Ainsi, un bâtiment répondant aux exigences parasismiques et paracycloniques peut se trouver très affaibli après une vingtaine d'années, alors que sa résistance doit être assurée pour toute sa durée d'usage.

Le guide propose une approche des inspections périodiques qu'il convient de réaliser pour déceler les dommages avant que leurs conséquences prennent de l'ampleur. Cette approche implique que l'établissement de santé assigne des tâches et des échéances précises à son personnel technique.

Cette discipline d'entretien est impérative sur les constructions récentes et conformes aux règles de sécurité. Elle est également souhaitable pour les bâtiments anciens qui ne doivent pas voir leur précarité s'aggraver.

Pour les constructions, plus ou moins anciennes, réalisées « hors normes », l'évaluation de la vulnérabilité aux aléas naturels (sismique et cyclonique) et anthropique (épidémies, industriels) est une tâche multiforme impliquant pour certains aspects le seul « bon sens », mais aussi une expertise de haut niveau pour les aspects structurels.

S'agissant des bâtiments de santé, un niveau supérieur d'exigences et une haute technicité des équipements ajoutent à la complexité de l'expertise.

La vocation de la seconde « sous-partie » de cette quatrième partie du *Guide pour la Construction d'Hôpitaux Résistants aux Aléas Naturels*, est de sensibiliser les utilisateurs aux exigences du « diagnostic » des constructions, et de les orienter dans leur démarche.

Contenu de la 4^{ème} partie

4 ^{ème} partie : Evaluation et entretien des constructions existantes en vue de la réduction de leur vulnérabilité	191
1. Eléments des termes de référence pour la maintenance des bâtiments existants	195
1.1. Contexte	195
1.2. Système d'entretien proposé	195
1.3. Planification des activités d'entretien	196
1.4. Vérification du clos et du couvert	196
1.4.1. Généralités	196
1.4.2. Toiture	196
1.4.3. Portes et fenêtres	197
1.4.4. Zones extérieures	197
1.5. Organisation de l'entretien « courant » et du personnel nécessaire	197
1.5.1. Hypothèses de base	197
1.5.2. Planification des activités	198
1.6. Check-lists pour les opérations d'entretien	198
1.7. Formulaire de rapport mensuel	198
2. Eléments des diagnostics de vulnérabilité des constructions anciennes	203
2.1. Contexte	203
2.2. Approche probabiliste et analyse de la vulnérabilité aux séismes et aux cyclones	203
2.2.1. Approche probabiliste	203
2.2.2. Analyse spécifique d'un bâtiment dans son contexte	204
2.3. Les quatre niveaux d'analyse d'un établissement de santé dans son contexte	205
2.3.1. Evaluation du site d'implantation de l'établissement de santé	205
2.3.2. Evaluation de la solidité structurelle	205
2.3.3. Evaluation des éléments non-structuraux et des équipements	205
2.3.4. Evaluation de la capacité opérationnelle	206
2.4. Evaluation de la vulnérabilité structurelle	206
2.4.1. Préambule	206
2.4.2. Analyse de l'histoire du bâtiment	206
2.4.3. Analyse de la structure du bâtiment	207
2.4.4. Interaction des éléments non-structuraux avec la structure	209
2.4.5. Proximité des bâtiments (risque de percussioin, effet Venturi, incendies, etc.)	209
2.4.6. Vérification des fondations	209
2.4.7. Analyses post-sismiques ou post-cycloniques	209
2.5. Evaluation de la vulnérabilité des éléments non structuraux et des équipements	210

1. ÉLÉMENTS DES TERMES DE RÉFÉRENCE POUR LA MAINTENANCE DES BÂTIMENTS EXISTANTS

1.1. Contexte

L'état physique de nombreux anciens hôpitaux des Caraïbes est souvent vétuste. Le budget et le personnel dédiés à l'entretien y sont généralement insuffisants. Pour les hôpitaux publics le budget d'entretien annuel est évalué à environ 4% du coût de la construction et de l'équipement.

L'entretien d'un hôpital n'est pas une opération ponctuelle mais une activité quotidienne et permanente de l'institution, qui doit être considérée comme un élément essentiel des conditions contribuant aux prestations des soins.

Un bon système d'entretien doit être mis en place comme un véritable système de contrôle de la vulnérabilité de la construction. En effet, l'examen des dommages causés par les pluies torrentielles, les tremblements de terre et les ouragans a montré que certains dégâts avaient été favorisés par un manque d'entretien.

De plus, un système d'entretien et de maintenance bien géré est la façon la plus économique de garder les bâtiments et équipements dans de bonnes conditions d'utilisation. Les réparations, ou pire, les conséquences des négligences ayant un impact économique plus coûteux à terme.

L'intégration d'un plan d'entretien est donc une partie essentielle des plans d'atténuation des risques liés aux aléas naturels.

Un effort majeur doit être entrepris pour instaurer un entretien de routine régulier des installations

1.2. Système d'entretien proposé

L'entretien des bâtiments et la maintenance des installations ont pour objectif de donner à l'établissement de santé la capacité de :

- Fonctionner en toutes circonstances ;
- Fonctionner sans perte de rendement durant toute la durée de vie du bâtiment et des installations ;
- Si les précautions initiales ont été prises, résister aux effets causés par des événements naturels extrêmes tels que les ouragans, les pluies torrentielles et les tremblements de terre sans dommages pour ses occupants et avec un minimum de réparations ou de réadaptation nécessaires après l'événement (à condition que la conception et la construction aient été prévues dans ce sens).

Toutes les activités d'entretien doivent être réalisées de manière systématique et non simplement de façon réactive. Reconnaître que l'entretien n'est pas nécessairement une réparation est primordial. La réparation est trop souvent considérée comme l'objectif principal du système d'entretien, alors que la prévention des réparations en est le véritable enjeu.

La correction soignée des débuts de dégradations, l'huilage régulier des charnières des portes et des manivelles des fenêtres ou le peinturage programmé des éléments en fonction de leur exposition (extérieure ou intérieure) sont nécessaires pour prévenir un dysfonctionnement du matériel ou le vieillissement prématuré.

Il est par conséquent recommandé que les autorités imposent aux établissements de santé de mettre en place de véritables procédures d'entretien et de maintenance. Ces procédures devront intégrer :

- Une structure organisationnelle où les fonctions et responsabilités de chacun sont clairement définies ;
- Un manuel de référence des opérations et procédures d'entretien des bâtiments et des équipements adapté à l'établissement ;
- Un système d'information pour la gestion du budget, des stocks, des inventaires de l'équipement, des besoins en personnel, etc. ;
- Un plan d'entretien préventif des équipements ;
- Un plan de l'entretien des bâtiments, y compris toits, murs, électricité, conduites d'eau ;
- Un plan de formation continue sur l'entretien de l'établissement pour le personnel concerné.

N. B. : Les recommandations suivantes intègrent les bases du travail d'Alwyn T. Wason.

1.3. Planification des activités d'entretien

La planification des activités d'entretien doit être mise en place par l'administrateur de l'hôpital.

Cette planification inclut l'adoption d'un budget annuel dédié et d'une liste détaillée des zones, espaces, matériaux et équipements qui devront être entretenus ainsi que des problèmes spécifiques à corriger. Cette liste, préparée sur une base annuelle, doit permettre de porter une attention particulière aux problèmes endémiques de chaque établissement.

L'imprévision budgétaire, une organisation défaillante, un manque de personnel et des procédures d'entretien médiocres peuvent compromettre, en quelques années, toutes les autres mesures d'atténuation des risques aux aléas naturels.

La déclaration des travaux effectués, suite aux inspections ou non, est également un élément essentiel du système d'entretien. L'historique de chaque bâtiment doit être conservé.

On trouvera dans ce qui suit une liste indicative de conseils de base. La vérification du clos et du couvert, qui est fondamentale en zone cyclonique, est rappelée avant les procédures d'entretien courant.

1.4. Vérification du clos et du couvert

1.4.1. Généralités

Un bâtiment bien conçu et bien entretenu est résistant aux aléas naturels.

Concernant les ouragans en particulier, l'expérience montre que la sécurisation du clos et du couvert (portes, fenêtres, toiture) doit permettre le fonctionnement de l'établissement pendant et immédiatement après de tels événements. Il s'agit spécifiquement de l'examen de la toiture, des portes et fenêtres et des zones extérieures, sauf pour les constructions en bois qui nécessitent des expertises plus approfondies de la résistance de leurs façades aux pressions du vent.

N.B. : La résistance aux séismes fait appel à des expertises plus complexes (voir seconde sous-partie).

1.4.2. Toiture

- Remplacer tous les éléments de charpente et supports de couverture en bois contaminés pour prévenir la propagation des xylophages à l'ensemble de la charpente ;
- Traiter (attaques mineures) ou remplacer tous les éléments de charpente et supports de couverture en acier rouillés pour prévenir la propagation de l'oxydation et l'affaiblissement de la toiture ;

- Remplacer toute tôle présentant des traces de rouille ;
- S'assurer que les fixations (charpente et tôles) sont efficaces. Elles doivent être modifiées le cas échéant pour respecter les exigences des fixations neuves pour ne pas être arrachées par un vent extrême ;
- S'assurer que les tôles faitières, les arêtières les solins et autres éléments d'étanchéité sont solidement fixés à la charpente au travers des tôles de la toiture et que le vent ne peut les soulever.

N.B. : Par ailleurs, un diagnostic de vulnérabilité globale du bâtiment pourrait conclure que la charpente doit être renforcée ou modifiée.

1.4.3. Portes et fenêtres

- Vérifier la fermeture hermétique des portes et fenêtres ;
- Vérifier que les manivelles des fenêtres à persiennes sont toutes fonctionnelles ;
- Remplacer toutes les vitres brisées ou fêlées, même si elles sont restées en place.

N.B. : En complément, programmer la mise en place de volets résistants aux chocs de projectiles sur les portes et fenêtres qui n'en sont pas dotées. Si le financement implique une programmation sur plusieurs années, une stratégie de priorités doit être évaluée en fonction des locaux.

1.4.4. Zones extérieures

- Vérifier que le système de drainage des eaux pluviales est approprié aux situations cycloniques afin de prévenir la montée des eaux sur le site (exploitation des informations suite aux catastrophes récentes). Eventuellement le recalibrer jusqu'aux collecteurs appropriés. Maintenir le calibre du système de drainage en le nettoyant régulièrement ;
- Vérifier la présence d'éléments dangereux à proximité des bâtiments. Les fixer en fonction de la résistance requise ou les supprimer. Elaguer les arbres avant chaque « saison cyclonique ».

N.B. : Les établissements ou bâtiments situés en zone inondable (hors problèmes locaux de drainage) doivent faire l'objet de procédures particulières de mise en sécurité, voire de relocalisation.

1.5. Organisation de l'entretien « courant » et du personnel nécessaire

1.5.1. Hypothèses de base

Le directeur de l'établissement est responsable du bon fonctionnement de son établissement. Cela inclut les aspects généraux, terrain, bâtiments, équipement, personnel. Il est également responsable des dépenses autorisées et engagées.

L'administrateur de l'établissement est responsable de l'entretien des bâtiments et des installations. Il informe le directeur sur leur état, il évalue les besoins financiers et leur programmation.

L'administrateur rédige des rapports mensuels détaillant les travaux effectués, les dépenses engagées ou à engager, le personnel disponible ou à mobiliser, les problèmes à traiter au cours de l'exercice et ceux nécessitant un examen supplémentaire ou l'intervention d'un expert extérieur à l'établissement.

Les gros travaux de réparation ou de rénovation doivent être autorisés par le directeur et l'administrateur en fonction des ressources financières, l'entretien quotidien et les réparations mineures peuvent être effectués sans autorisation spécifique.

Les estimations budgétaires pour un entretien efficace doivent reposer sur un examen détaillé des bâtiments et des installations et l'établissement de devis.

Les travaux complexes sont sous-traités par des entreprises spécialisées.

1.5.2. Planification des activités

L'inspection générale des bâtiments et des installations est effectuée au moins annuellement (préférentiellement au mois d'août pour permettre la préparation du budget).

En outre, les inspections des fenêtres, portes, toitures, environnants et fossés de drainage doivent être réalisées en avril et les réparations exécutées avant la saison cyclonique.

Une inspection générale doit en outre être entreprise après chaque séisme ou tempête, même si ces aléas sont mineurs.

N.B. : Les rapports des inspections techniques doivent être soumis pour avis aux représentants des utilisateurs qui pourraient y apporter des compléments (personnel soignant et administratif, voire à un échantillon de patients).

1.6. Check-lists pour les opérations d'entretien

Les trois check-lists jointes à ce chapitre (pages suivantes) sont un aide-mémoire pour l'examen détaillé courant du bâtiment et de ses installations. Cette base peut être révisée et adaptée par l'administrateur et le directeur en fonction des spécificités de l'établissement.

Ces listes valorisent « au même niveau » la nécessité d'accorder une attention appropriée à toutes les parties des bâtiments et des équipements, et à toutes les actions de maintenance, depuis le simple nettoyage des parois et équipements, jusqu'aux travaux d'entretien et de réparations.

Elle ne traite pas de la production et du transport de l'électricité hors site, du service de télécommunication, ni de l'approvisionnement en eau hors site, l'entretien de ces filières étant effectué par les organismes compétents. Toutefois, leur fiabilité ne pouvant être garantie sans interruption, le groupe électrogène et les systèmes d'eau additionnels (réservoirs et pompes) doivent être entretenus par l'hôpital.

Le personnel d'entretien doit être correctement formé aux procédures d'examen des bâtiments et des installations.

Les trois tableaux synthétiques relatifs aux vérifications systématiques présentés ci-après concernent :

- L'intérieur du bâtiment (chaque bâtiment) ;
- L'extérieur du bâtiment (chaque bâtiment) ;
- L'enceinte de l'établissement.

N.B. : Ces listes concernent les bâtiments et équipements immobiliers. Les appareils médicaux ainsi que les meubles doivent également faire l'objet d'entretien, vérifications et remplacements conformément aux instructions du fabricant.

1.7. Formulaire de rapport mensuel

Un modèle de formulaire est également proposé après les trois tableaux, pour la notification des travaux effectués. L'administrateur peut l'adapter en tenant compte des spécificités de son établissement.

Il est constaté, cependant, qu'un formulaire **simple** a plus de chances d'être dûment rempli mensuellement qu'un formulaire long et complexe.

Le but principal d'un formulaire est de constituer et de conserver un historique de la maintenance et des réparations entreprises.

VERIFICATIONS A L'INTERIEUR DES BATIMENTS

Action	Fréquence	Opérateur
Structure et toitures		
Inspecter les murs et planchers et signaler les remontées d'humidité, fissures et autres signes de vieillissement pour expertise et traitement appropriés	Année	P. Maintenance
Inspecter les murs et planchers et signaler tout dommage même mineur pour expertise et traitement appropriés	Post-catastrophe	P. Maintenance
Inspecter la sous-toiture et signaler les pertes d'étanchéité et autres signes de vieillissement pour expertise et traitement appropriés	Année	P. Maintenance
Inspecter la sous-toiture et signaler tout dommage même mineur pour expertise et traitement appropriés	Post-catastrophe	P. Maintenance
Locaux courants		
Signaler toute dégradation visible pour expertise et traitement appropriés	Jour	P. Nettoyage/P. Maintenance
Balayer et laver les sols	Jour	P. Nettoyage
Vérifier l'état des sols pour remplacement ou réparation éventuels	Année	P. Maintenance
Lessiver les peintures (murs, portes et fenêtres)	Mois	P. Nettoyage
Inspecter, nettoyer la rouille des éléments métalliques, appliquer une couche primaire puis de la peinture	Année	P. Maintenance
Poncer, colmater les enduits et peindre les murs, portes et fenêtres	2/3 ans	P. Maintenance
Poncer, colmater les enduits et peindre les plafonds	4/5 ans	P. Maintenance
Vérifier toutes portes, poignées et serrures pour remplacement ou réparation éventuels	Année	P. Maintenance
Exigences complémentaires : Locaux sanitaires, espaces de soins, laboratoires		
Signaler toute dégradation visible pour expertise et traitement appropriés	Immédiatement	P. Nettoyage/P. Maintenance
Commander les pièces de rechange et réparer	Immédiatement	Administrateur/Directeur
Laver appareils, paillasses et locaux avec un désinfectant médical	Jour	P. Nettoyage
Vérifier soigneusement carrelages et faïences, inclus les joints	Mois	P. Maintenance
Poncer et peindre (murs, portes et fenêtres)	1-2 ans	P. Maintenance
Suivre les procédures spécifiques d'hygiène supplémentaires	Selon protocole	Selon protocole
Plomberie		
Signaler toute dégradation visible pour expertise et traitement appropriés	Jour	P. Nettoyage
Réparer ou remplacer les pièces défectueuses	Immédiatement	Administrateur
Systemes de communication interne et externe		
Vérifier l'ensemble des appareils et réseaux	3 mois	Administrateur
Électricité, matériels électriques		
Signaler toute dégradation visible pour expertise et traitement appropriés.	Immédiatement	P. Maintenance
Inspecter systématiquement tous les éclairages, les prises, interrupteurs	Année	Année

VERIFICATIONS A L'EXTERIEUR DES BATIMENTS

Action	Fréquence	Opérateur
Façades		
Inspecter les murs et signaler les remontées d'humidité, fissures et autres signes de vieillissement pour expertise et traitement appropriés	Année	P. Maintenance
Inspecter les murs et signaler tout dommage même mineur pour expertise et traitement appropriés	Post-catastrophe	P. Maintenance
Poncer, colmater les enduits et peindre	Selon constats	P. Maintenance
Bois		
Inspecter tous les panneaux, les persiennes, les balustrades : rechercher soigneusement la présence d'insectes, de pourriture, et l'endommagement des peintures et lasures	Année	P. Maintenance
Remplacer toutes les lamelles de bois des persiennes brisées	Jour	Administrateur
Remplacer tous les autres éléments endommagés	3 mois	Administrateur
Inspecter, et peindre si nécessaire	Année	P. Maintenance
Fenêtres, portes, volets et grilles		
Signaler toute dégradation visible pour expertise et traitement appropriés	Immédiatement	P. Nettoyage/P. Maintenance
Laver les fenêtres et les vérifier	Semaine	P. Nettoyage
Remplacer les vitres cassées	Immédiatement	P. Maintenance
Graisser les gonds, manivelles, poignées et autres	Année	P. Maintenance
Vérifier grilles et volets	3 mois	P. Maintenance
Nettoyer la rouille des éléments métalliques, appliquer une couche primaire puis de la peinture	Année	P. Maintenance
Poncer et peindre	2-3 ans	P. Maintenance
Toiture et gouttières		
Inspecter et signaler les problèmes	Année	P. Nettoyage
Déboucher les gouttières dès l'apparition d'un débordement	immédiatement	P. Maintenance
Réparer et remplacer les tôles et les gouttières si besoin	Année	Administrateur

VERIFICATIONS DANS L'ENCEINTE DE L'ETABLISSEMENT

Action	Fréquence	Opérateur
Jardinage		
Nettoyer les platebandes/ Pelouse	Semaine	Jardinier/ P. Maintenance
Tailler les plantes et les haies	Mois	Jardinier/ P. Maintenance
Elaguer les arbres	Année	Jardinier/ P. Maintenance
Clôture, mur d'enceinte		
Signaler toute dégradation visible pour expertise et traitement appropriés	Immédiatement	P. Nettoyage/P. Maintenance
Assurer une inspection soignée	3 mois	P. Maintenance
Allées et terrasses		
Balayer	Jour	P. Nettoyage
Signaler trous et dommages divers	Jour	P. Nettoyage
Inspection et réparations générales	3 mois	P. Maintenance
Caniveaux, buses, drainages		
Nettoyer les parties accessibles	Semaine	P. Nettoyage
Inspecter et signaler les problèmes des parties moins accessibles	Mois	P. Nettoyage
Déboucher et réparer les dommages suite aux intempéries	immédiatement	P. Maintenance
Curer pour un nettoyage total (conservation du calibre)	Année	Administrateur
Conduites d'eau		
Inspecter et signaler les problèmes	3 mois	P. Maintenance
Réparer les fuites	Immédiatement	Administrateur
Fosse septique		
Inspecter et signaler les problèmes	Année (août)	P. Maintenance
Vidanger et rincer	4 ans	P. Maintenance
Réparer	Immédiatement	Administrateur
Erosion à proximité des structures		
Inspecter et signaler les problèmes après de fortes pluies	Jour et au besoin	P. Maintenance
Réparer la zone érodée	Immédiatement	Administrateur
Poubelles et incinérateurs		
Evacuer les ordures pour traitement	Jour	P. Nettoyage
Vérifier l'échappement des gaz de combustion	Jour	P. Maintenance
Inspecter le matériel de protection pour les operateurs	Jour	P. Maintenance
Eliminer les cendres	Jour	P. Nettoyage
Nettoyer l'incinérateur	Jour	P. Nettoyage
Latrines		
Nettoyer les latrines	jour	P. Nettoyage
Approvisionner en savon, papier hygiénique	jour	P. Nettoyage
Remplir les réservoirs d'eau	jour	P. Maintenance
Inspecter soigneusement	semaine	P. Maintenance

RAPPORT MENSUEL D'ENTRETIEN

MOIS de20.....

Localisation	Travail effectué	Cout du matériel	Cout de la main d'œuvre	Responsable et Remarques
Menuiserie				
Maçonnerie				
Electricité				
Plomberie				
Peinture				
Autres				

2. ELÉMENTS DES DIAGNOSTICS DE VULNÉRABILITÉ DES CONSTRUCTIONS ANCIENNES

2.1. Contexte

Ce chapitre expose les grands principes méthodologiques de l'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments existants, des points de vue sismique et cyclonique.

Les organisations scientifiques et techniques du bâtiment éditent régulièrement des guides pratiques auxquels on se référera en cas de besoin. Toutefois, il faut signaler avec insistance que le diagnostic sismique est affaire de spécialistes, sauf à déclarer par prudence que tout bâtiment ancien est susceptible de s'effondrer.

Dans le cas des nouvelles constructions, le respect des normes les plus récentes permet d'assurer une résistance appropriée aux aléas naturels, si l'on prend en compte les exigences de la classe de risques du bâtiment projeté. Les bâtiments existants, pour la plupart n'intègrent pas ces dispositions car les codes de construction parasismiques sont relativement récents et leur respect n'avait alors pas été exigé en Haïti.

L'évaluation de la vulnérabilité structurelle d'un établissement de santé vise l'identification et l'évaluation des faiblesses globales et locales de chaque bloc de construction.

L'évaluation de la vulnérabilité des éléments non structurels et des équipements est également nécessaire puisque l'objectif est de rendre les services opérationnels « en toutes circonstances ».

2.2. Approche probabiliste et analyse de la vulnérabilité aux séismes et aux cyclones

2.2.1. Approche probabiliste

Avant d'aborder le sujet de l'évaluation de la vulnérabilité d'un établissement existant exposé aux phénomènes naturels extrêmes, distinguons les 2 méthodes d'analyse, probabiliste et spécifique.

L'analyse probabiliste est globale, à l'échelle d'un territoire (région, pays). Elle vise à classer de nombreux bâtiments en plusieurs classes de vulnérabilité (par exemple 5 niveaux de vulnérabilité, de très faible à extrême).

Des inspecteurs étudient chacun des bâtiments en utilisant une « fiche » (de plusieurs pages) pour la vulnérabilité aux séismes et une pour la vulnérabilité aux cyclones. Ils cochent des cases pour chacun des multiples critères pouvant conditionner la vulnérabilité d'un bâtiment. Chaque réponse est associée à un certain nombre de points. Certains critères classent d'office le bâtiment en catégorie de vulnérabilité extrême. Sinon, le total de points permet d'évaluer le niveau de vulnérabilité du bâtiment. A cette échelle, il s'agit de comparer les établissements pour définir des priorités politiques et économiques, sachant qu'il faut des décennies pour améliorer une situation nationale défailante.

Plusieurs pays se sont ainsi dotés d'un guide à « indices », notamment le Mexique pour les hôpitaux exposés au risque sismique. Le guide mexicain propose une méthode pour :

- Evaluer l'indice de sécurité de l'établissement ;
- Déterminer la capacité d'un hôpital à être opérationnel suite à un événement majeur ;
- Orienter le choix des interventions nécessaires pour accroître le niveau de sécurité de l'hôpital exposé à des catastrophes.

A l'échelle nationale, le programme de réhabilitation – sécurisation de chaque établissement doit être intégré dans une planification ministérielle globale établie sur des critères rationnels.

Il est reconnu qu'un objectif de réduction de la vulnérabilité aux risques majeurs, notamment au risque sismique, du réseau des établissements importants d'un pays n'est techniquement et économiquement réaliste que sur la période d'une génération (25 ans).

La rapidité avec laquelle la réduction de la vulnérabilité évolue dépend de la gravité et de l'ampleur des besoins, des compétences mobilisables, et des ressources financières.

Suite à cette expertise probabiliste, une analyse spécifique permettra de programmer les travaux établissement par établissement, bâtiment par bâtiment.

L'analyse de la vulnérabilité des bâtiments existants à l'échelle d'un territoire a pour objectif de définir les priorités d'intervention

Cette analyse est réalisée à partir de fiches à « indices » qui permettent la notation des établissements

N.B. : Une « check-list » de vulnérabilité est proposée en accompagnement de ce guide. Elle est à la fois très « généraliste » et assez détaillée. Généraliste, car elle ne prétend pas permettre un diagnostic, mais plutôt collecter des indices de vulnérabilité, étape préliminaire à une enquête plus approfondie. Détaillée, car elle ne s'intéresse pas exclusivement à la structure et aux risques naturels, mais également aux autres formes de crise sanitaire.

Elle a pour finalité une remontée d'information vers les autorités sanitaires, et permet en outre la détection de faiblesses pouvant être gérées en interne par l'établissement.

2.2.2. Analyse spécifique d'un bâtiment dans son contexte

L'évaluation de la vulnérabilité d'un établissement existant fait appel à une analyse ciblée des caractéristiques propres à « cet établissement » sur « son site d'implantation ». Dans ce cas, des indices associés à des notes ne sont plus suffisants.

L'analyse spécifique d'un bâtiment ou d'un groupe de constructions envisage tous les critères à satisfaire pour une construction neuve du même type, elle observe les insuffisances et analyse leurs impacts en situation de séisme ou de cyclone.

Cet état détaillé permet de prévoir globalement des travaux de renforcement à réaliser, depuis les fondations jusqu'à la toiture, en structure, en second-œuvre, ainsi que sur les équipements.

Seuls des experts en construction parasismique sont en mesure de réaliser ces diagnostics qui exigent d'une part une bonne connaissance de la construction neuve parasismique et paracyclonique, et ensuite une bonne maîtrise de la pertinence technique, économique et logistique des diverses stratégies de renforcement envisageables.

Il est des cas où seule la reconstruction est acceptable (sites dangereux, matériaux de très mauvaise qualité, etc.). Parfois les coûts du renforcement sont plus élevés que ceux de la construction neuve. Dans ce cas, le renforcement ne sera retenu que dans des cas très justifiés.

En général, à l'échelle de l'établissement, le programme des travaux en vue de l'atténuation de la vulnérabilité sera échelonné de façon à ne pas perturber les fonctions principales du système de santé auquel il participe.

La sécurisation des équipements dans un bâtiment renforcé obéit également à des logiques assez bien définies de nos jours.

Lectures utiles : le site Web de la sécurité des hôpitaux propose plusieurs documents dont la lecture est recommandée (retenir ceux qui sont appropriés aux aléas et au contexte haïtiens). www.safehospitals.info

Les associations de génie parasismique ou paracyclonique, et des organisations publiques des pays concernés publient des méthodes d'analyse, mais, rappelons-le, ces documents ne peuvent être efficacement utilisés que par des experts maîtrisant parfaitement la construction neuve.

L'analyse d'un établissement de santé doit être envisagée dans son contexte et ne peut être réalisée que par des experts en construction parasismique

2.3. Les quatre niveaux d'analyse d'un établissement de santé dans son contexte

2.3.1. Evaluation du site d'implantation de l'établissement de santé

Les résultats de l'analyse des aléas locaux permettent de cerner les dangers potentiels présents sur le site. Dans certains cas ils peuvent impliquer la réalisation de travaux de sécurisation.

Cependant, il peut arriver que les conclusions imposent la relocalisation complète de l'établissement.

Cette analyse doit être menée par des géotechniciens et hydrologues ayant une bonne expérience des phénomènes sismiques et pluvieux tropicaux.

2.3.2. Evaluation de la solidité structurelle

L'analyse de la solidité structurelle vise la compréhension du comportement de la structure exposée aux charges sismiques ou cycloniques, en fonction du type de structure et des matériaux utilisés. Ces charges additionnelles sont évaluées à partir des valeurs de la réglementation pour le neuf, même si certains paramètres peuvent être minorés. En effet, le niveau d'exigence pour les vieux établissements peut parfois être limité à la protection des personnes et des équipements (non effondrement), sans chercher à atteindre la pleine fonctionnalité. C'est le cas, par exemple quand la reconstruction est programmée à terme car le bâtiment ne répond plus aux exigences sanitaires actuelles.

Les principes méthodologiques de cette analyse sont exposés plus loin. Comme précisé précédemment, seuls des experts peuvent mener cette analyse.

2.3.3. Evaluation des éléments non-structuraux et des équipements

La défaillance des éléments non-structuraux ou des équipements peut mettre en danger les occupants, la fonctionnalité, voire les éléments structuraux d'un bâtiment.

Le diagnostic de vulnérabilité d'un hôpital ne peut négliger cette étape importante.

Des erreurs de conception sur les éléments secondaires peuvent avoir été commises dans un établissement récent dont la structure est satisfaisante, car ils échappent souvent à la rigueur du calcul.

Par ailleurs, les fabricants et fournisseurs d'équipements qui n'exercent pas régulièrement dans des pays sismiques et cycloniques exigeants omettent souvent les impératifs de sécurité dans ces domaines.

En général, les matériels techniques conçus pour supporter les vibrations du transport supportent également les secousses sismiques s'ils sont correctement fixés pour ne pas tomber ou se renverser. En revanche, il est rare qu'ils supportent les chocs occasionnés par leur propre chute ou celle d'un objet ou de gravats sur leur enveloppe.

L'analyse des éléments non-structuraux et des équipements doit être menée méthodiquement par des experts en construction parasismique et paracyclonique. Toutefois elle requiert un niveau d'expertise plus accessible.

2.3.4. Evaluation de la capacité opérationnelle

Le fonctionnement d'un hôpital, même non endommagé, est fortement modifié par l'afflux de victimes suite à une catastrophe. Sa conception permet-elle alors l'optimisation du tri des blessés à leur arrivée, leur répartition, leur attente, leur traitement et leur séjour éventuel ? Le service courant peut-il être assuré dans ce contexte perturbé ?

Une certaine polyvalence des espaces extérieurs et intérieurs doit être prévue, permettant en outre des synergies avec des hôpitaux de campagne, des organisations de sécurité civile nationales et étrangères.

Cette analyse nécessite le savoir-faire d'experts en médecine des catastrophes. (cf. Plan Blanc : Gestion d'afflux de victimes MSPP).

L'analyse de la vulnérabilité d'un établissement de santé présente 4 niveaux :

L'évaluation du site d'implantation : réalisée par des géotechniciens et hydrologues expérimentés face aux phénomènes sismiques et pluvieux tropicaux ;

L'évaluation de la solidité structurelle : menée par des experts en construction parasismiques ;

L'évaluation des éléments non structurels : menée par des experts en construction parasismiques et paracyclonique ;

L'évaluation de la capacité fonctionnelle : réalisée par des spécialistes en médecine des catastrophes.

2.4. Evaluation de la vulnérabilité structurelle

2.4.1. Préambule

La sécurité structurelle est évaluée en tenant compte de deux types d'informations :

- D'une part, l'évaluation de la résistance des éléments structurels et des matériaux par analyse du système constructif mis en œuvre et de la réalité des matériaux utilisés ;
- D'autre part, l'identification d'événements passés (séisme, remontées d'humidité, termites, etc.) ayant pu réduire la résistance initiale de la structure du bâtiment, en aggravation de la situation initiale.

Il faut noter que les méthodes à mettre en œuvre et la rigueur des investigations sont les mêmes pour un petit dispensaire que pour un grand hôpital, à Port-au-Prince comme dans les sections rurales. Seule la technicité des solutions dépendra de la configuration du bâtiment.

Dans tous les cas, l'objectif sera la fonctionnalité de l'établissement en « toutes » circonstances.

2.4.2. Analyse de l'histoire du bâtiment

- L'hôpital a-t-il été construit / modifié en suivant des normes de sécurité ?

Les établissements de santé anciens ont été construits avant l'arrivée de normes parasismiques performantes. Il est néanmoins important de connaître si des normes générales (béton armé, maçonnerie, etc.) ont été respectées ou non.

La recherche de plans d'exécution doit être menée. Parfois ils peuvent être retrouvés au sein des entreprises ayant participé soit à la construction soit à des extensions.

En outre, les hôpitaux sont souvent, pour des raisons d'organisation de service, sujets à des modifications dans leur aménagement. D'éventuelles modifications ont pu amener à affaiblir la structure. L'analyse devra préciser si le bâtiment a déjà été modifié ou réparé. Dans ce cas on précisera la date des travaux ainsi que les référentiels utilisés ou non.

Ces modifications ont-elles affecté la capacité de réponse aux charges temporaires des séismes et cyclones ? Des modifications apparemment sans gravité peuvent avoir été réalisées sans tenir compte de leur impact sur la résistance de la structure aux secousses sismiques. Par exemple, le remplissage en maçonnerie de l'espace entre deux colonnes peut engendrer une redistribution dangereuse des charges sismiques dans le bâtiment.

- L'hôpital a-t-il déjà subi des dommages structurels ?

L'analyse des observations sur place (fissures, salpêtre, xylophages, etc.) et une reconstitution de l'historique des travaux antérieurs permettent de déterminer si la structure a déjà subi une perte de résistance (qui peut avoir été dissimulée par des réparations de surface).

Les inspecteurs doivent inspecter le bâtiment pour identifier et évaluer les signes de détérioration et en déterminer les causes. Il est important d'interroger le personnel d'entretien du bâtiment et les archives techniques à ce sujet. Lors de l'évaluation des éléments structurels endommagés, les évaluateurs doivent prendre en compte le rôle de ces éléments dans le maintien de la stabilité globale de la structure.

L'analyse de l'histoire d'un bâtiment permet de préciser :

- Les normes de construction qui avaient été utilisées ;
- Les modifications apportées et leur impact sur la résistance structurelle ;
- Les dommages structurels subis antérieurement.

2.4.3. Analyse de la structure du bâtiment

2.4.3.1. Les matériaux de construction utilisés

Les matériaux peuvent présenter des défauts d'origine, voire un vieillissement inacceptable.

Il n'est pas rare en Haïti que les bétons armés ou la maçonnerie n'atteignent pas les normes minimales de résistance (armatures inappropriées, manque de ciment, sable de mer, gros agrégats ronds, sédimentation, blocs à maçonner non vibrés et cassés pour placer les échafaudages, etc.). Des sondages doivent impérativement être pratiqués. Si les résultats sont trop mauvais, le renforcement n'est pas possible, seule la reconstruction permettra de garantir la sécurité future.

2.4.3.2. Analyse de la conception de la structure

- Statique

Malheureusement, sur certains établissements en Haïti, il faut d'abord vérifier que la structure respecte au moins les prérequis des zones non sismiques.

Outre les matériaux défaillants les dimensionnements réels excluent souvent de fait toute marge de sécurité qui pourrait au moins permettre de supporter un séisme modéré.

Si les matériaux et la mise en œuvre sont acceptables, le programme de renforcement parasismique résoudra ce problème.

- **Détails structurels, y compris les connexions**

Les liaisons entre éléments structurels sont déterminantes dans la résistance effective de la structure aux efforts sismiques (ensemble) et cycloniques (charpentes et couvertures).

Quelle que soit l'année de construction du bâtiment, l'inspecteur doit s'efforcer de déterminer la nature des liaisons à la fois par l'examen sur site pour ce qui est visible, et par l'examen des plans de la structure si c'est possible.

Les dommages apparents viennent en aggravation des faiblesses originelles.

Les assemblages de charpente peuvent souvent être renforcés. Si les faiblesses concernent le béton armé et la maçonnerie, c'est vers un renforcement global qu'il faudra s'orienter.

- **Contreventement**

Les relevés (plans et mise en œuvre) viseront d'abord l'identification des résistances existantes aux poussées horizontales. Les planchers et toitures sont-ils assez raides et résistants, et correctement liaisonnés aux parois verticales ? Où sont situés les éléments résistants du plan vertical, sont-ils disposés de façon régulière, quelle est leur niveau de résistance ?

La question est de savoir si la configuration d'origine permettra la réalisation des nécessaires renforcements (positionnement, liaisonnement à l'existant des contreventements à créer) et quelles modifications de l'architecture ils entraîneront alors.

En effet, la redondance des éléments structuraux résistant aux efforts horizontaux est un élément fondamental pour le bon comportement des bâtiments. L'analyse visera à évaluer l'hyperstaticité future de la structure.

Pour les petits bâtiments simples, il est souvent aisé de rajouter les contreventements. Sur les bâtiments plus grands et complexes, la question peut devenir plus complexe, et l'impact architectural, technique et financier rédhibitoire par rapport à la reconstruction d'un bâtiment non seulement parasismique et paracyclonique mais également plus fonctionnel.

- **Irrégularités (de rigidité, de masses et de résistances)**

o **dans le plan horizontal**

Les structures irrégulières en plan peuvent présenter une excentricité de torsion (c'est à dire, la distance entre le centre de masse et le centre de rigidité). L'inspecteur doit rechercher les irrégularités du point de vue de la rigidité (forme et type de matériaux utilisés pour les éléments verticaux résistants) et de la répartition de la masse (concentrée et distribuée).

o **Irrégularités verticales**

Les variations de raideur entre étages (hauteur ou structure) génèrent des accumulations localisées de contraintes qui provoquent de nombreux effondrements en situation sismique.

Les murs de remplissage entre poteaux dissemblables entre étages peuvent créer ces irrégularités. Les poteaux courts (bridés par de la maçonnerie ou un palier d'escalier) ont été la cause de l'effondrement de bâtiments qui étaient en principe résistants aux forces sismiques.

L'inspecteur doit également prendre note de la présence de masses importantes dans les étages supérieurs d'un hôpital, (machines, équipements, réservoirs d'eau). Elles augmentent les forces d'inertie et provoquent des déplacements excessifs.

La conception du nouveau contreventement résoudra les questions d'irrégularités de raideurs, et la relocalisation des équipements devrait améliorer celle des masses.

En ce qui concerne les vents cycloniques, l'analyse porte sur les turbulences aggravées par les irrégularités de géométrie.

L'analyse de la structure d'un bâtiment permet de préciser

- La nécessité ou non d'un programme de renforcement ;
- L'ampleur du renforcement à mettre en œuvre ;
- Le bienfondé du renforcement vis-à-vis d'une reconstruction.

2.4.4. Interaction des éléments non-structuraux avec la structure

Dans des conditions extrêmes et en raison de leur poids et de leur rigidité, les éléments non structuraux peuvent affecter le comportement des éléments structuraux, mettant la stabilité de la structure en péril. L'analyse doit déterminer quels éléments non structuraux sont susceptibles de modifier le comportement de la structure au point de risquer des ruptures indésirables, mais également quels éléments non structuraux présentent un risque en eux-mêmes.

2.4.5. Proximité des bâtiments (risque de percussion, effet Venturi, incendies, etc.)

La proximité de bâtiments vulnérables est une menace à ne pas négliger. Dans le cas d'un séisme, les bâtiments limitrophes peuvent s'entrechoquer et provoquer des dommages graves. En outre, les décombres d'un bâtiment plus haut qui s'effondrerait peuvent traverser une toiture ou des façades en maçonnerie non renforcées.

Lors d'un ouragan, l'effet Venturi entre des bâtiments rapprochés génère des efforts supplémentaires pour lesquels ils n'ont pas été conçus à l'époque.

2.4.6. Vérification des fondations

Les fondations sont les éléments structurels les plus difficiles à évaluer car elles ne sont accessibles qu'au prix de sondages délicats à réaliser.

Les plans de fondations ne sont souvent pas disponibles.

Néanmoins, tout doit être entrepris pour accéder aux données précises sur les fondations. Des sondages à la pelle peuvent livrer des informations sur les fondations superficielles.

On doit chercher à identifier

- Le type de fondation (superficielle, profonde, isolée, combinaison, etc.) ;
- S'il s'agit de fondations liaisonnées par des longrines ou isolées ;
- Leur adéquation avec la nature des sols (comportement sismique, aux inondations) ;
- Le niveau d'assise des fondations : le niveau des eaux souterraines et le type de sol conditionnent la vulnérabilité de l'installation aux inondations et aux tassements différentiels des fondations ;
- La présence d'un sol liquéfiable, ou susceptible de tasser, de se déplacer.

Si les fondations ne sont pas appropriées, une reprise en sous œuvre sera nécessaire.

2.4.7. Analyses post-sismiques ou post-cycloniques

Un bâtiment existant qui vient de subir un tremblement de terre ou des dommages cycloniques (notamment en toiture) doit rapidement faire l'objet d'une expertise de péril, pour savoir si ce bâtiment est en mesure de continuer à recevoir des patients.

Le diagnostic d'urgence est « prudent ». En cas de doute sur le niveau réel d'endommagement d'un élément ou de l'ensemble, il recommandera l'évacuation en attendant une expertise détaillée qui statuera sur le péril et, si c'est l'objet de la commande, sur la réparabilité.

Après un séisme, la réparation « simple » des dommages structuraux est exclue. Si le bâtiment a souffert, c'est que sa conception était mauvaise et qu'une simple remise en état l'exposerait à des dommages plus graves (voire à l'effondrement) pour un séisme ou un cyclone ultérieur.

Toute structure ayant montré une faiblesse exige un renforcement en prévision des séismes et cyclones ultérieurs

Conclusions préliminaires

L'évaluation du niveau de vulnérabilité d'un hôpital existant doit permettre de prendre des décisions pertinentes, sinon on risque de dépenser des sommes très importantes en pure perte. L'analyse doit être confiée à des experts compétents.

Tous les bâtiments ne peuvent pas être réhabilités

- Par exemple, on éliminera d'entrée les investissements lourds sur les bâtiments dont le béton armé a des caractéristiques inacceptables, ce qui est malheureusement fréquent, ou ceux qui sont situés sur un site dangereux.

- Parfois, c'est le coût du renforcement, aussi important que la construction d'un bâtiment neuf plus performant à tous égards, qui fera renoncer.

Il arrive que le renforcement a priori possible de bâtiments existants, s'avère irréaliste au terme d'un long et coûteux processus d'analyses.

2.5. Evaluation de la vulnérabilité des éléments non structuraux et des équipements

L'analyse de la vulnérabilité des éléments non structuraux et des équipements est a priori moins complexe que celle de la structure. Elle peut être menée avec les critères de la stabilité et de la résistance des éléments non structuraux et des équipements neufs.

L'analyse de la vulnérabilité éventuellement apportée par ces éléments à la structure fait partie intégrante de l'analyse de la structure.

5^{ème} PARTIE : ANNEXES

Cette dernière et 5^{ème} partie du *Guide pour la Construction d'Hôpitaux Résistants aux Aléas Naturels* rassemble quelques documents annexes dont le contenu apporte un éclairage ou un complément au corps du texte.

Contenu

5 ^{ème} PARTIE : Annexes	211
1. Annexe : Explication simplifiée du phénomène d'amplification des oscillations sismiques dans les bâtiments par résonance	212
2. Annexe : Notion de ductilité et coefficients de comportement	214
3. Annexe : Charges généralement utilisées pour le calcul de dimensionnement des hopitaux	216
4. Annexe : Note d'hypothèses	218
5. Annexe : Questionnaire pour l'inventaire des potentielles défaillances de sécurité des établissements de santé en Haïti	222
6. Bibliographie	256

1. ANNEXE : EXPLICATION SIMPLIFIÉE DU PHÉNOMÈNE D'AMPLIFICATION DES OSCILLATIONS SISMIQUES DANS LES BÂTIMENTS PAR RÉSONANCE

Introduction

Cette annexe illustre de façon simple le phénomène de résonance qui est une des causes majeures d'effondrement des structures non parasismiques pendant un séisme.

Ce phénomène, bien entendu, se démontre et se calcule de façon plus scientifique.

Exemple du punching-ball : un oscillateur simple à ressort

Si on déplace la boule d'un punching-ball encastré à sa base, et qu'on la lâche, celui-ci va osciller à une certaine cadence. Cette cadence est celle de sa « période propre d'oscillation », c'est à dire le temps mis par cet « oscillateur » pour faire un aller-retour complet. Cette durée est constante, même si l'amplitude du mouvement décroît avec le temps (la vitesse aussi).

La période propre de chaque punching-ball (oscillateur) dépend de la flexibilité de sa tige (longueur, diamètre, matériau, nature des assemblages) et de la masse de sa boule.

Si on vient percuter le punching-ball (oscillateur) « en cadence » avec sa période propre, on amplifie ses déformations avec peu d'énergie, il entre en résonance.

On obtient également la mise en résonance en donnant des impulsions horizontales à la base du punching-ball (oscillateur) à cette même cadence (période propre)... et au contraire peu d'effets en donnant des impulsions avec une période différente (plus courte/rapide ou plus longue/lente).

Un bâtiment est un oscillateur « plus complexe » que le punching-ball !

Un bâtiment est encastré à sa base (fondations), plus ou moins souple (géométrie, matériaux, etc.) et plus ou moins lourd (masses plus ou moins importantes).

Chaque bâtiment a des périodes propres d'oscillation qui dépendent de ses matériaux et de sa géométrie. Un bâtiment a plusieurs périodes propres car il est plus complexe qu'un « punching-ball ». Il peut par exemple avoir une période d'oscillation plus longue pour ses déformations dans le sens longitudinal que pour le sens transversal. Et d'autres périodes correspondant à des déformations irrégulières (entre ses étages) dans chacune des directions ou en torsion.

Les périodes propres d'un bâtiment sont calculées en zone sismique.

Le sol de surface au dessus du substratum rocheux est aussi un oscillateur dont la période propre dépend également de sa masse et de sa raideur.

Le sol de surface est constitué d'une ou plusieurs couche(s) géologique(s), plus ou moins rigide(s) au dessus du « substratum rocheux ». Pendant un séisme, les couches de sol subissent les secousses du socle rocheux sur lequel elles reposent. Elles subissent donc des forces d'inertie qui les déforment (leur masse tend à vouloir rester au point d'origine).

Le sol se déforme d'autant plus qu'il est épais et meuble. Son déplacement est minimum à la base et maximum à la surface. La masse du sol est d'autant plus grande qu'il est épais. Le sol peut être plus ou moins rigide, donc déformable. Sa période d'oscillation dominante dépend aussi de sa masse et de sa raideur. Une forte épaisseur de sol meuble (masse importante et raideur faible) a une période d'oscillation visiblement beaucoup plus longue que celle d'un site rocheux.

La période propre du site à construire est évaluée en zone sismique.

Phénomène de résonance des structures pendant un séisme

De nombreux sites peuvent donc être caractérisés par une période d'oscillation significative, fonction de la géométrie et de la raideur du sol.

Chaque bâtiment est aussi caractérisé par ses périodes propres d'oscillation.

Si les secousses sismiques viennent secouer les fondations d'un bâtiment « en cadence » avec une de ses périodes propres d'oscillation, le bâtiment entre en résonance avec le sol, amplifie ses déformations... et casse. Sauf si le phénomène a été identifié, que le bâtiment a été calculé et dimensionné pour des secousses plus fortes, et que des mesures constructives permettant une fissuration « dissipative » sans rupture ont été prises.



Figure 43 : L'effondrement total des deux immeubles sur cette vue ne s'explique pas par un simple manque de résistance qui doit concerner d'autres immeubles de la zone. Ces deux constructions ont vraisemblablement amplifié les secousses du sol (Séisme d'Izmit, Turquie, 1999). (Source NISEE)

ON CHERCHE SI POSSIBLE A CONSTRUIRE UN BATIMENT DONT LES PERIODES PROPRES D'OSCILLATION SONT DIFFERENTES DE CELLE(S) DU SITE. AINSI ON EVITE SA MISE EN RESONANCE ET L'AMPLIFICATION DES SECOUSSES

Le géotechnicien étudie les périodes d'oscillation caractéristiques du site

L'architecte peut concevoir, si c'est possible, un bâtiment dont les périodes propres seront très différentes de celles du sol, avec l'aide des calculs de l'ingénieur

ET SI ON NE PEUT PAS ETRE SÛR D'EVITER LA MISE EN RESONANCE DU BATIMENT ?

En le sachant, on calcule la résistance du bâtiment en tenant compte de ce problème.
C'est le travail de l'ingénieur structure

2. ANNEXE : NOTION DE DUCTILITÉ ET COEFFICIENTS DE COMPORTEMENT

Intérêt de l'endommagement « dissipatif » des constructions

Si la qualité de la mise en œuvre permet aux matériaux de rester en place, au lieu de se disloquer, lorsqu'ils amorcent la rupture pendant un séisme, les frottements alternés sur les zones endommagées dissipent, sous forme de chaleur, une partie de l'énergie cinétique (mouvement) injectée par le séisme.

De la même manière, le frottement entre les disques et les plaquettes des freins réduit la vitesse d'un véhicule en transformant l'énergie cinétique (mouvement) en chaleur.

De ce fait, les accélérations et les forces d'inertie dans la structure sont atténuées si la fissuration se produit de façon « sécurisée ». C'est un phénomène d'amortissement par frottements internes.

En outre, la structure endommagée devient moins raide une fois fissurée. Du coup les périodes propres d'oscillation du bâtiment s'allongent, ce qui peut être favorable si les nouvelles périodes ne correspondent pas à celle du sol (sortie de la résonance).

Ainsi, dès que l'endommagement commence, si les dommages sont contrôlés par la mise en œuvre, le niveau de contraintes sismiques se stabilise pour la suite du séisme, au lieu de continuer à augmenter dans le cas de la résonance.

Notion de « rupture fragile »

On appelle « rupture fragile » une rupture soudaine et quasi instantanée. Mal localisées, des ruptures fragiles en chaîne peuvent entraîner l'effondrement partiel ou total d'un bâtiment.

Les règles de construction parasismique interdisent les matériaux et les assemblages pouvant provoquer des ruptures fragiles sur la structure principale des bâtiments.



Figure 44 : Exemple de rupture fragile: le pied de poteau a "explosé". Dans ce cas l'immeuble n'est pas effondré car des reports de charges ont pu se faire sur d'autres éléments porteurs non endommagés. (Cliché Godden – NISEE)

Notion de « déformations plastiques » et de ductilité

Les déformations plastiques (endommagement irréversible) traduisent l'aptitude des matériaux à s'endommager progressivement sans se disloquer. Elles retardent la rupture totale et contribuent à la ductilité.



Figure 45 : A gauche, rupture fragile d'une structure de béton armé. Au delà de la limite de résistance, c'est l'effondrement.

Figure 46 : A droite, endommagement « ductile » d'une pile de viaduc en béton armé. Au delà de la limite de résistance, le béton dégradé est resté « confiné » dans les armatures. A chaque secousse, il est broyé à l'intérieur des armatures, ces frottements contribuent à freiner la construction. Comme il reste en place, l'effondrement ne se produit pas.



Conformément aux règles de construction parasismique, l'architecte et l'ingénieur définissent les qualités des matériaux à utiliser, les dispositions constructives et les dimensions pour chaque élément de la construction, qui permettent de contrôler l'endommagement et de prévenir l'effondrement en empêchant la rupture brutale.

On appelle ce comportement non fragile et dissipatif : « la ductilité ».

Les règles de construction parasismique expliquent comment on peut obtenir un comportement ductile, de façon plus ou moins remarquable, en fonction des matériaux et de la structure. Par exemple, on choisira le type de béton, et surtout la nature et le positionnement des aciers, selon des critères différents de ceux du projet en zone non sismique.

Le « coefficient de comportement »

Les études des sismologues permettent une pré-estimation régionale des accélérations au rocher : **accélération du zonage sismique**.

Celles des géotechniciens permettent d'estimer s'il peut y avoir un **effet de site** géologique ou topographique (coefficients majorant l'accélération régionale en raison des conditions locales).

L'ingénieur sait évaluer si la construction amplifie les secousses du sol ou non (résonance), grâce à l'outil « spectre de réponse du site ». Il utilise un **coefficient spectral**.

Il peut alors calculer les forces auxquelles le bâtiment doit résister. Connaissant la résistance et le comportement des matériaux il peut définir le projet parasismique. Si le bâtiment amplifie fortement les accélérations du sol, la « sur-résistance » peut coûter cher.

La réglementation autorise l'ingénieur, en concertation avec son client, à concevoir un bâtiment pouvant avoir des dommages pour des accélérations moins violentes que la référence réglementaire, à la condition impérative que les caractéristiques de la construction garantissent sa stabilité après endommagement

Le bâtiment coûte moins cher à construire, mais il peut plus facilement s'endommager

On autorise alors le calcul de la construction avec un coefficient minorant, appelé coefficient « de comportement », qui doit être justifié par l'ingénieur dans le respect des règles de construction parasismique

3. ANNEXE : CHARGES GÉNÉRALEMENT UTILISÉES POUR LE CALUL DE DIMENSIONNEMENT DES HOPITAUX

Cette annexe réunit, pour mémoire, les charges unitaires ou ponctuelles généralement utilisées dans le cas des hôpitaux (hors structure).

Source : ANCO

Charges permanentes

Cloisonnements

- Cloisons (en-dehors de la maçonnerie lourde) : 100 daN/m²
- Cloisons en parpaings pleins bruts de 10 cm : 210 daN/m²
- Cloisons en parpaings pleins bruts de 15 cm : 315 daN/m²
- Enduit au mortier de ciment : 30 daN/m² par face

Sols

- Revêtement de sol léger : 20 daN/m²
- Carrelage scellé au sol : 100 daN/m²
- Faux-plancher + accrochage : 50 daN/m²

Faux-plafonds

- Plafond-suspendu + accrochage : 50 daN/m²

Façades

- Bardages : 20 daN/m²

Toiture

- Etanchéité + isolation + protection gravillons : 100 daN/m²
(terrasse inaccessible)
- Etanchéité + isolation + protection dalle gravillons lavés : 120 daN/m²
(zone circulation technique en terrasse)
- Terrasses végétalisées : 600 daN/m²
- Chemin de roulement pour les nacelles : 200 daN/m²
(sur la largeur de la bande)
- Aéroréfrigérants : 1000 daN/m²

Charges d'exploitation

Locaux d'hébergement

- Chambres d'hébergement : 250 daN/m²
- Postes de personnel et locaux de soins : 250 daN/m²
- Circulations intérieurs des unités des soins : 250 daN/m²

Locaux médico-techniques

- Locaux de la zone de consultations : 250 daN/m²
- Médecine d'urgence, soins intensifs, réanimation : 250 - 400 daN/m²
- Salles d'opérations, salles d'accouchement, salles de plâtres : 350 daN/m² (1)
- Salles de radiodiagnostic et annexes immédiates : 250 à 400 daN/m² (1)
- Salle de vasculaire et scanner : 500 daN/m² (1) (2)

- Imagerie de résonance magnétique : Voir fournisseur (1 à 4)
- Zone technique des laboratoires, explorations fonctionnelles, locaux médico-techniques, bureaux paysagers 350daN/m²
- Zone de stockage plaques et archives d'anatomopathologie, réserves pharmacie 1000 daN/m²
- Secteur humide de rééducation fonctionnelle 400 daN/m²
+ équipements

Autres locaux

- Circulations générales, hall : 400 daN/m²
- Sanitaires 150 daN/m²
- Salles de réunions, de conférences et de restauration générale
 - o Surface < 50 m² ; 250 daN/m²
 - o Surface comprise entre 50 et 100 m² : 350 daN/m²
 - o Surface > 100 m² : 400 daN/m²
- Amphithéâtre : 350 daN/m²
- Bureaux : 250 daN/m²
- Bibliothèque, archives de bureau : 600 daN/m²
- Réserves ou stockage de surface > 20 m² : 600 daN/m²
- Locaux techniques, ateliers, cuisines, blanchisserie : 500 daN/m² + équipements
- Garages : 250 daN/m²

Toitures

- Toitures, terrasses techniques (non accessible au public) : 150 daN/m²
- Hélistation : 1000 daN/m²

- (1) Charges suspendues en plafond 100 daN/m² uniformément répartie
- (2) Charges suspendues en plafond 2 000 daN/m² ponctuelle
- (3) Charges ponctuelles de 2 500 à 10 000 daN appliquées sur une surface de 2 x 2 m
- (4) Charges ponctuelles de 50 000 daN appliquées sur une surface de 2 x 2 m

4. ANNEXE : NOTE D'HYPOTHÈSES

La note d'hypothèse réunit les hypothèses de conception et de calcul pour le bâtiment.

Elle permet la vérification de ces hypothèses et des dispositions et calculs qui en découlent par un contrôle technique indépendant.

Le tableau de la page suivante est proposé comme modèle, dont toutes les rubriques ne concernent pas l'ensemble des projets et qui n'a pas la prétention d'être exhaustif.

Source : ANCO.

Chapitres	Sous-chapitres	Contenus	Commentaires
1 Objet	Présentation	Présentation du projet	
	Plans	Plan de masse	
2 Protection		Choix du niveau de protection	
3 Référentiel normatif	Normes et règles de calcul	Charges	Définition des charges
		Vent	Définition des charges
		Séisme	Définition des charges
		Pluie	Définition des charges
		Calcul géotechnique	
		Fondations superficielles	
		Fondations profondes	
		Structure béton	
		Structure métallique	
	Menuiserie		
	Ouvrage de référence	Appuis parasismiques	
4 Site et sol	Données climatiques	Détermination de la température extérieure à prendre en compte	Définition des charges
		Détermination de la température intérieure	Définition des charges
		Ensoleillement	
		Régime des vents	
	risques	Tsunami	Dispositions prises pour contenir le risque
		Glissement de terrain	Dispositions prises pour contenir le risque
		Inondations	Dispositions prises pour contenir le risque
		Volcanisme	Dispositions prises pour contenir le risque
		Houle	Dispositions prises pour contenir le risque
		Submersion	Dispositions prises pour contenir le risque
		Faïlle	Dispositions prises pour contenir le risque
		Liquéfaction	Dispositions prises pour contenir le risque
		Erosion	Dispositions prises pour contenir le risque
	Sol et fondations	Conditions géotechnique et hydrologique,	
Contraintes ELU, ELS.			
Coefficient de poussées des terres			
Caractéristiques dynamiques : classement du site,			

		modules dynamiques	
	Données sismiques	Choix du spectre avec le site associé : (composante horizontale et verticale),	
		Coefficient topographique,	
		Coefficients d'amortissements : structures BA et CM	
5 matériaux	béton arme	A déterminer en fonction des exigences d'exposition notamment aux embruns	
		Coefficient de retrait du béton,	
		Coefficient de dilatation thermique,	
		Classe de fissuration	
		Acier pour béton armé	A déterminer en fonction des exigences de ductilité
	structure métallique	Nuance d'acier	
		Protection des aciers	A déterminer en fonction des exigences d'exposition
		Assemblages	Protection des assemblages
	structure bois	Qualité des bois	
		Protection des bois	A déterminer en fonction des exigences d'exposition aux agents pathogènes
		Assemblages	Protection des assemblages
6 Structures		Définition de la structure porteuse : portiques, voiles ou mixte	
		Découpage en « blocs sismiques »,	
		Longueur des blocs	
		Définition de la hauteur d'étage	
		Principe de réservation	
		Bandes de clavetage différencié	
		Détermination des joints de dilatation	
		Déformations maximales statiques et dynamiques	
		Disposition relatives à la fissuration	
		Résistance au feu	
		Assemblages	Les assemblages choisis devront éviter les ruptures fragiles
	7 Modélisation des	Méthode de	Choisir la méthode de calculs

structures et simulation numérique	calculs	la plus adaptée :	
		Méthode d'analyse par forces latérales,	
		Analyse modale utilisant le spectre de réponse	
		Méthodes non-linéaires	
		Analyse statique non-linéaire (push over)	
	Logiciels	Décider du logiciel le plus adapté en fonction de la méthode de calcul et la modélisation	
		Chaîne de vérification des éléments en béton armé par logiciel intégré ou par fichier Excel	
	Modélisation des masses	Masses : charges permanentes +chef* charges d'exploitation	
	Modélisation de la structure	Si structure en voiles BA, modélisation à partir des élévations des voiles	
		Prise en compte des réservations,	
		Eléments structuraux principaux et éléments structuraux secondaires	
	Modélisation du sol	Prise en compte de l'Interaction-Sol-Structure (ISS)	
		Spectres	
		Transfert des efforts horizontaux au sol	
	Vérification de la simulation numérique	Plusieurs vérifications pour valider les calculs :	
		Vérification du chargement statique, descente de charges	
		Torseurs à la base	
		Déplacements	
		Accélérations	
	Interprétation des résultats	Fonctionnement du plancher en diaphragme rigide et indéformable dans son plan	
		Ferraillage des voiles	
		Vérification du cisaillement des voiles	

5. ANNEXE : QUESTIONNAIRE POUR L'INVENTAIRE DES POTENTIELLES DÉFAILLANCES DE SÉCURITÉ DES ÉTABLISSEMENTS DE SANTÉ EN HAÏTI

Un questionnaire pour l'inventaire des potentielles défaillances de sécurité des établissements de santé en Haïti a été préparé dans le contexte du programme de rédaction du guide.

Les renseignements recueillis par réponses à des questions précises ont pour vocation d'identifier les principales faiblesses des bâtiments et de leur environnement direct.

Ce questionnaire ne peut être utilisé directement pour établir un diagnostic de vulnérabilité des constructions, mais les informations qu'il contient permettent de repérer les défaillances nécessitant une intervention à plus ou moins long terme.

Les 33 pages de ce questionnaire sont reproduites dans cette annexe.

QUESTIONNAIRE POUR L'INVENTAIRE DES POTENTIELLES DEFAILLANCES DE SECURITE DES ETABLISSEMENTS DE SANTE EN HAITI

Ce questionnaire est organisé en 7 parties correspondant à l'évaluation des différents éléments. Afin de permettre une évaluation exhaustive de votre établissement, toutes les rubriques doivent être renseignées.

Chaque partie requiert des compétences spécifiques qui sont précisées sous son titre.
Un membre de la cellule de crise ou de l'administration de votre établissement doit impérativement être impliqué dans la démarche d'évaluation.
Les parties 2 à 7 peuvent nécessiter un dossier par bâtiment si leur situation et leur état ne sont pas homogènes.

Les différentes questions requièrent une réponse à choisir entre "Faible" "Moyen" ou "Elevé". Ces 3 niveaux décrivent le degré de sécurité de votre établissement au regard de chacun des points évalués.
Toutefois, tous les points à évaluer ne représentent pas le même niveau de menace. La présence d'un triangle rouge à côté d'une case "Faible" indique qu'un indice de faiblesse dans ce domaine impose une vérification soignée de la situation par un expert.

Le présent questionnaire, une fois rempli, doit être tenu à la disposition de l'administration centrale qui évaluera les priorités et les expertises à mener en vue de la réduction de la vulnérabilité globale.

Toutefois, la direction de l'établissement est à même de résoudre les défaillances relatives au fonctionnement quand elles peuvent être résolues par des travaux courants ou des modifications accessibles.

N. B.: Dans ce questionnaire, la mention "Faible" correspond à une faible capacité à répondre aux exigences en situation de crise sismique, cyclonique ou autre, et à l'opposé "Elevé" à de meilleures capacités.

1^{ère} partie: Informations générales sur l'établissement de santé

Les informations de cette première partie doivent être fournies par l'administration de l'établissement de santé qui est évalué

A

Nom de l'établissement

B

Adresse

Adresse (1) :

Adresse (2) :

Commune et Arrondissement :

Département :

C

Type d'établissement

Centre de santé sans lit

Centre de santé avec lits

Hôpital Communautaire de référence (HCR)

Hôpital Départemental

Hôpital Universitaire

D

Secteur

Public

Privé lucratif

Privé non lucratif (confessionnel - ONG...)

Communautaire

Mixte

E **Personne rattachée à l'établissement à contacter pour le suivi de l'évaluation de vulnérabilité**

Nom - Prénom :

Fonction :

Numéros de téléphone :

Adresse email :

F **Capacité en lits**

Nombre total de lits

Taux d'occupation de l'hôpital en temps normal /100

G **Répartition des services dans les bâtiments**

Décrire brièvement l'affectation des principaux bâtiments de l'établissement :

Bâtiment 1 :
Bâtiment 2 :
Bâtiment 3 :
Bâtiment 4 :
Bâtiment 5 :

H **Les services**

1 Service d'urgences

L'établissement dispose-t-il d'un service d'urgences?

2 Blocs opératoires

Nombre total de blocs opératoires :

Nombre de blocs opératoires fonctionnels :

3. Unité de soins intensifs

L'établissement dispose-t-il d'une unité de soins intensifs fonctionnelle ?

OUI

NON

4. Autres services médicaux

Noter dans ce tableau le nom des services de l'établissement et pour chacun d'entre eux, sa capacité en lits

Nom du service	Capacité en lits

5 Services administratifs et techniques

Noter dans ce tableau le nom des services de l'établissement et, pour chacun d'entre eux, le nombre de personnes qui y travaillent

Nom du service	Nombre d'employés

I

Espaces susceptibles d'augmenter la capacité de prise en charge

Indiquer les différents espaces susceptibles d'être utilisés pour augmenter la capacité de l'hôpital en cas d'urgence ou de catastrophe

Donner le nom de l'espace ou préciser la zone de son emplacement (local intérieur ou surface libre extérieure pour une installation temporaire)	Taille en m ²	Eau		Electricité	
		Oui	Non	Oui	Non

2^{ème} partie: Eléments relatifs à la sécurité de l'environnement géographique de l'établissement

Il est recommandé à l'établissement de santé de compléter cette partie avec l'aide d'experts compétents
(exemple : le Bureau des Mines et de l'Energie)

A	Phénomènes géophysiques	Commentaires						
1	<p>Tremblements de terre: exposition régionale Se référer aux cartes de zonage sismique national</p> <p>Faible L'établissement est situé en zone de forte sismicité (a priori représentée en orange ou en rouge sur la carte nationale) Moyen L'établissement est situé en zone de sismicité moyenne (a priori représentée en jaune ou en vert sur la carte nationale) Elevé L'établissement est situé en zone de sismicité modérée (a priori représentée en bleu sur la carte nationale)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
2	<p>Pentes et sols instables Se référer aux cartes d'aléas existantes, à l'historique des glissements de terrain dans la zone et aux études géotechniques</p> <p>Faible La zone a déjà subi des tassements et glissements ou un bâtiment est placé sur une pente $\geq 35\%$ Moyen Le bâtiment est placé sur une pente comprise entre 10 et 35% ou à moins de 10 mètres d'une pente instable ou construit sur un sol moyennement consolidé Elevé Le bâtiment est situé sur une pente $\leq 10\%$ ou comprise entre 10 et 35% sur un sol ou rocher de très bonne qualité</p>	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
3	<p>Liquéfaction En se référant à une carte officielle pour la commune ou à l'analyse géotechnique du sol sur le site de l'établissement, évaluer le niveau d'exposition de l'établissement aux tassements de sol par liquéfaction</p> <p>Faible Le bâtiment est placé sur un sol non vérifié près du niveau de la mer ou de celui d'une rivière, ou il est avéré liquéfiable Moyen Le bâtiment est placé sur une couche potentiellement liquéfiable d'épaisseur inférieure à 1 mètre Elevé Le bâtiment est situé sur un sol avéré non liquéfiable</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
4	<p>Tsunamis Vérifier les cartes d'aléa tsunami existantes et tenir compte des données historiques pour évaluer le niveau d'exposition de l'établissement aux tsunamis.</p> <p>Faible Le bâtiment est situé dans une plaine littorale à moins de 10 mètres d'altitude ou sur une zone déjà submergée dans le passé Moyen Le bâtiment est situé dans une plaine littorale entre 10 et 15 mètres d'altitude Elevé Le bâtiment est situé loin de la mer ou à une altitude de plus de 15 mètres</p>	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						

B **Phénomènes météorologiques** Commentaires

5 Ouragans

Se référer à la carte de zonage de l'aléa vent proposée par les « Règles de calcul intérimaire pour les bâtiments en Haïti (2011) » ou à une carte ultérieure actualisée validée par les autorités nationales.

- Faible *Le bâtiment est situé en zone 3 ou 4*
- Moyen *Le bâtiment est situé en zone 2*
- Elevé *Le bâtiment est situé en zone 1*

Faible	Moyen	Elevé

6 Inondation par pluies torrentielles

Évaluer la situation de l'établissement de santé par rapport aux inondations dues aux pluies torrentielles, en fonction de l'historique de tels événements dans la zone, éventuellement aggravée par le déboisement, et l'augmentation des surfaces construites et imperméabilisées.

- Faible *Le bâtiment est situé en zone inondable*
- Moyen *Le bâtiment est situé sur un site rarement inondable et possède un accès en hauteur non inondable*
- Elevé *Le bâtiment est situé dans une zone non inondable*



Faible	Moyen	Elevé

7 Vagues et marée de tempête: submersion maritime

Évaluer le niveau d'exposition de l'établissement de santé aux vagues et marées de tempête en fonction des événements antérieurs

- Faible *Le bâtiment est placé à proximité de la mer à moins de 5 mètres d'altitude ou a déjà été concerné par une submersion*
- Moyen *Le bâtiment est surélevé de moins de 10 mètres par rapport au niveau de la mer ou une submersion est parvenue à proximité immédiate*
- Elevé *Le bâtiment est situé dans les terres ou est surélevé de plus de 10 mètres par rapport au niveau de la mer*



Faible	Moyen	Elevé

C **Phénomènes liés à la nature géotechnique des sols** Commentaires

8 Effondrement de cavités

Se référer aux cartes des zones karstiques et réaliser le cas échéant une étude géotechnique afin d'évaluer l'exposition de l'établissement de santé à l'effondrement de cavités souterraines naturelles ou artificielles superficielles

- Faible *Le bâtiment est situé sur ou à proximité d'une ancienne mine ou carrière, ou sur un sol karstique, qui n'a pas fait l'objet de sondages locaux, ou la présence de cavités est avérée*
- Moyen *Sans objet*
- Elevé *Le bâtiment est situé sur un site éloigné d'une ancienne mine ou carrière ou sur un sol non karstique ou a fait l'objet de sondages de sol excluant toute présence de cavité sous les bâtiments*



Faible	Elevé

9 Sols argileux (argiles gonflantes)

En se référant aux cartes géologiques ou à des sondages in situ, évaluer le taux d'exposition de l'établissement aux risques liés aux argiles gonflantes

- Faible *Le bâtiment est exposé, et a été construit sans aucune mesure de réduction des effets du retrait-gonflement du sol*
- Moyen *Le bâtiment est exposé, des mesures préventives auraient été prises mais elles sont insuffisantes*
- Elevé *Le bâtiment n'est pas exposé ou des mesures préventives contrôlées ont été prises lors de la construction du bâtiment*

Faible	Moyen	Elevé

D	Risques technologiques	Commentaires						
10	<p>Explosions</p> <p>En se référant à l'environnement de l'établissement, évaluer son taux d'exposition aux risques d'explosion</p> <p>Faible L'établissement est situé à moins de 100 mètres d'un site présentant un risque d'explosion</p> <p>Moyen L'établissement est situé à une distance l'exposant potentiellement aux effets atténués d'un risque d'explosion</p> <p>Elevé L'établissement est suffisamment éloigné de tout site présentant un risque d'explosion</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
11	<p>Incendies</p> <p>En se référant à l'environnement (nature et proximité des constructions voisines), évaluer le risque de propagation d'incendies d'origine externe</p> <p>Faible L'établissement est mitoyen ou à moins de 10 mètres d'un autre bâtiment</p> <p>Moyen L'établissement est en site urbain, mais éloigné d'au moins 10 mètres de tout bâtiment tiers</p> <p>Elevé Les bâtiments sont isolés</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
12	<p>Déversements de matières dangereuses</p> <p>En se référant à l'environnement de l'hôpital, évaluer son exposition aux déversements de matières dangereuses</p> <p>Faible L'établissement est situé à proximité d'une installation traitant des matières dangereuses ou en aval de celle-ci</p> <p>Moyen L'établissement est situé à une distance sécuritaire d'un site déversant des matières dangereuses ou en amont de celui-ci</p> <p>Elevé Il n'y a pas de risque d'exposition aux déversements de matières dangereuses autour de l'établissement</p>	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
E	Phénomènes sanitaires	Commentaires						
13	<p>Contamination (systèmes)</p> <p>En se référant à tous les incidents antérieurs impliquant une contamination, évaluer le taux d'exposition de l'hôpital aux dangers résultant d'une contamination de ses systèmes</p> <p>Faible L'établissement a enregistré des maladies nosocomiales ces 5 dernières années ou aucune disposition n'a jamais été prise pour prévenir ces contaminations</p> <p>Moyen Des infections nosocomiales ont été enregistrées il y a plus de 5 ans et des dispositions ont été prises pour réduire leur apparition</p> <p>Elevé Aucune infection nosocomiale n'a jamais été enregistrée dans l'établissement</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
14	<p>Infestations</p> <p>En se référant à l'emplacement et aux incidents passés survenus à l'hôpital, évaluer son taux d'exposition aux risques d'infestations (rongeurs, etc.)</p> <p>Faible L'établissement a été infesté il y a moins de 5 ans ou aucune mesure n'a été prise depuis pour diminuer cette exposition</p> <p>Moyen L'établissement a été infesté il y a plus de 5 ans et des mesures ont été prises pour diminuer cette exposition</p> <p>Elevé L'établissement n'a jamais été infesté</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						

F	Phénomènes sociaux	Commentaires						
15	Rassemblement de populations (manifestations ou autres) Evaluer le taux d'exposition de l'établissement aux phénomènes de foule pouvant pénaliser son accès ou son fonctionnement Faible <i>Danger élevé (expériences passées à proximité, il y a moins de 5 ans)</i> Moyen <i>Danger moyen (une expérience passée il y a plus de 5 ans)</i> Elevé <i>Danger faible (pas d'expérience passée)</i>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
16	Populations déplacées Evaluer l'exposition de l'hôpital au risque d'affluence de personnes déplacées dans son enceinte suite à un phénomène naturel ou des circonstances socio-politiques Faible <i>Danger élevé</i> Moyen <i>Danger moyen</i> Elevé <i>Danger faible ou pas de danger</i>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
G	Autres	Spécifiez						
17	Autres dangers Si d'autres dangers relatifs à l'environnement géographique ont affecté la sécurité de l'hôpital, les spécifier dans le cadre "conclusion" ci-dessous et évaluer le niveau de danger qu'encourt l'hôpital en conséquence Faible <i>Danger élevé</i> Moyen <i>Danger moyen</i> Elevé <i>Danger faible ou pas de danger</i>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						

Indice de Sécurité de l'établissement par rapport à son ENVIRONNEMENT	
Nombre d'items notés FAIBLE dans cette rubrique	<input type="text"/>
Nombre d'items notés MOYEN dans cette rubrique	<input type="text"/>
Nombre d'items notés ELEVE dans cette rubrique	<input type="text"/>
<u>Conclusion sur l'Indice de Sécurité de l'établissement par rapport à son ENVIRONNEMENT</u>	

3^{ème} partie: Éléments relatifs à la sécurité structurelle des constructions de l'établissement

Les questions de cette partie nécessitent l'aide d'un ingénieur structure compétent en construction parasismique et paracyclonique

A	Evènements passés pouvant affecter la sécurité de la structure	Commentaires						
1	<p>Dommages structurels antérieurs Vérifier si des dégâts structurels présents sur le bâtiment indiquent que le niveau de sécurité a été compromis suite à un évènement dû à des phénomènes naturels (séismes, forts vents, inondations...)</p> <p>Faible : Dégâts structurels majeurs ou modérés Moyen : Dégâts structurels mineurs Elevé : Pas de dégâts structurels</p>	 <table border="1" data-bbox="1512 587 1771 651"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
2	<p>Réparations ou modifications Vérifier si des réparations ou des modifications ont été effectuées en utilisant des normes destinées à assurer la sécurité des bâtiments</p> <p>Faible : Des modifications majeures ont réduit la résistance du bâtiment ou leur impact est ignoré Moyen : Les réparations ou les modifications n'ont pas affecté la résistance du bâtiment ou bien il n'y a eu aucune modification Elevé : Des travaux de renforcement sismiques et cycloniques ont été réalisés sous contrôle d'experts</p>	 <table border="1" data-bbox="1512 754 1771 818"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
B	Sécurité du système structurel et type de matériaux utilisés dans le bâtiment	Commentaires						
3	<p>État général de l'immeuble Inspecter le bâtiment pour identifier et évaluer les signes de vieillissement accéléré: tassement de sol, enduits manquant, éclats de béton, fissures ou autres dommages</p> <p>Faible : Détériorations affectant le gros-œuvre Moyen : Détériorations mineures n'affectent que le second œuvre Elevé : Pas de détériorations significatives</p>	 <table border="1" data-bbox="1512 991 1771 1054"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
4	<p>Matériaux de construction utilisés Déterminer si les matériaux de structure garantissent le niveau de résistance légale minimum (bétons mal dosés, mal réalisés, armatures lisses...) même s'ils semblent en bon état</p> <p>Faible : Forte suspicion d'erreurs ou de fraude dans la qualité des matériaux (contexte local au moment de la construction) Moyen : Suspicion modérée d'erreurs ou de fraude dans la qualité des matériaux (contexte local au moment de la construction) Elevé : Certitude sur des contrôles réalisés sérieusement pendant le chantier</p>	 <table border="1" data-bbox="1512 1182 1771 1246"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						

5 Détails structurels y compris les assemblages et connexions

Déterminer les caractéristiques de la mise en œuvre par l'examen des plans de la structure et une visite sur le site

- Faible Construction réalisée avant 2010 sans contrôle de conformité aux règles générales de béton armé et de maçonnerie
- Moyen Construction après 2010 respectant au moins les normes générales pour le béton armé et la maçonnerie
- Elevé Construction respectant strictement les normes parasismiques et paracycloniques (plans et surveillance de chantier par expert)



Faible	Moyen	Elevé

6 Contreventement

Identifier les résistances effectives aux poussées horizontales combinées aux actions verticales

- Faible Les éléments résistants aux efforts horizontaux sont disposés de façon irrégulière ou sont absents ou n'ont pas été vérifiés
- Moyen Les éléments résistants aux efforts horizontaux sont disposés de façon régulière mais sont insuffisants (de moins de 25 %) au regard des calculs sismiques (tenant compte de la ductilité effective)
- Elevé Les éléments résistants aux efforts horizontaux sont suffisants et redondants dans les deux directions



Faible	Moyen	Elevé

7 Irrégularités en plan (rigidité, masse et résistance)

Rechercher les irrégularités dans la rigidité (géométrie et type de matériaux utilisés dans les éléments verticaux résistants) et la répartition de la masse du bâtiment

- Faible Le bâtiment a une forme et une structure irrégulières
- Moyen Le bâtiment a une forme irrégulière, mais une structure régulière
- Elevé Le bâtiment a une forme et une structure régulières

Faible	Moyen	Elevé

8 Irrégularités verticales (rigidité, masse et résistance)

Rechercher les irrégularités de raideurs entre deux étages et la présence de masses importantes (machines, archives) dans les étages ou en toiture (citerne)

- Faible La hauteur des étages diffère de plus de 20% et il existe d'importantes éléments irréguliers ou discontinus
- Moyen La hauteur des étages diffère entre 5% et 20% ou il existe quelques éléments discontinus ou irréguliers
- Elevé Les étages ont des hauteurs similaires (il diffère de moins de 5%) et il n'existe aucun élément discontinu ou irrégulier



Faible	Moyen	Elevé

9 Interactions des éléments non-structurels avec la structure en portiques

Déterminer s'il existe des interactions dangereuses

- Faible Le bâtiment présente plusieurs poteaux courts (bridés) sur une même file
- Moyen Le bâtiment présente deux ou trois poteaux bridés non alignés
- Elevé Le bâtiment ne possède pas de poteau bridé ou le contreventement est assuré par des murs en béton armé avec des poteaux en structure secondaire ou mixte

Faible	Moyen	Elevé

10 Proximité des bâtiments (risques d'entrechoquement, incendies, effet Venturi, etc...)

Évaluer la distance entre les bâtiments adjacents qui pourraient s'entrechoquer, transmettre des incendies ou générer certains efforts liés à l'effet Venturi sur des parties d'ouvrage vulnérables.

- Faible *Il n'y a pas de séparation entre les bâtiments adjacents ou la séparation est inférieure à 6 cm*
- Moyen *Séparation supérieure à 6 cm, et inférieure à la moitié du bâtiment voisin s'il est dangereux (séisme, incendie)*
- Élevé *Séparation parasismique et anti incendie avérée selon les normes, et bâtiment voisin ne présentant pas de danger*

Faible	Moyen	Élevé

11 Fondations

Chercher à identifier le type de fondations et son adéquation avec la nature des sols; Rechercher des éventuels tassements ou fissures dans les murs et les planchers.

Pour les PETITS bâtiments

- Faible *Manque d'informations sur les fondations ou celles-ci sont en pierres ou le bâtiment présente des dommages*
- Moyen *Les fondations sont en béton armé et leur profondeur est inférieure à 0,6 mètres*
- Élevé *Les fondations sont en béton armé et leur profondeur dépasse 0,6 mètres et le bâtiment ne présente aucun dommage*

Faible	Moyen	Élevé

Pour les GRANDS bâtiments

- Faible *Manque d'informations sur les fondations ou leur profondeur est inférieure à 1,50 mètres ou le bâtiment présente des dommages caractéristiques d'un tassement de sol*
- Moyen *Manque d'informations sur les fondations mais leur profondeur est supérieure à 1,50 mètres sans preuves de dommages*
- Élevé *Les informations sur la conformité des fondations sont disponibles*

Faible	Moyen	Élevé

12 Murs en maçonnerie

S'assurer que les murs sont confinés par un réseau de chaînages tridimensionnel

- Faible *Aucun chaînage ou chaînage très insuffisant*
- Moyen *Présence de chaînages horizontaux et verticaux, mais ne créant pas des mur pleins, confinés, bien répartis dans deux directions perpendiculaires en plan*
- Élevé *Les chaînages sont conformes au règles de construction parasismique*



Faible	Moyen	Élevé

13 Toitures

Vérifier que la structure de la toiture est correctement ancrée à celle du bâtiment; Vérifier également la qualité du drainage et l'imperméabilité de la toiture

- Faible *La toiture est mal ancrée à la structure du bâtiment*
- Moyen *La toiture est correctement ancrée à la structure du bâtiment mais elle n'est pas bien drainée ou des fuites ont été détectées*
- Élevé *La toiture est correctement ancrée à la structure du bâtiment, elle est bien drainée et imperméable*



Faible	Moyen	Élevé

14 Réservoir enterré ou au sol

Vérifier la sécurité structurelle du réservoir

- Faible *Le réservoir présente des défaillances structurelles et fonctionnelles ou est posé sur un sol instable (demander l'avis d'un expert pour les réservoirs en béton armé)*
- Moyen *Le réservoir est en béton armé sans liner intérieur, il est posé sur un sol stable ou sur des supports calculés aux séismes*
- Elevé *Le réservoir est en matériaux déformables mais non cassants (acier ou matériaux synthétiques alimentaires) ou en béton armé avec liner intérieur, il est en bon état, posé sur un sol stable ou sur des supports calculés aux séismes*

Faible	Moyen	Elevé

15 Réservoir en béton armé ou autre matériau posé sur une toiture

Vérifier que le volume du réservoir n'est pas susceptible de causer des dommages à la structure porteuse du bâtiment

- Faible *Un réservoir de grande masse est posé sur la toiture d'un bâtiment non parasismique*
- Moyen *Le bâtiment est parasismique mais la masse du réservoir n'a pas été prise en compte*
- Elevé *Le bâtiment est parasismique et la masse du réservoir a été prise en compte*



Faible	Moyen	Elevé

16 Château d'eau en béton, métallique ou mixte

Vérifier l'état structurel du château d'eau et sa résistance aux séismes et aux vents

- Faible *Le château d'eau présente des dégâts de dégradations structurelles ou son état (fixation de la cuve et de la tour métallique) ne permet pas de résister aux séismes ni aux vents violents*
- Moyen *Le château d'eau ne présente aucune dégradation structurelle mais il n'a pas fait l'objet de vérifications parasismiques*
- Elevé *Le château d'eau ne présente aucune dégradation, il est placé sur un bon sol et sa conception parasismique a été vérifiée*

Faible	Moyen	Elevé

C Sécurité du système structurel des murs de clôture

Commentaires

17 État et sécurité des murs de clôture de l'établissement

Vérifier l'état des murs de clôture du périmètre du bâtiment

- Faible *Les murs n'ont pas de semelle de fondations ou pas de chaînage ou les blocs à maçonner sont dégradés*
- Moyen *Les murs ont des semelles de fondations mais leurs chaînage est insuffisant*
- Elevé *Les murs ont des semelles de fondations, ils sont correctement chaînés et les blocs sont en bon état*

Faible	Moyen	Elevé

Indice de Sécurité de l'établissement par rapport à ses ELEMENTS STRUCTURELS

Nombre d'items notés **FAIBLE** dans cette rubrique

Nombre d'items notés **MOYEN** dans cette rubrique

Nombre d'items notés **ELEVE** dans cette rubrique

Conclusion sur l'Indice de Sécurité de l'établissement par rapport à ses ELEMENTS STRUCTURELS

4^{ème} partie: Eléments relatifs à la sécurité non-structurale des constructions

La plupart de ces informations peut être acquise par un technicien; parfois un démontage local est nécessaire pour procéder à la vérification

A	Cloisonnements (maçonnés ou légers sur châssis)	Commentaires						
1	<p>État et sécurité des cloisons maçonnées S'assurer de la stabilité des cloisons maçonnées qui peuvent affecter la sécurité des personnes et la fonctionnalité de l'établissement</p> <p><i>Faible</i> Au moins une cloison est détériorée ou non verticale <i>Moyen</i> Au moins une cloison présente des détériorations modérées mais elle reste verticale <i>Elevé</i> Aucune déformation ni altération des cloisons n'est observée</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
2	<p>État et sécurité des cloisons légères sur châssis S'assurer que les châssis des cloisons sont correctement ancrés dans la structure</p> <p><i>Faible</i> Aucun châssis n'est correctement ancré dans la structure et/ou les plaques sont insuffisamment fixées sur les châssis <i>Moyen</i> Seuls certains châssis sont ancrés dans la structure ou leur résistance est inconnue, ainsi que celle des plaques <i>Elevé</i> Tous les châssis sont correctement ancrés dans la structure, ainsi que les plaques sur les châssis</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
B	Faux plafonds (sous planchers ou sous toiture)	Commentaires						
3	<p>État et sécurité des faux-plafonds ou plafonds suspendus S'assurer qu'il n'y a pas de signes de dommages par l'humidité et que les faux- plafonds (châssis et plaques) sont bien ancrés de manière à ne pas affecter la capacité fonctionnelle de l'espace en cas de secousses sismiques</p> <p><i>Faible</i> Les dommages sur ces éléments pourraient avoir une incidence sur la capacité fonctionnelle de l'espace en cas de secousses <i>Moyen</i> Les dommages sur ces éléments ne porteraient pas atteinte au fonctionnement de l'espace <i>Elevé</i> Les châssis des faux plafonds sont bien ancrés, les plaques bien fixées ou bien il n'y a pas de faux-plafonds</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
C	Menuiseries (portes, fenêtres, volets)	Commentaires						
4	<p>Fenêtres et volets Inspecter l'état des fenêtres et s'assurer que l'épaisseur et le type de vitre utilisés répondent aux exigences paracycloniques ou qu'elle peuvent être efficacement protégées par des volets résistants</p> <p><i>Faible</i> Les fenêtres sont en mauvais état ou les vitrages utilisés ne répondent pas aux exigences paracycloniques et ne possèdent pas de volets <i>Moyen</i> Les fenêtres sont en bon état, mais les vitrages sont potentiellement vulnérables aux chocs ou pressions excessives : seules des grilles les protègent <i>Elevé</i> Les fenêtres sont en bon état ou les vitrages utilisés répondent aux exigences paracycloniques ou elles possèdent des volets résistants pour une protection efficace</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						

5 Portes extérieures

Vérifier que les portes sont en métal ou en bois plein, sont portées par trois gonds, et sont munies d'un système de fermeture ne permettant aucun jeu dans le cadre qui lui-même est correctement scellé dans un chaînage en béton armé

Faible Plus d'un critère n'est pas vérifié

Moyen Au moins un critère n'est pas vérifié

Elevé Tous les critères sont vérifiés

Faible	Moyen	Elevé

D

Eléments de décor extérieur, enseignes, antennes

Commentaires

6 État et sécurité des autres éléments extérieurs

Vérifier les ancrages et supports des éléments extérieurs au bâtiment tels corniches, ornements, enseignes, antennes, etc. qui doivent résister aux situations sismiques et cycloniques

Faible Des éléments extérieurs sont insuffisamment ancrés ou résistants, pouvant être sujets à de graves dommages provoquant leur chute

Moyen Les éléments extérieurs peuvent être sujets à des dommages ne provoquant pas leur chute

Elevé Les éléments extérieurs ne peuvent être sujets à aucun dommage significatif

Faible	Moyen	Elevé

7 État et sécurité des parapets et garde-corps

S'assurer que les garde-corps métalliques sont correctement scellés et ceux en maçonnerie adéquatement chaînés afin de protéger le déplacement des usagers

Faible Les parapets ou garde-corps sont trop bas ou de faible résistance pour être efficaces

Moyen Quelques éléments des parapets et garde-corps présentent des défauts ou déformations

Elevé Les parapets et garde-corps sont sécuritaires

Faible	Moyen	Elevé

Indice de Sécurité de l'établissement par rapport à ses éléments NON STRUCTURELS

Nombre d'items notés **FAIBLE** dans cette rubrique

Nombre d'items notés **MOYEN** dans cette rubrique

Nombre d'items notés **ELEVE** dans cette rubrique

Conclusion sur l'Indice de Sécurité de l'établissement par rapport à ses éléments NON STRUCTURELS

5^{ème} partie: Eléments relatifs à la sécurité des équipements

La réponse à la plupart des questions de cette partie peut être apportée par les techniciens de l'établissement. Toutefois, certaines vérifications nécessitent la compétence d'un spécialiste (équipements plus complexes)

A	Système électrique	Commentaires						
1	<p>Conception du réseau électrique Vérifier l'organisation de l'installation entre le tableau de commande, les prises et les interrupteurs</p> <p>Faible L'installation ne dispose pas d'un circuit différencié pour chaque appareil à fort ampérage ou à enjeu important. Les circuits ne sont pas différenciés par locaux. Le diamètre des câbles et le type de coupe-circuit n'est pas approprié à l'ampérage</p> <p>Moyen Quelques appareils à fort ampérage ou à enjeu important sont alimentés par un même circuit ou un circuit inapproprié, mais les circuits sont bien différenciés par locaux</p> <p>Elevé Les réseaux (éclairage, prises ordinaires, prises à fort ampérage ou alimentant un appareil à enjeu fort) sont différenciés par fonction et par locaux. Le matériel est approprié à l'ampérage de chaque circuit</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
2	<p>Etat du réseau électrique Vérifier l'état apparent de tous les éléments accessibles, circuit par circuit</p> <p>Faible Certains câbles d'alimentation, prises, points lumineux ou interrupteurs ne sont pas protégés des chocs et de l'humidité par des fourreaux appropriés</p> <p>Moyen Tous les câbles sont dans des fourreaux protégés contre les chocs et l'humidité, mais quelques boîtes de dérivation, prises ou interrupteurs ne sont pas (ou plus) correctement protégés</p> <p>Elevé Tous les câbles sont dans des fourreaux protégés contre les chocs et l'humidité. Toutes les boîtes de dérivation, prises et interrupteurs sont en bon état</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
3	<p>Protection du panneau de commande, disjoncteur et câbles Vérifier la conception et l'état au regard des normes électriques reconnues</p> <p>Faible La protection des circuits n'est pas appropriée (installation ou modifications non conformes aux règles de sécurité ou détériorations)</p> <p>Moyen Chaque circuit est protégé par un coupe-circuit approprié. Tout le matériel présente un état neuf (aucune modification non conforme, aucun endommagement) mais plusieurs bâtiments dépendent d'un même tableau de commande protégé par un disjoncteur général</p> <p>Elevé Chaque circuit est protégé par un coupe-circuit approprié. Tout le matériel présente un état neuf (aucune modification non conforme, aucun endommagement) et chaque bâtiment possède un tableau de commande indépendant</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
4	<p>Liaison à la terre Vérifier visuellement et tester</p> <p>Faible L'installation électrique n'est que partiellement ou incorrectement reliée à la terre</p> <p>Moyen L'installation électrique est correctement reliée à la terre, mais les équipements conducteurs ne sont pas protégés par des liaisons équipotentielles</p> <p>Elevé L'installation électrique est correctement reliée à la terre et les équipements conducteurs sont protégés par des liaisons équipotentielles</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						

5 Génératrice

Vérifiez que la génératrice est placée dans un abri couvert, correctement attachée à un socle et qu'elle est alimentée par une ligne indépendante de la ligne principale du service d'alimentation

- Faible La génératrice n'est pas dans un abri couvert ou elle est posée directement sur le sol ou elle n'est pas correctement attachée
- Moyen La génératrice est bien attachée, elle est posée sur un socle mais l'abri est non couvert
- Elevé La génératrice est solidement attachée, placée sur un socle élevé dans un abri couvert et ventilé

Faible	Moyen	Elevé

6 Inverter (onduleur) et batteries

S'assurer que la ventilation est adéquate et que les éléments du système sont gardés au sec en tout temps

- Faible Les batteries sont dans un endroit mal ventilé ou l'inverter est exposé à l'humidité
- Moyen Les batteries sont dans un endroit peu ventilé ou l'inverter est dans une atmosphère plutôt humide
- Elevé Les batteries sont dans un endroit bien ventilé et l'inverter dans une atmosphère sèche

Faible	Moyen	Elevé

7 Protection contre la foudre

Vérifier la présence d'équipements protégeant les installations et les bâtiments contre les effets de la foudre

- Faible Le bâtiment ne dispose pas de paratonnerre
- Moyen Une installation paratonnerre existe, mais tous les bâtiments et équipements indispensables au fonctionnement de l'établissement ne sont pas protégés contre les surtensions par des parafoudres
- Elevé L'ensemble des installations et bâtiments est correctement protégé de la foudre: paratonnerre et protection du réseau électrique contre les surtensions par des parafoudres

Faible	Moyen	Elevé

8 Sécurité des appareils électriques

Vérifier la conformité des appareils électriques, leur état et leurs conditions d'utilisation

- Faible Certains appareils ne sont pas certifiés selon une norme électrique reconnue ou ont été modifiés ou avariés (ou leur cordon d'alimentation) ou sont alimentés par un circuit dont l'ampérage est insuffisant ou leur condition d'utilisation sont mauvaises
- Moyen Tous les appareils satisfont à une norme électrique reconnue, sont en bon état, n'ont pas été modifiés et leur cordon d'alimentation est sans défaut, mais les conditions d'utilisation doivent être améliorées (stabilité, circuit électrique approprié)
- Elevé Tous les appareils satisfont à une norme électrique reconnue, sont en bon état, n'ont pas été modifiés et leur cordon d'alimentation est sans défaut. Ils sont alimentés par un circuit dont l'ampérage est approprié et sont utilisés dans de bonnes conditions

Faible	Moyen	Elevé

B

Système de distribution d'eau

Commentaires

9 Système de distribution en eau

Vérifier l'état et le bon fonctionnement du système de distribution d'eau, y compris les vannes, les tuyaux et les raccords

- Faible Moins de 60% du système de distribution d'eau est en bon état de marche ou les services critiques ne sont pas correctement approvisionnés
- Moyen Entre 60% et 80% du système de distribution d'eau est en bon état de marche
- Elevé Plus de 80% du système de distribution d'eau est en bon état de marche

Faible	Moyen	Elevé

10 Adaptabilité des conduits à des déplacements modérés

Vérifier que les conduits et les canalisations sont correctement fixés et ancrés aux sols, aux murs ou aux plafonds par des dispositifs dimensionnés pour éviter tout déplacement différentiel. Le franchissement des murs et des joints de dilatation doivent être suffisamment longs ou flexibles

Faible *Les supports font défaut ou les dispositifs de franchissement sont rigides*

Moyen *Une des deux conditions n'est pas remplie*

Elevé *Les supports sont adéquats et les dispositifs de franchissement sont flexibles*

Faible	Moyen	Elevé

11 État des canalisations, raccords et vannes

Vérifier l'état de toutes les composantes du système. Les réseaux et équipements extérieurs doivent pouvoir résister aux différents aléas régionaux

Faible *Les canalisations, raccords et vannes sont dans un état médiocre*

Moyen *Les canalisations, raccords et vannes sont dans un état satisfaisant*

Elevé *Tout les canalisations, raccords et vannes sont en bon état*

Faible	Moyen	Elevé

12 État de fonctionnement des chauffe eaux

Vérifiez l'état de toutes les composantes du système et réviser le protocole d'entretien

Faible *Les chauffe-eaux sont en mauvais état*

Moyen *Les chauffe-eaux sont dans un état moyen ou en bon état mais sans protocole d'entretien*

Elevé *Les chauffe-eaux sont en bon état et régulièrement vérifiés*

Faible	Moyen	Elevé

C

Système de climatisation

Commentaires

13 Sécurité du système de climatisation

Vérifier que les éléments du système de climatisation sont suffisamment protégés et régulièrement entretenus

Faible *Le système de climatisation est dans un état médiocre*

Moyen *Le système de climatisation fonctionne bien, mais sans entretien régulier*

Elevé *Le système de climatisation est en bon état avec un entretien régulier*

Faible	Moyen	Elevé

D

Système de communication

Commentaires

14 Sécurisation des antennes

Vérifier l'arrimage des antennes

Faible *La résistance du système de fixation des antennes est inconnue et elles sont non haubannées*

Moyen *Le système d'ancrage a pu être vérifié, il est approprié à la longueur de l'antenne, mais celle-ci n'est pas haubanée*

Elevé *Toutes les antennes sont bien arrimées (ancrage adéquat et haubanage paracyclonique) ou l'établissement ne possède pas d'antenne*

Faible	Moyen	Elevé

15 Systèmes de communication; sécurisation des équipements de télécommunication

Vérifier la fixation des équipements contre les secousses sismiques

Faible : Au moins un équipement sensible n'est pas sécurisé

Moyen : Seuls quelques équipements secondaires ne sont pas sécurisés

Elevé : Tous les équipements sont bien fixés

Faible	Moyen	Elevé

E

Equipements et mobiliers

Commentaires

16 Matériels fixes

Vérifier que les étagères, réfrigérateurs, armoires sont bien fixés aux murs ou au sol et que leur contenu est sécurisé

Faible : Moins de 20% des matériels fixes sont amarrés au mur ou au sol ou leurs contenus ne sont pas sécurisés par des rebords

Moyen : Entre 20% à 80% des matériels fixes sont amarrés au mur ou au sol

Elevé : Plus de 80% des matériels fixes sont ancrés et leurs contenus sont sécurisés par des rebords

Faible	Moyen	Elevé

17 Matériels roulants

Vérifier que les chariots, matériel de manutention, lits... disposent d'un système de blocage des roues

Faible : Tous les matériels roulants ne disposent pas d'un système de blocage des roues

Moyen : Tous les matériels roulants disposent de systèmes de blocage des roues mais ils ne sont pas systématiquement utilisés par le personnel

Elevé : Tous les matériels roulants disposent de systèmes de blocage des roues et les roues sont bloquées systématiquement

Faible	Moyen	Elevé

18 Matériels posés

Vérifier que les équipements posés sont fixés avec des sangles ou des straps

Faible : Au moins un équipement sensible n'est pas fixé

Moyen : Seuls quelques équipements secondaires ne sont pas fixés

Elevé : Tous les matériels sont fixés

Faible	Moyen	Elevé

19 Matériels connectés

Vérifier que les matériels sensibles connectés ne peuvent se débrancher lors d'un déplacement intempêtif (séisme...)

Faible : Aucun matériel sensible ne dispose de prises sécurisées (ou toute autre solution qui empêche le débranchement)

Moyen : Certains matériels sensibles disposent de prises sécurisées ou autre solution qui empêche le débranchement

Elevé : Tous les matériels sensibles sont protégés contre les débranchements intempêtifs.

Faible	Moyen	Elevé

20 Matériels informatiques

Vérifier que les matériels informatiques sont fixés aux bureaux et protégés d'arrivées d'eau par ruptures de canalisations.

Faible Les équipements sont sécurisés à moins de 20%

Moyen Les équipements sont sécurisés entre 20 et 80% et des procédures de sauvegarde externe des données sont effectives

Elevé Les équipements sont sécurisés à 80% minimum et des procédures de sauvegarde externe des données sont effectives

Faible	Moyen	Elevé

21 Équipements au sein de l'unité d'urgence et réanimation

Vérifier les matériels fixes, roulants, posés et connectés notamment les moniteurs

Faible L'équipement est sécurisé à moins de 50%

Moyen L'équipement est sécurisé entre 50 et 80%

Elevé L'équipement est sécurisé à plus de 80%

Faible	Moyen	Elevé

22 Equipements en salle d'opération

Vérifier la qualité des fixations des scialytiques, des tables chirurgicales et autres appareils. Les équipements doivent être bien amarrés et disposer de prises de sécurité et d'une lyre

Faible L'équipement est sécurisé à moins de 70%

Moyen L'équipement est sécurisé entre 70 et 90%

Elevé L'équipement est sécurisé à 90%, et 100% pour les matériels vitaux

Faible	Moyen	Elevé

23 Equipements de radiologie

Vérifier la qualité des fixations des appareils de radiologie en tenant compte de l'empâtement des points d'ancrage

Faible L'équipement est sécurisé à moins de 50%

Moyen L'équipement est sécurisé entre 50 et 80%

Elevé L'équipement est sécurisé à plus de 80%

Faible	Moyen	Elevé

24 État et sécurité des équipements de laboratoire

Vérifier les fixations des automates, des étagères et les rebords pour éviter la chute des produits.

Faible L'équipement est sécurisé à moins de 50%

Moyen L'équipement est sécurisé entre 50 et 80%

Elevé L'équipement est sécurisé à plus de 80%

Faible	Moyen	Elevé

25 Équipement des magasins et pharmacie

Vérifier que les meubles et étagères sont solidement fixés et stabilisés. Les portes et tiroirs doivent pouvoir être bloqués et les étagères être munies de rebords

Faible *Des meubles de rangement de flacons ou de matériels fragiles ne sont pas sécurisés*

Moyen *Seuls des meubles de rangement de matériels et de médicaments non fragiles ne sont pas sécurisés*

Élevé *Tous les rangements sont sécurisés*

Faible	Moyen	Élevé

26 Équipement au sein de l'unité de stérilisation

Vérifier que les autoclaves et autres appareils sont solidement ancrés au sol et que les différentes connexions sont faites de liaisons flexibles

Faible *Du matériel indispensable à l'unité de stérilisation n'est pas sécurisé*

Moyen *Seuls des matériels non fragiles ou non indispensables ne sont pas sécurisés*

Élevé *Tout le matériel fragile ou indispensable est correctement sécurisé*

Faible	Moyen	Élevé

F

Sécurité incendie et explosions

Commentaires

27 État et sécurité du système de protection contre les incendies

S'assurer que les extincteurs sont présents dans toutes les zones à risque, qu'ils sont fonctionnels, faciles d'accès, bien ancrés et correctement étiquetés. Vérifier les dates d'expiration sur les extincteurs

Faible *Il n'y a pas d'équipement de protection incendie ou celui-ci est non opérationnel ou inaccessible ou insuffisant*

Moyen *Le matériel est très insuffisant (un seul extincteur par étage ou par bâtiment) ou mal attaché ou non étiqueté ou périmé*

Élevé *L'équipement de protection contre les incendies est suffisant, opérationnel, accessible, bien attaché, et correctement étiqueté*

Faible	Moyen	Élevé

28 Entreposage des gaz médicaux

Vérifier qu'il existe un espace spécifiquement dédié au stockage des bouteilles

Faible *Aucune zone n'est spécifiquement réservée au stockage des gaz médicaux*

Moyen *Des zones sont réservées au stockage des gaz médicaux, mais l'oxygène est stocké avec les autres gaz*

Élevé *Il existe une zone réservée au stockage de chaque type de gaz médicaux*

Faible	Moyen	Élevé

29 Lieu de stockage des gaz médicaux

Vérifier le lieu de stockage des gaz médicaux

Faible *Le stockage se fait à l'intérieur des bâtiments ou les bouteilles ne sont pas protégées des rayons directs du soleil*

Moyen *Le stockage est fait à l'extérieur du bâtiment hospitalier mais l'endroit n'est pas ventilé ou bien aéré*

Élevé *Le stockage se fait à l'extérieur du bâtiment hospitalier, dans un local sec et bien ventilé*

Faible	Moyen	Élevé

30 Arrimage des bouteilles de gaz

Vérifier que les bouteilles de gaz sont bien arrimées

Faible Les bouteilles de gaz ne sont pas arrimées

Moyen Les bouteilles ne sont pas toutes arrimées ou quelques ancrages sont de mauvaise qualité

Elevé Toutes les bouteilles sont arrimées avec des ancrages de bonne qualité

Faible	Moyen	Elevé

G **Autres** Commentaires

31 Latrines

Vérifier l'état sanitaire des latrines présentes sur le site:

Faible La nature hydrogéologique du sol où sont placées les latrines est inconnue ou les procédures d'entretien ne suivent pas une procédure normalisée et traçable

Moyen Les latrines sont placées sur un sol peu poreux et sont occasionnellement vidangées par un professionnel agréé, et/ou certaines ont été mises hors service sans assainissement spécifique

Elevé Les latrines sont placées sur un sol peu poreux et sont régulièrement vidangées par un professionnel agréé. Ou elles ont été mises hors service après vidange et remblaiement

Faible	Moyen	Elevé

32 Incinérateurs

Vérifier la température d'incinération et la position

Faible Après incinération, il reste des résidus brûlés autres que les cendres, la température d'incinération n'est pas contrôlée et/ou, des bâtiments se trouvent à proximité, sous le vent dominant des fumées

Moyen La température d'incinération est correcte, les déchets sont correctement réduits en cendres, mais des bâtiments proches se trouvent sous le vent dominant des fumées

Elevé L'incinérateur est certifié conforme (température et distance sous le vent des bâtiments)

Faible	Moyen	Elevé

Indice de Sécurité de l'établissement par rapport à ses EQUIPEMENTS

Nombre d'items notés **FAIBLE** dans cette rubrique

Nombre d'items notés **MOYEN** dans cette rubrique

Nombre d'items notés **ELEVE** dans cette rubrique

Conclusion sur l'Indice de Sécurité de l'établissement par rapport à ses EQUIPEMENTS

6^{ème} partie: Eléments relatifs à la capacité fonctionnelle de l'établissement

Les informations de cette 6^{ème} partie doivent être complétées par l'administration de l'établissement concerné, en concertation avec la cellule de crise de l'hôpital si elle existe

A	Autonomie en eau	Commentaires						
<p>1 Stock en EAU Vérifier le stock d'eau disponible en réserve (citerne, réservoirs...)</p> <p>Faible Stock d'eau suffisant pour maximum 24 heures Moyen Stock d'eau suffisant pour maximum 72 heures Elevé Stock d'eau garanti pour plus de 72 heures</p>	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <th style="width: 33%;">Faible</th> <th style="width: 33%;">Moyen</th> <th style="width: 33%;">Elevé</th> </tr> <tr> <td style="height: 20px;"></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Faible	Moyen	Elevé				
Faible	Moyen	Elevé						
<p>2 Approvisionnement alternatif Vérifier la capacité de réponse des sociétés de livraison de camions d'eau en cas de coupure d'eau du système public</p> <p>Faible Peuvent fournir moins de 30% de la demande ou ne peuvent garantir une livraison dans les 12 heures Moyen Peuvent fournir de 30% à 80% de la demande courante Elevé Peuvent fournir plus de 80% de la demande courante</p>	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <th style="width: 33%;">Faible</th> <th style="width: 33%;">Moyen</th> <th style="width: 33%;">Elevé</th> </tr> <tr> <td style="height: 20px;"></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Faible	Moyen	Elevé				
Faible	Moyen	Elevé						
B	Systèmes d'approvisionnement en électricité et autonomie	Commentaires						
<p>3 Contrôles des performances des génératrices Déterminer la fréquence des tests de performance des génératrices.</p> <p>Faible Les génératrices sont testées tous les 3 mois ou plus Moyen Les génératrices sont testées tous les 1 à 3 mois Elevé Les génératrices sont testées au moins une fois par mois</p>	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <th style="width: 33%;">Faible</th> <th style="width: 33%;">Moyen</th> <th style="width: 33%;">Elevé</th> </tr> <tr> <td style="height: 20px;"></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Faible	Moyen	Elevé				
Faible	Moyen	Elevé						
<p>4 Capacités des génératrices</p> <p>Faible Certaines génératrices ne démarrent pas ou elles ne couvrent que de 0-30% de la demande courante Moyen Les génératrices sont mises en route en moins d'une minute ou couvrent 32% -70% de la demande courante Elevé Toutes les génératrices sont mises en route en moins de 10 secondes et couvrent 71 % -100% de la demande courante</p>	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <th style="width: 33%;">Faible</th> <th style="width: 33%;">Moyen</th> <th style="width: 33%;">Elevé</th> </tr> <tr> <td style="height: 20px;"></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Faible	Moyen	Elevé				
Faible	Moyen	Elevé						

5 Réservoir de carburant

Vérifier que le réservoir de carburant est sécurisé

Faible *Le réservoir en carburant pour la génératrice présente des défauts de conformité*

Moyen *Le réservoir en carburant pour la génératrice est conforme à une norme reconnue mais il a plus de 10 ans*

Elevé *Le réservoir en carburant pour la génératrice est conforme à une norme reconnue, et il a moins de 10 ans*

Faible	Moyen	Elevé

6 Installation du réservoir de carburant

Vérifier que le réservoir de carburant est à l'abri du soleil, posé sur une dalle en béton armé, en zone non inondable

Faible *Aucun des 3 critères*

Moyen *1 ou 2 des critères*

Elevé *Répond aux 3 critères*

Faible	Moyen	Elevé

7 Lieu de stockage de carburant

Vérifier que les réservoirs sont accessibles, mais à une distance sécuritaire de l'hôpital

Faible *Les réservoirs sont difficilement accessibles ou trop proches des bâtiments*

Moyen *Une des deux conditions (accessibilité ou distance sécuritaire) n'est pas remplie*

Elevé *Les réservoirs de carburant sont correctement sécurisés et sont accessibles*

Faible	Moyen	Elevé

8 Stock en carburant

Vérifier que l'hôpital dispose d'un stock de carburant minimal de 5 jours (selon besoins courants)

Faible *Stock en carburant inférieur à 3 jours*

Moyen *Stock en carburant entre 3-5 jours*

Elevé *Stock en carburant de 5 jours ou plus*

Faible	Moyen	Elevé

9 Panneaux solaires

Vérifier l'état du matériel et son système de fixation

Faible *L'installation est ancienne, le matériel n'a pas été entretenu et présente des défauts (corrosion, encrassement des panneaux, endommagement des joints d'étanchéité...)*

Moyen *L'installation est récente, le matériel est en bon état, mais nécessite un nettoyage ou une optimisation d'orientation ou la fixation doit être améliorée au regard des aléas naturels*

Elevé *L'installation est récente, le matériel est en bon état et les panneaux orientés SE à SO avec une faible pente appropriée à la latitude. La fixation tient compte des aléas naturels*

Faible	Moyen	Elevé

C	Autonomie en gaz médicaux	Commentaires
----------	----------------------------------	--------------

10 Stock en gaz médicaux

Vérifier que le stock d'oxygène permet de répondre aux besoins pendant au moins 3 jours

- Faible *Le stock de bouteilles d'oxygène est inférieur aux besoins pour 3 jours*
- Moyen *Le stock de bouteilles d'oxygène répond aux besoins pour 3 jours*
- Elevé *Le stock de bouteilles d'oxygène permet de répondre aux besoins plus de 3 jours*

Faible	Moyen	Elevé

D	Accès et issues intérieurs aux bâtiments	Commentaires
----------	---	--------------

11 État de sécurité de la circulation des personnes et des matériels au sein du bâtiment (corridors, escaliers, ascenseurs, portes de sorties, etc.)

Inspecter les couloirs, escaliers, portes de sortie et autres issues afin de s'assurer qu'ils sont exempts d'obstacles et sécuritaires

- Faible *Les corridors ou escaliers ou issues sont trop étroits, ou ils sont encombrés n'offrant pas une situation sécuritaire en cas de panique*
- Moyen *Les corridors, les escaliers et les issues ont une largeur réglementaire mais ils sont encombrés n'offrant pas une situation sécuritaire en cas de crise (incendie, séisme...)*
- Elevé *Les corridors, les escaliers et les issues ont une largeur réglementaire, ils ne sont pas encombrés et offrent les conditions sécuritaires en cas de crise (incendie, séisme...)*

Faible	Moyen	Elevé

12 État et sécurité des escaliers

S'assurer que les escaliers sont en bon état, exempts d'obstacles, que les carrelages ou autres revêtements ne sont pas décollés, pourvus de garde-corps ou d'autres mesures qui leur permettent d'être utilisés de façon sécuritaire en situations de catastrophe

- Faible *Les escaliers ou les rampes sont en mauvais état et peuvent avoir une incidence sur le fonctionnement de l'établissement*
- Moyen *Les escaliers ou les rampes ne sont pas en très bon état mais sans incidence sur le fonctionnement de l'établissement*
- Elevé *Les escaliers et les rampes sont en bon état et ne peuvent gêner la capacité fonctionnelle de l'établissement*

Faible	Moyen	Elevé

13 État et sécurité du système d'ascenseurs

La cage et la cabine d'ascenseur sont-elles sécurisées. L'entretien est-il réalisé régulièrement par une entreprise qualifiée?

- Faible *La cage d'ascenseur est en maçonnerie ou l'installation ne dispose pas d'un mécanisme manuel pour ramener la cabine à l'étage*
- Moyen *La cage d'ascenseur est en béton armé, le système dispose d'un mécanisme manuel, mais pas de système d'appel sonore ou l'entretien n'est pas régulier*
- Elevé *La cage d'ascenseur est en béton armé, elle dispose d'un mécanisme manuel, d'un système d'appel sonore et le cahier d'entretien est à jour ou il n'y a pas d'ascenseur*

Faible	Moyen	Elevé

14 Plans et signalisation des issues de secours

Vérifier que les voies d'évacuation sont signalées sur des plans, marquées par une signalisation, et connus des personnels

- Faible *il n'y a ni plan ni signalétique*
- Moyen *Les plans et signalétiques existent mais ne sont connus ni des personnels ni des usagers*
- Elevé *Les plans et signalétiques existent, sont en place et bien identifiables pour une compréhension sans ambiguïté*

Faible	Moyen	Elevé

15 État et sécurité des systèmes d'éclairage internes et externes

Évaluer l'état et les performances des systèmes d'éclairage internes et externes et s'assurer que les éléments n'affecteront pas la sécurité de l'établissement

- Faible *Les dommages de ces éléments auront une incidence sur la capacité fonctionnelle de l'établissement*
- Moyen *Les dommages de ces éléments ne porteront pas atteinte à la capacité fonctionnelle de l'établissement, mais il n'existe pas d'éclairage autonome de sécurité*
- Élevé *Les dommages de ces éléments ne porteront pas atteinte à la capacité fonctionnelle de l'établissement et un système d'éclairage autonome de sécurité est opérationnel*

Faible	Moyen	Élevé

E

Accès et issues extérieurs dans l'enceinte de l'établissement

Commentaires

16 Sécurité des piétons et véhicules vis-à-vis des chutes d'éléments dangereux

S'assurer que les déplacements des piétons et des véhicules sont protégés des chutes d'éléments dangereux à l'extérieur du bâtiment (branches, poteaux électriques, enseignes, murs, ornements extérieurs,...)

- Faible *Des dommages sont possibles en situation sismique mettant en danger ou bloquant les déplacements des piétons et véhicules dans l'enceinte de l'établissement*
- Moyen *Des dommages mineurs peuvent être envisagés mais sans danger, ni entrave pour les déplacements des piétons et des véhicules*
- Élevé *Aucun dommage n'est prévisible*

Faible	Moyen	Élevé

17 Existence d'emplacements libres pour les véhicules devant l'entrée des urgences

Vérifier que des emplacements libres sont affectés aux véhicules devant l'entrée des urgences pour y faciliter l'accès

- Faible *il n'y a pas d'emplacement réservés aux véhicules devant l'entrée des urgences*
- Moyen *il y a des emplacements affectés aux véhicules devant l'entrée des urgences mais leur nombre est réduit ou ils sont encombrés ou inutilisables*
- Élevé *Des emplacements sont toujours libres pour faciliter l'accès aux urgences*

Faible	Moyen	Élevé

18 Existence d'un circuit en boucle ou d'un espace permettant aux véhicules de faire demi-tour

S'assurer que la circulation des véhicules est organisée pour leur permettre de faire demi-tour dans l'enceinte de l'établissement

- Faible *il n'y a pas de circuit en boucle ni d'espace permettant aux véhicules de faire demi-tour dans l'enceinte de l'établissement*
- Moyen *Aucun circuit en boucle n'est organisé mais les véhicules peuvent faire demi-tour*
- Élevé *Un espace est spécifiquement réservé pour permettre les demi-tours ou un circuit en boucle est aménagé*

Faible	Moyen	Élevé

F

Accès dans les rues menant à l'établissement

Commentaires

19 Protection des voies d'accès contre les encombrements (objet, véhicules, marché, embouteillage...)

Vérifier que la circulation à proximité de l'établissement se fait sans embouteillages récurrents ou obstacle physique

- Faible *Les voies d'accès menant à l'établissement sont encombrées*
- Moyen *Les voies d'accès menant à l'établissement sont parfois encombrées*
- Élevé *Les voies d'accès menant à l'établissement ne sont jamais encombrées*

Faible	Moyen	Élevé

20 Sécurité des voies d'accès menant à l'établissement

Vérifier que les déplacements des piétons et des véhicules sont protégés des chutes d'éléments dangereux sur les voies d'accès menant à l'établissement (branches, poteaux électriques) pouvant mettre en danger les usagers et entraver l'accès aux bâtiments

Faible En situation sismique, des dommages sont possibles, ils pourraient entraver l'accès des véhicules et mettre en danger les piétons

Moyen En situation sismique, des dommages sont possibles, ils pourraient entraver l'accès des véhicules sans mettre en danger les piétons

Elevé Aucun dommage ne saurait entraver l'accès des véhicules ni mettre en danger les piétons

Faible	Moyen	Elevé

21 Largeur des portes

Faible Toutes les portes placées sur les circuits d'évacuation n'ont pas une largeur minimum de 1,20 m si les deux battants sont ouverts

Moyen Toutes les portes placées sur les circuits d'évacuation ont une largeur minimum de 1,20 m si les deux battants sont ouverts mais les autres portes accessibles au public n'ont pas toute une largeur minimale de 0,90 m

Elevé Toutes les portes des locaux accessibles au public ont une largeur minimum de 0,90 m, et celles des circuits d'évacuation ont toutes une largeur minimum de 1,20 m si les deux battants sont ouverts

Faible	Moyen	Elevé

22 Sens d'ouverture des portes

Faible Toutes les portes des circuits d'évacuation ne s'ouvrent pas dans le sens de la sortie

Moyen Toutes les portes des circuits d'évacuation s'ouvrent dans le sens de la sortie

Elevé Toutes les portes de l'établissement accessibles au public s'ouvrent dans le sens de la sortie

Faible	Moyen	Elevé

23 Marches isolées

Vérifier la présence de marches isolées (une ou deux marches hors escaliers)

Faible Il y a des marches isolées sur les circuits d'évacuation

Moyen Il n'y a pas de marches isolées sur les circuits d'évacuation

Elevé Il n'y a pas de marches isolées dans l'ensemble de l'établissement

Faible	Moyen	Elevé

Indice de Sécurité de l'établissement par rapport à ses CAPACITES FONCTIONNELLES

Nombre d'items notés **FAIBLE** dans cette rubrique

Nombre d'items notés **MOYEN** dans cette rubrique

Nombre d'items notés **ELEVE** dans cette rubrique

Conclusion sur l'Indice de Sécurité de l'établissement par rapport à ses CAPACITES FONCTIONNELLES

7^{ème} partie: Eléments relatifs à la sécurité opérationnelle de l'établissement en cas de crise

Les informations de cette 7^{ème} partie doivent être complétées par l'administration de l'établissement de santé concerné en concertation avec la cellule de crise de l'hôpital

A	Plan de gestion d'afflux de victimes	Commentaires						
1	<p>Elaboration d'un Plan Blanc L'hôpital a élaboré son propre plan de réponse en cas d'afflux massif de victimes (Plan Blanc)</p> <p>Faible : L'hôpital n'a pas élaboré de Plan de réponse (Si pas de Plan répondre à cette question puis passer directement en B) Moyen : Un Plan de réponse a été rédigé mais le personnel n'y a pas été formé ou les ressources matérielles ne sont pas disponibles Elevé : Le Plan a été rédigé, le personnel a été formé et les ressources matérielles sont en place pour exécuter le plan</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
2	<p>Fiches opérationnelles Le plan élaboré contient des fiches opérationnelles détaillant les tâches et responsabilités de chacun des personnels impliqués</p> <p>Faible : Le Plan ne contient pas de fiches opérationnelles Moyen : Le Plan contient des fiches opérationnelles mais celles-ci ne sont pas personnalisées Elevé : Le Plan de l'hôpital contient des fiches opérationnelles spécifiquement adaptées à l'établissement et aux personnes responsables</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
3	<p>Cellule de Crise Vérifier que le Plan contient la création d'une Cellule de Crise et que les personnels désignés sont clairement identifiés et facilement joignables</p> <p>Faible : Le Plan n'inclut pas de Cellule de Crise Moyen : Le Plan inclut une Cellule de Crise mais les personnels de cette cellule ne sont pas identifiés ou non joignables Elevé : Les personnels de la Cellule de Crise sont identifiés, ils sont en poste dans l'hôpital et facilement joignables par téléphone</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
4	<p>Composition de la Cellule de Crise : Vérifier que la composition de la Cellule de Crise est pluridisciplinaire (médecins, infirmières, logisticien...)</p> <p>Faible : Le Plan n'a pas de Cellule de Crise ou la Cellule de Crise n'est représentée que par une seule discipline Moyen : La Cellule de Crise est représentée par 2 ou 3 disciplines Elevé : La Cellule de Crise est représentée par plus de 3 disciplines</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						

5 Localisation de la Cellule de Crise

Vérifier qu'un local pour la Cellule de Crise est identifié et que les membres le connaissent

Faible *Le Plan n'a pas de Cellule de Crise ou aucun local n'a été formellement identifié*

Moyen *Un local est formellement identifié dans le Plan mais tous les membres de la Cellule de Crise ne le connaissent pas*

Elevé *Un local a été formellement identifié et tous les membres de la Cellule de Crise le connaissent*

Faible	Moyen	Elevé

6 Activation du Plan Blanc

Vérifier que le Plan Blanc spécifie son responsable et les critères de son déclenchement.

Faible *La personne responsable du déclenchement du Plan Blanc n'est pas identifiée*

Moyen *La personne responsable du déclenchement du Plan est identifiée mais les critères de déclenchement ne sont pas définis*

Elevé *La personne responsable et les critères de déclenchement sont clairement précisés dans le Plan*

Faible	Moyen	Elevé

7 Valise de Crise

Vérifier que la Cellule de Crise dispose du matériel nécessaire à son fonctionnement (Valise de crise: annuaire, matériel de triage, plan blanc et fiches opérationnelles, cartes téléphoniques) et accessible

Faible *L'hôpital n'a pas de Plan Blanc ou aucun matériel n'a été préparé pour le fonctionnement de la Cellule de Crise*

Moyen *Seuls certains matériels pour le fonctionnement de la Cellule de Crise ont été préparés ou l'ensemble des matériels est prêts mais seul le directeur y a accès*

Elevé *L'ensemble des matériels pour le fonctionnement de la Cellule de Crise est prêt et le directeur ainsi que son suppléant y ont accès*

Faible	Moyen	Elevé

8 Annuaire

Vérifier que l'établissement dispose d'un annuaire des personnels disponibles et à jour

Faible *L'établissement ne dispose pas d'annuaire de ses personnels*

Moyen *L'établissement dispose d'un annuaire de ses personnels mais celui-ci n'a pas été mis à jour depuis 6 mois ou il n'est pas disponible au sein de la Cellule de Crise*

Elevé *La Cellule de Crise dispose d'un annuaire des personnels mis à jour depuis moins de 6 mois*

Faible	Moyen	Elevé

9 Simulations

Vérifier que des exercices de simulation de la gestion d'afflux de victimes ont été organisés

Faible *Aucune simulation n'a jamais été organisée*

Moyen *Des simulations sur table ou de terrain ont été organisées depuis plus d'un an ou leurs ajustements n'ont pas été faits*

Elevé *Des simulations ont été réalisées depuis moins d'un an et les ajustements ont été mis en œuvre*

Faible	Moyen	Elevé

10 Kits d'urgence

Vérifier la disponibilité d'au moins un kit polytraumatisés

- Faible L'hôpital ne dispose pas de kits polytraumatisés disponibles ou ceux-ci ne sont pas complets
- Moyen L'hôpital dispose de kits polytraumatisés mais ceux-ci ne sont pas disponibles de façon simple et rapide
- Elevé L'hôpital dispose d'au moins un kit polytraumatisés complet et celui-ci est prêt et disponible immédiatement en cas de besoin

Faible	Moyen	Elevé

11 Triage

- Faible Le Plan Blanc ne précise pas les personnes responsables du Triage et de ses différentes zones
- Moyen Le Plan Blanc précise les personnes responsables des différentes zones de Triage mais celles-ci n'ont pas été formées
- Elevé Le Plan Blanc précise les personnes responsables des différentes zones de Triage, et celles-ci ont été formées

Faible	Moyen	Elevé

12 Fournitures pour l'Accueil et le Triage

Vérifier que l'établissement dispose de fiches d'enregistrement et de codage des victimes

- Faible Le service d'accueil Triage ne dispose pas de fiche d'enregistrement des victimes ou de matériel pour noter la couleur attribuée aux victimes
- Moyen L'établissement dispose de fiches d'enregistrement et de Triage mais elles ne sont pas stockées dans la Valise de Crise
- Elevé L'établissement dispose des fiches d'enregistrement et de Triage et celles-ci sont stockées dans la Valise de Crise

Faible	Moyen	Elevé

13 Accès et circulation en cas de crise

Vérifier qu'il existe une planification de l'accès et de la circulation autour et au sein de l'établissement

- Faible Les circuits extérieurs ou intérieurs à l'établissements n'ont pas été prévus dans le Plan Blanc.
- Moyen Les accès autour et au sein de l'établissement ont été précisés dans le Plan mais il ne dispose pas de matériel pour les mettre en place
- Elevé Les accès autour et au sein de l'établissement ont été précisés dans le Plan et il dispose des petits matériels pour les mettre en place

Faible	Moyen	Elevé

14 Suivi psychologique en cas de crise

Vérifier que le Plan précise comment est organisé la prise en charge psychologique en cas de crise

- Faible Aucune disposition pour la prise en charge psychologique n'a été précisée dans le Plan
- Moyen Des dispositions spécifiques sont précisées dans le Plan mais le personnel pour cette prise en charge n'est pas identifié
- Elevé Des dispositions existent dans le Plan et le personnel est identifié et formé

Faible	Moyen	Elevé

B

Capacités de l'établissement

Commentaires

15 Evacuation de l'établissement

Vérifier les procédures d'évacuation de l'établissement.

- Faible Les procédures d'évacuation des patients en cas de sinistre de l'établissement n'existent pas
- Moyen Les procédures d'évacuation des patients sont précisées dans un document mais aucune simulation n'a été effectuée
- Elevé Les procédures d'évacuation des patients existent et le personnel est formé et entraîné

Faible	Moyen	Elevé

16. Transport ambulancier

Vérifier que l'établissement dispose d'au moins une ambulance ou autre véhicule disponible pour le transport de blessés

Faible L'établissement ne dispose d'aucun véhicule pour organiser le transport des blessés

Moyen L'établissement dispose d'un véhicule qui peut éventuellement être utilisé pour le transport des blessés

Elevé L'établissement dispose d'au moins une ambulance en état de marche

Faible	Moyen	Elevé

17. Service des urgences

Vérifier la disponibilité et l'entretien des matériels spécifiques au service d'urgences

Faible Le service des urgences ne dispose pas du matériel minimum pour répondre aux urgences

Moyen L'hôpital dispose de matériels pour répondre aux urgences mais en quantité trop restreinte pour en cas d'afflux de victimes

Elevé L'hôpital dispose de matériels spécifiques pour la gestion des urgences en quantité suffisante et bien entretenu

Faible	Moyen	Elevé

18. Stérilisation

Vérifier que l'unité de stérilisation dispose de matériels stériles pour une utilisation en cas d'urgence

Faible L'hôpital ne dispose pas de matériels stérilisés l'avance

Moyen L'hôpital dispose de matériels stérilisés couvrant moins de 48 heures

Elevé L'hôpital dispose de matériels stérilisés garantis pour une durée minimale de 48 heures

Faible	Moyen	Elevé

19. Espace utilisable

Vérifier que le Plan a identifié des espaces physiques pouvant être utilisés pour organiser le Triage des victimes

Faible La zone de triage n'a pas été identifiée

Moyen La zone de triage a été identifiée mais le personnel n'a pas été formé à l'organisation de l'espace

Elevé La zone de triage est identifiée, le personnel a été formé, et les petits matériels pour son organisation sont disponibles

Faible	Moyen	Elevé

20. Extension des services de prise en charge

Vérifier que des procédures sont prévues pour libérer des lits au sein de l'établissement

Faible Les procédures pour libérer des lits n'existent pas dans le Plan Blanc

Moyen Les procédures pour libérer des lits existent dans le Plan Blanc mais le personnel n'a pas été formé

Elevé Les procédures pour libérer des lits existent dans le Plan Blanc et le personnel a été formé

Faible	Moyen	Elevé

21. Procédures pour le placement temporaire des corps

Vérifier que le Plan Blanc a identifié un espace pour déposer des corps

Faible Le Plan Blanc ne précise pas comment gérer un afflux de corps

Moyen Le Plan Blanc précise l'espace prévu pour les corps mais le personnel n'est pas informé

Elevé Le Plan Blanc précise l'espace prévu pour les corps, sa capacité et le personnel est informé

Faible	Moyen	Elevé

C	Liens avec la communauté	Commentaires						
22	<p>Coopération avec la communauté</p> <p>Vérifier qu'en cas de crise, une coopération est prévue entre l'hôpital et la communauté</p> <p>Faible <i>Le Plan Blanc ne rattifie aucune coopération avec la communauté</i></p> <p>Moyen <i>Le Plan Blanc stipule qu'une coopération est possible avec la communauté sans plus de précisions</i></p> <p>Elevé <i>Le Plan Blanc précise le support spécifique apporté par la communauté en cas de crise et les moyens de joindre les responsables</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
23	<p>Electricité</p> <p>Vérifier que l'établissement a identifié un électricien dans la communauté pour intervenir en cas de besoin</p> <p>Faible <i>Aucun électricien n'a été identifié dans le Plan Blanc</i></p> <p>Moyen <i>Un électricien a été identifié mais ses coordonnées ne sont pas à jour</i></p> <p>Elevé <i>Un électricien a été identifié et il est facilement joignable</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
24	<p>Alimentation des personnels</p> <p>Vérifier que l'établissement a identifié des personnes au sein de la communauté pour préparer des repas pour le personnel en cas de crise</p> <p>Faible <i>Le Plan ne stipule aucune disposition pour nourrir le personnel en cas de crise</i></p> <p>Moyen <i>Le Plan précise les dispositions à mettre en place pour nourrir le personnel en cas de crise mais les fonds ne sont pas prévus dans le budget</i></p> <p>Elevé <i>Le Plan précise les dispositions à mettre en place pour nourrir le personnel en cas de crise et les fonds sont prévus dans le budget</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
D	Epidémies	Commentaires						
25	<p>Epidémies</p> <p>Vérifier qu'un plan a été élaboré pour la gestion d'un afflux de malades du fait d'une épidémie</p> <p>Faible <i>Aucune disposition n'a été précisée dans le Plan</i></p> <p>Moyen <i>Des dispositions spécifiques sont précisées dans le Plan mais le personnel n'est pas formé</i></p> <p>Elevé <i>Des dispositions existent dans le Plan et le personnel est formé</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						
26	<p>Mise à disposition d'un espace</p> <p>Vérifier qu'un espace est identifié pour être mis à disposition en cas d'épidémie</p> <p>Faible <i>Aucun espace n'a été identifié pour être utilisé en cas d'épidémie</i></p> <p>Moyen <i>Un espace est identifié mais le personnel ne le connaît pas</i></p> <p>Elevé <i>Un espace a été identifié, et les personnels connaissent les procédures pour sa mise à disposition</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Faible</th> <th>Moyen</th> <th>Elevé</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Faible	Moyen	Elevé			
Faible	Moyen	Elevé						

27 Protection des personnels

Vérifier que l'établissement dispose d'un stock de matériels de protection (gants, masques...) pour le personnel travaillant en zone

Faible L'établissement ne dispose d'aucun stock de matériels de protection

Moyen L'établissement dispose d'un stock de matériels de protection couvrant moins de 48 heures

Élevé L'établissement dispose d'un stock de matériels de protection garanti pour une durée minimale de 48 heures

Faible	Moyen	Élevé

Indice de Sécurité de l'établissement par rapport à sa sécurité opérationnelle

Nombre d'items notés **FAIBLE** dans cette rubrique

Nombre d'items notés **MOYEN** dans cette rubrique

Nombre d'items notés **ELEVE** dans cette rubrique

Conclusion sur l'Indice de Sécurité de l'établissement par rapport à sa SECURITE OPERATIONNELLE

6. BIBLIOGRAPHIE

Sécurité des hôpitaux

1. Pan American Health Organization. *Guidelines for vulnerability reduction in the design of new health facilities*. Washington, D. C.: OPS; 2004.
2. Pan American Health Organization. *Safe Hospitals. A Collective Responsibility. A Global Measure of Disaster Reduction*. Washington, D. C.: OPS; 2005.
3. Pan American Health Organization. *Curso de planeamiento hospitalario para casos de desastres. Curso PHD*. Washington, D. C.: OPS; 2005.
4. Pan American Health Organization. *Manual de simulacros hospitalarios de emergencia*. Washington, D. C.: OPS; 1995
5. Pan American Health Organization. *Hospitales seguros frente a desastres. Taller de evaluadores de hospitales seguros* (CD). PED-América Central. OPS. San José (Costa Rica): CRID; 2008.
6. Pan American Health Organization. *Reducción del daño sísmico. Guía para las empresas de agua*. Serie Salud Ambiental y Desastres. Lima (Perú): OPS; 2003.
7. Pan American Health Organization. *Principles of Disaster Mitigation in Health Facilities*. Washington, D. C.: PAHO; 2000.
8. Ministry of Health of Nepal and World Health Organization. *Guidelines on Non-Structural Safety in Health Facilities*. Kathmandu; 2004.
9. World Health Organization and National Society for Earthquake Technology – Nepal (NSET). *Guidelines for Seismic Vulnerability Assessment of Hospitals*. Kathmandu; 2004.
10. National Society for Earthquake Technology-Nepal (NSET), Ministry of Health of Nepal and World Health Organization. *Non-structural Vulnerability Assessment of Hospitals in Nepal*. Kathmandu; 2003.
11. World Health Organization, Ministry of Health of Nepal and National Society for Earthquake Technology-Nepal (NSET). *A Structural Vulnerability Assessment of Hospitals in Kathmandu Valley*. Kathmandu; 2002.
12. Instituto Mexicano del Seguro Social, Secretaría de Gobernación de México, Organización Panamericana de la Salud. *Curso para Evaluadores del Programa Hospital Seguro*. México DF; 2007.

Etudes d'aléas pour Haïti

- 13; Mora Sergio et al., *Analysis of Multiple Natural Hazards in Haiti (NATHAT)*, Government of Haiti, with support from the World Bank, the Inter-American Development Bank, and the United Nations System February–March 2010.
- 14 Mora Sergio et al., *Analyse des menaces naturelles multiples (MULTIMENHAS-2)*, Gouvernement d'Haïti, avec l'appui de la Banque Mondiale, et du Global Facility for Disaster Reduction and Recovery. Octobre 2011.

