

République d'Haïti

Séisme de Port-au-Prince

12 janvier 2010

Rapport d'expertise des bâtiments

Victor DAVIDOVICI



Jusqu'où faut-il connaître l'erreur
pour accéder à la vérité ?



Séisme de Port-au-Prince 12 janvier 2010

Rapport d'expertise des bâtiments

Sommaire

Première partie

- I Objectifs**
- II Conclusions**
- III Remerciements**
- IV De la raison d'être de l'ingénieur.....**

Deuxième partie

Expertise d'urgence des bâtiments

- 1. Remarques préliminaires**
- 2. Palais National de la République d'Haïti**
- 3. Ambassade de France**
- 4. Résidence de l'Ambassadeur**
- 5. Hôpital Universitaire d'Etat d'Haïti**
- 6. Hôpital de TURGEAH**
- 7. Congrégation des Pères du Saint-Esprit**
- 8. Collège Saint-Pierre**
- 9. Hôtel Montana**
- 10. Ministère de l'Economie et des Finances**
- 11. Bâtiments Telecom**
- 12. Prison Centrale de Port-au-Prince**
- 13. Divers bâtiments**
- 14. Accessibilité aux victimes**
- 15. Constructions sur pentes instables**
- 16. Le Port**

Première partie

I. Objectifs

II. Conclusions

III. Remerciements

IV. De la raison d'être de l'ingénieur...

I. Objectifs

Suite au séisme du 12 janvier 2010 une Mission Interministérielle pour la Reconstruction d'Haïti (MIRH) s'est rendue à Port-au-Prince du vendredi 5 février au mardi 9 février 2010.

La mission était composée de :

Thierry Le LAY, Gilles LEBLANC, Victor DAVIDOVICI, Jérôme BOUET, J-L DURAND-DROUHIN, François GUYOT, Pierre HOUPKIAN, Daniel SCHLOSSER et Yvon Le GOUEFFLEC.

Cette mission avait pour objectif d'analyser les possibilités de mettre en place une stratégie de reconstruction et de proposer des actions prioritaires.

II. Conclusions

La catastrophe du 12 janvier, en ruinant la capitale haïtienne, a réveillé les consciences¹, parce que ce séisme ouvre le formidable défi de la reconstruction

Les destructions massives constatées n'ont hélas rien d'inattendu, du fait de l'inexistence de codes de construction et plus spécifiquement de l'absence de règles parasismiques, de la non adéquation entre le type de fondations et la qualité du sol, de la mauvaise qualité du béton et de sa mise en œuvre... Plus grave encore, les constructions édifiées depuis les années 1910 - qui ont connu l'avènement du béton armé - à nos jours ne respectent même pas les règles élémentaires de bonne construction hors zone sismique.

Cette déplorable qualité de la construction est perceptible aussi bien pour les bâtiments construits entre 1910 et 1920 (Palais Présidentiel, Résidence de l'Ambassadeur de France...) que pour les bâtiments plus récents (Ecole de la Congrégation des Saints-Pères en 1950 et surtout Hôpital Turgeah, terminé en 2009).

Dans la partie centrale de Port-au-Prince, les rares bâtiments restés en bon état ont été construits dans le respect de règles parasismiques américaines ACI 318-99. Ailleurs, il est fort probable que la tenue convenable des bâtiments ou de certains quartiers s'explique soit par l'existence d'un sol rocheux, soit par la présence de nombreux murs en maçonnerie porteuse, soit encore par une bonne qualité d'exécution, soit enfin par la conjonction de tous ces facteurs.

Le séisme est une agression majeure totale. Il attaque un bâtiment dans son ensemble et dans toutes ses parties jusqu'au moindre détail ; l'agression sismique est le révélateur de dispositions irréflechies, de défauts, d'insuffisances, de vices de conception, de calculs et d'exécution qui, sans séisme, pourraient rester à jamais cachés.

Si un projet est mal conçu par l'architecte, la structure a beau être calculée pour satisfaire à la lettre aux règles parasismiques, le bâtiment restera congénitalement vulnérable.

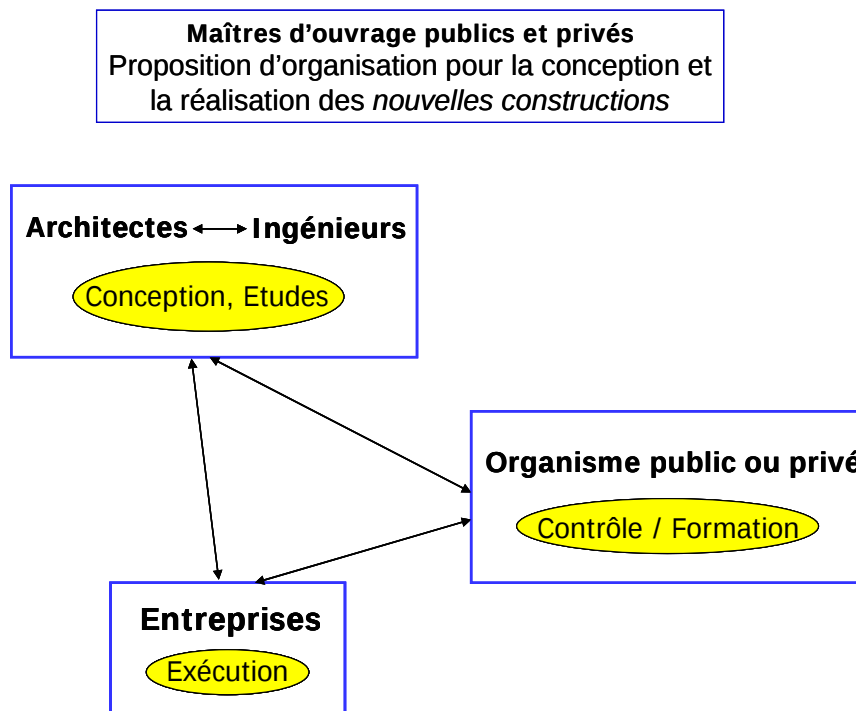
Le contraire est encore plus évident : une construction de conception architecturale saine n'a aucune chance de résister, si les calculs de l'ingénieur ne sont pas représentatifs et bien entendu si les plans d'exécution ne comportent pas les détails nécessaires à une bonne exécution.

¹ Wiener Kerns Fleurimonde, Tout un territoire à réorganiser, Haïti Liberté – New York, Courrier International n° 1005 du 4 au 10 février 2010, Haïti Edition spéciale

Pour toute nouvelle construction, il en résulte une nécessité absolue : la collaboration architecte – ingénieur (suivant schéma ci-après).

Dans ce cas, le maître d'ouvrage public ou privé doit :

- Associer – dès les premières esquisses du bâtiment à construire - l'architecte et l'ingénieur,
- Leur donner mandat explicite de concevoir ensemble un ouvrage parasismique,
- L'architecte doit connaître et comprendre les principes de l'architecture parasismique et accepter que l'ingénieur l'aide dans la conception,
- L'ingénieur doit savoir, vouloir et pouvoir être co-concepteur et pas seulement calculateur



Pour les constructions existantes endommagées par le séisme de Port-au-Prince, il s'agit d'une réhabilitation (confortement) d'urgence. D'où la nécessité absolue de mettre en place une collaboration entre entreprise - ingénieur – architecte (voir schéma ci-après).

On constate que, pour l'heure, il n'y a pas de solution autre que d'agir selon le jugement d'experts, selon le consensus des professionnels compétents, en tenant compte de l'apport essentiel des enseignements des séismes qui se sont produits dans le monde et dont nous avons un retour d'expérience conséquent. Il faut l'accepter

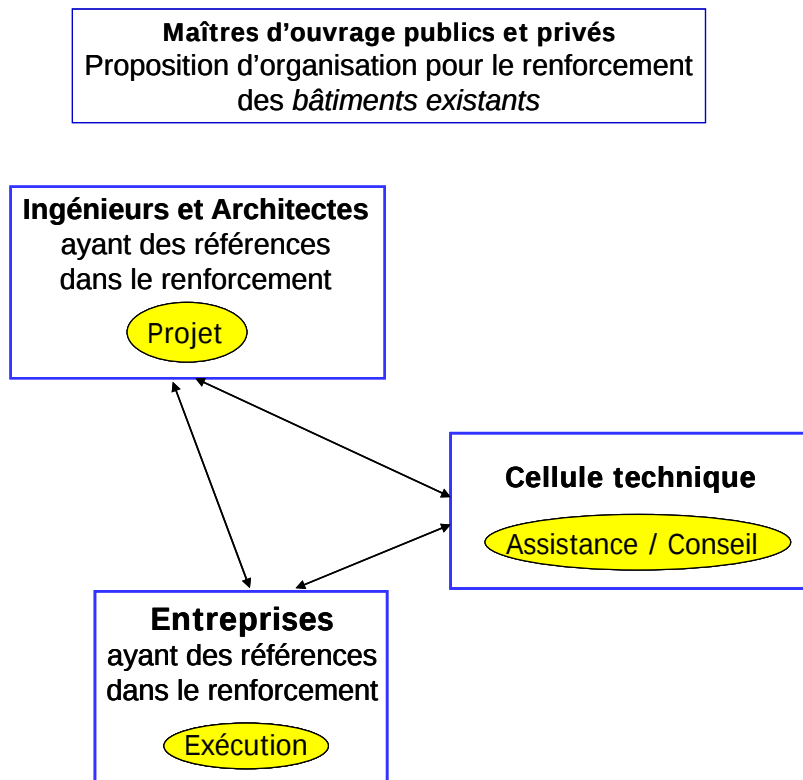
Dans cette situation, le maître d'ouvrage public ou privé doit :

- Identifier les entreprises qualifiées disposant des moyens correspondants en personnel et en matériel,
- Sélectionner les ingénieurs dans les bureaux d'études pour proposer les solutions de confortement les plus adaptées,
- Choisir les architectes et les convaincre d'intégrer des équipes d'ingénieurs, afin de rendre le bâtiment à sa destination initiale.

La manière dont le programme de confortement sera mis en place aura bien entendu des conséquences sur tout le bâti existant et sur les projets des nouvelles constructions.

Il est donc proposé d'organiser, pour la réussite de toutes ces actions, une coordination unique avec mise en place d'une **cellule d'assistance et de conseil** disposant de toutes les prérogatives nécessaires.

En fonction des priorités définies, cette cellule sera chargée de suivre toutes les phases du renforcement.



Le résultat est un compromis entre le souhaitable et le possible : un choix de société à la fois viable et acceptable ; ainsi pour la reconstruction de Port-au-Prince, à la date de la rédaction de ce rapport, on pourrait imaginer comme actions prioritaires :

- a. Provoquer un choc dans la culture de construction en général et en zone sismique en particulier, en imposant la construction parasismique. L'agression sismique n'accepte aucun compromis par rapport à la réglementation en vigueur, elle constitue un essai en vraie grandeur qui met un bâtiment à l'épreuve. On a donc dépasser les phases de conception et de calcul, on est dans la réalité.
- b. Etablir clairement la chaîne des professionnels intervenant dans la construction des bâtiments et faciliter l'émergence de bureaux d'études spécialisés.
- c. Editer en urgence les recommandations parasismiques et paracycloniques dans le cadre d'un code de la construction. La réglementation est une convention à un moment donné de l'évolution du savoir technique et de la société. C'est un consensus en évolution constante. Aussi pour concrétiser la politique de prévention, il faut réaliser un « instantané » et le rendre obligatoire.
- d. Renforcer d'urgence les bâtiments qui ont subi des endommagements limités, comme par exemple l'Hôpital Universitaire d'Etat d'Haïti.

- e. Réfléchir sur la réparation et/ou le renforcement des bâtiments qui constituent le patrimoine national.
- f. Installer des usines de fabrication de béton prêt à l'emploi ; producteurs homologués et contrôlés.
- g. Ouvrir un centre de formation aux métiers du bâtiment.
- h. Former en urgence des ingénieurs de bureaux d'études.
- i. Former des architectes de façon très pratique.
- j. Mettre en place des équipes de contrôle de la construction.

Le séisme est l'épreuve de la vérité pour l'ensemble du bâti et surtout pour tous les participants à l'acte de construire.

Il s'agit maintenant de transformer cette douloureuse épreuve par la mise en œuvre d'une démarche réfléchie, qui aboutira à la mise en place systématique de systèmes de construction conformément aux règles parasismiques et paracycloniques et au renforcement des bâtiments existants.

Ainsi la vie pourra être sauvegardée lors des séismes à venir.



Dans l'esprit d'Auguste Conte, ce rapport pourrait être l'occasion de partager ensemble ce retour d'expérience lors des prochaines rencontres en France et en Haïti.

III. Remerciements

Je tiens à remercier vivement **Monsieur l'Ambassadeur de France, Didier Le BRET**, qui a facilité le travail de notre mission et a trouvé aussi le temps nécessaire pour recueillir nos toutes premières conclusions.

Je souhaite aussi exprimer toute ma gratitude à l'ensemble du personnel de l'Ambassade de France pour sa disponibilité dans cette période de gestion de crise post sismique.

Nous avons été accompagnés et entourés par les équipes de la Sécurité Civile, de la Gendarmerie et de la Police. Je les remercie sincèrement de nous avoir permis de nous rendre sur les sites expertisés dans le présent rapport.

Merci aux Haïtiens qui, dans ces circonstances dramatiques, nous ont, malgré tout, aidés dans notre démarche et particulièrement :

- Daniel ELI, Directeur de l'Institut de Sauvegarde du Patrimoine National,
- Alix LASSEGUE, Directeur Général de l'Hôpital Universitaire d'Etat d'Haïti,
- Dominique FRANCK-SIMON, Président de l'Association Amicale du Petit Séminaire Collège Saint-Martial,
- Réginald BAUSSAN, de SETEC-Industries Paris,

IV. De la raison d'être de l'ingénieur.....

Victor DAVIDOVICI

Président d'Honneur de l'Association Française de Génie Parasismique (A.F.P.S.)

Extraits des conférences : Alger 2003, Fort-de-France 2007, Strasbourg 2009, Bombay et New Delhi 2009, Pointe-à-Pitre 2010

Ce qui a tremblé tremblera à nouveau

Le séisme appartient à une catégorie de risque spécial, dans la mesure où les pertes en vie humaine sont imputables aux structures bâties par l'homme lui-même.

Peut-on prévoir un tremblement de terre ? A ce jour rien ne permet hélas de répondre positivement à la question. Tout au plus dispose-t-on de quelques indicateurs plus ou moins empiriques.

Les séismes seraient sans doute moins meurtriers si l'on pouvait prévenir à temps les populations menacées, encore faudrait-il savoir prévoir où et quand se produiront les tremblements de terre....

Quand bien même on saurait le faire, les prévisions risqueraient de soulever des problèmes sociaux, économiques, politiques et psychologiques énormes.

Dés lors qu'on admet la potentialité du risque et l'impossibilité de le prévenir, la seule prévention valable reste la construction parasismique.

Il faut donc mettre en place une politique de prévention.

Le choix de cette politique est plus ou moins conscient, plus ou moins explicite, mais toujours pragmatique :

« faire ce qu'on dit et le faire avec constance... »

C'est un compromis difficile à réaliser. Il s'élabore dans le dialogue entre le citoyen, le milieu scientifique et technique, et la puissance publique (élus et administrations).

On peut affirmer qu'avec le Génie Parasismique, nous disposons aujourd'hui d'un ensemble de connaissances scientifiques, techniques et de mise en œuvre qui permet de « construire parasismique », c'est-à-dire de sauvegarder les vies humaines et de limiter les pertes économiques à un niveau acceptable pour la société.

Le Génie Parasismique est une matière en constante évolution ; il implique une remise en cause permanente du savoir acquis. Il trouve son origine à la fois dans les sciences de la terre et celles de la construction.

Chaque séisme majeur lui permet de progresser et d'enregistrer de nouveaux éléments pour une construction parasismique toujours plus adaptée, à la fois sûre et économique.

On comprendra donc que pour obtenir des performances de qualité pour les constructions en zone sismique, il est essentiel de conserver une attitude critique, qu'il s'agisse de l'application des divers textes et règlements, ou de la remise en cause du savoir acquis, autant de fois qu'il sera nécessaire.

Il s'agit bien là d'un choix de société !

Quel prix la société est-elle prête à payer aujourd'hui pour que des générations futures puissent vivre dans un environnement mieux protégé face aux séismes, qu'il ne l'est à l'heure actuelle ?

Bien entendu, le champ est vaste, les compétences multiples autant que variées, les avis peuvent diverger, mais la réalité est la même pour tous et pour chacun : les points d'application du génie parasismique sont essentiellement projetés vers l'avenir.

Un avenir qui, à l'inverse des spéculations sur le non-risque ou sur la probabilité de son échéance, se mesure en qualité et en quantité des connaissances acquises au profit de la conception et de la réalisation de bâtiments résistants aux tremblements de terre.

S'il est raisonnable de penser que l'action sismique restera pour longtemps imprévisible, en revanche **nous sommes responsables** de l'application qu'il appartient de faire des avancées techniques que le Génie Parasismique met à notre disposition.

Nous serions coupables de ne pas les utiliser, au regard des risques encourus et de nos devoirs envers la société.

Deuxième partie

Expertise d'urgence des bâtiments

1. Remarques préliminaires

Haïti, comme la Martinique et la Guadeloupe, est situé en bordure de la plaque Caraïbe, un endroit sujet à des séismes majeurs. Par deux fois déjà, en 1751 et 1771, Port-au-Prince avait été sérieusement endommagé par d'importants séismes¹, attribuables à cette même faille qui a provoqué le tremblement de terre destructeur du 12 janvier 2010.

A ce jour, on ne connaît pas les valeurs des accélérations du séisme du 12 janvier par manque de stations accélérométriques. Par contre, l'équipe américaine EERI-USGS² a enregistré une accélération maximale de 0,19 g lors de la réplique du 20 janvier.

De nombreux experts se sont succédés en Haïti après le 12 janvier avec autant d'avis, souvent incomplets, voire imprécis. Ce rapport ne prétend pas apporter de réponse exhaustive, mais un éclairage sur les causes d'un tel drame et une contribution à la reconstruction de Port-au-Prince.

Systemes de construction

Difficile de mettre en évidence a priori un système de construction. En tout cas, nous avons la certitude, qu'hormis quelques bâtiments construits suivant des normes parasismiques américaines ACI-318-99, les constructions n'ont pas été calculées pour une force horizontale, quelle que soit l'origine sismique ou cyclonique.

On rencontre des structures (fig. 1-1) comportant des poteaux et des poutres en béton armé (sans pour autant être des portiques) avec remplissage en parpaings de 15 à 18 cm avec double paroi et des poteaux qui s'apparentent plutôt à des chaînages (!).

On trouve aussi un grand nombre de bâtiments dont les murs seraient porteurs en pierres ou en briques datant des années 1900, bien entendu sans aucun chaînage ; quant aux tirants mis en place à la construction, ils étaient détendus probablement à cause de leurs extrémités complètement corrodées.

On constate par ailleurs l'inexistence de dispositions parasismiques (fig. 1-6) : pour les zones critiques aux extrémités des poteaux et des poutres, pour les nœuds et planchers devant fonctionner en diaphragme (fig. 1-2)....

Qualité des matériaux

Depuis les années 1910 à nos jours 2010 la composition du béton n'a pas évolué (fig. 1-3 à 1-5):

- Graviers composés de petits galets de rivière,
- Sable obtenu à partir des carrières de calcaire (fig. 1-7),
- Ciment en fonction de la consistance souhaitée pour le béton, sans aucun respect d'une quantité minimale.

Dans ces conditions, il est bien évident qu'on ne peut obtenir la qualité requise pour un ouvrage en béton armé et encore moins pour un ouvrage en zone sismique.

¹ AFPS, Informations préliminaires sur le séisme d'Haïti, Pierre-Yves Bard, 15 janvier 2010

² USGS/EERI Advance Reconnaissance Team, TEAM REPORT, V. 1.0, February 18, 2010



Fig. 1-1 Doubts sur le type de structure : murs en maçonnerie porteuse ou portiques BA



Fig. 1-3 Dalle mixte avec des éléments creux et quadrillage d'armatures



Fig. 1-3 Béton à base de galets, 1915



Fig. 1-4 Béton à base de galets, 2009



Fig. 1-5 Béton à base de galets, 1945



Fig. 1-6 Inexistence de dispositions parasismiques



Fig. 1-7 Sol calcaire pour extraire le sable



Fig. 1-8 Parpaings en sable de calcaire

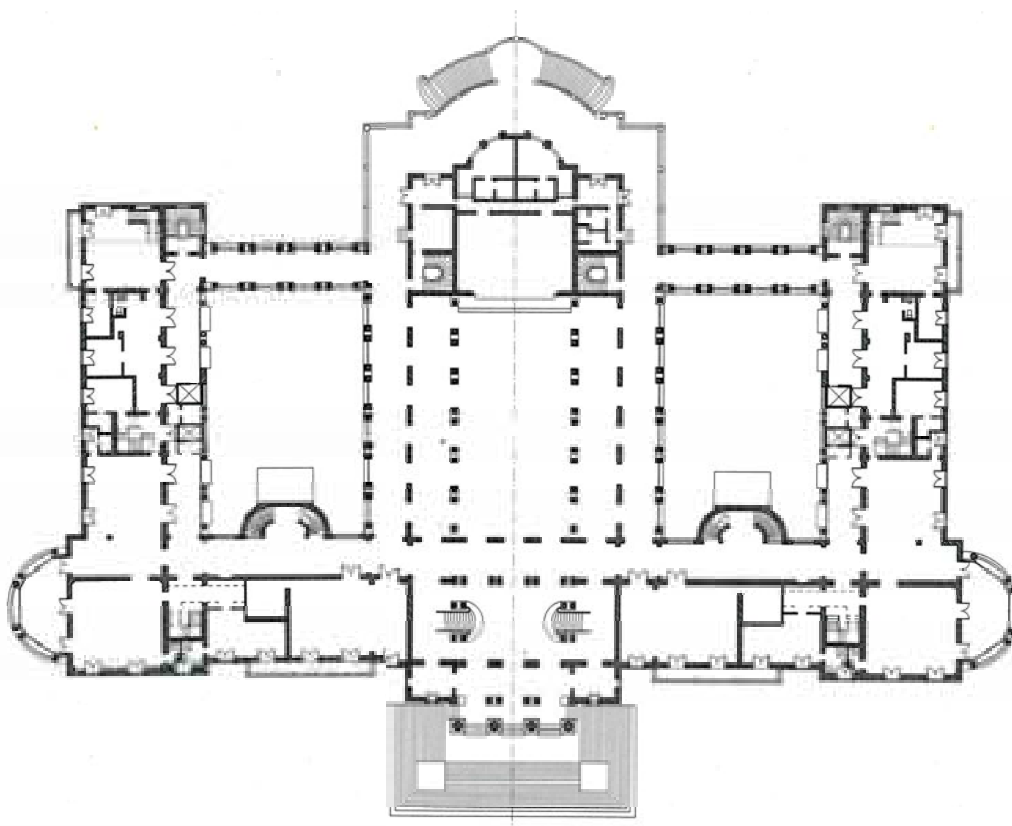
2. Palais National de la République d'Haïti

Les travaux de construction du Palais Présidentiel ont été achevés vers 1922.

Il est important de rappeler que les règles parasismiques n'existent que depuis 30 ans environ. Par conséquent la conception du Palais ne pouvait être parasismique :

- a) fondations inadaptées aux conditions du sol,
- b) irrégularité du bâtiment, tant en plan qu'en élévation, ce qui expliquerait, l'effondrement des niveaux supérieurs,
- c) combinaison de plusieurs types de structures (murs en béton armé, murs en maçonnerie porteuse, portiques en béton armé),
- d) incapacité pour les planchers d'équilibrer et de transmettre les efforts horizontaux
- e) absence de dispositions spécifiques pour les zones critiques des éléments en béton armé,
- f) fragilisation du bâtiment suite aux nombreuses modifications et adaptations.

Dans l'état (fig. 2-1 à 2-8), l'ouvrage est irrécupérable, y compris pour les parties qui semblent en bon état. En effet, leur sauvegarde du point de vue parasismique et leur intégration dans un nouveau projet ne feront qu'alourdir inutilement le projet de reconstruction et donc le coût global.



La démolition du Palais concernera aussi les fondations existantes. Par la suite, il faudra lancer le plus tôt possible une campagne de reconnaissance du sol qui permettra de définir le type de fondations le plus adapté au projet de reconstruction.

La conception et la réalisation du nouveau Palais National devront se faire :

- a) à partir d'un plan de microzonage de Port-au-Prince établi par le BRGM de manière à connaître le risque sismique au droit du Champs-de-Mars ?
- b) sur la base d'un règlement parasismique et paracyclonique d'urgence, avec comme animateur le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment / France
- c) par une conception parasismique issue d'une collaboration étroite architecte- ingénieur dans laquelle pourra être intégrée une nouvelle coupole rappelant la forme actuelle à forte valeur symbolique.
- d) par une qualité de mise en œuvre exemplaire par une entreprise connaissant les dispositions spécifiques parasismiques, tout en intégrant la main d'œuvre locale.

Les bâtiments faisant partie de l'ensemble présidentiel ont subis diversement l'action sismique mais tous sont constitués par des structures en portiques avec panneaux de remplissage en maçonnerie de parpaings. La faible résistance des parpaings avec double paroi et leur destruction a agi comme un fusible ce qui a permis de « sauver » la structure principale.

Bâtiment avec un rez-de-chaussée et trois niveaux (fig. 2-9) :

- structures en portiques et remplissage maçonnerie
- porte-à-faux de la façade d'environ 1,20 m (fig. 2-10) à partir du 2^{ème} niveau ; bien que la composante vertical soit significative on n'a pas constaté des endommagements de la console
- destruction des murs en maçonnerie (fig. 2-11 et 2-12)
- destruction type « poteau court » (fig. 2-13),

Bâtiment avec seulement le rez-de-chaussée (fig. 2-14) en portiques et remplissage de la maçonnerie. La ruine de la maçonnerie le long des poteaux a permis de dissiper l'énergie et donc de sauver le bâtiment. La réparation du bâtiment pourrait être envisagée par :

- reconstitution des éléments de structure endommagés,
- introduction d'un nouveau système de contreventement par murs en béton armé avec des fondations adaptées,
- vérification du plancher existant pour assurer la transmission des sollicitations sismique aux murs BA

Bâtiment en L (fig. 2-15 et 2-16) comportant RdCh. + 1 étage : les dégradations d'extrémités sont typiques de l'action d'un moment de torsion d'axe vertical



Fig. 2-1 La Coupole



Fig. 2-3



Fig. 2-3 Destruction des niveaux supérieurs



Fig. 2-4 Mur en béton armé



Fig. 2-5 Détail de murs en béton armé



Fig. 2-6 Maçonnerie en pierre en en briques



Fig. 2-7 Effondrement de l'étage par l'effet « coup-de-fouet »



Fig. 2-8 Inexistence des dispositions spécifiques parasismiques aux extrémités des poteaux



Fig. 2-9 Structure en portiques avec remplissage en maçonnerie



Fig. 2-10 La partie en porte-à-faux n'a pas subi des endommagements



Fig. 2-11 La résistance très réduite des murs en parpaings pourrait expliquer la destruction avant celle de la structure



Fig. 2-12 Destructures importantes à l'intérieur



Fig. 2-13 Poteau court



Fig. 2-14 Structure en portique « sauvée » par l'endommagement de la maçonnerie



Fig. 2-15 Bâtiment en L : torsion d'axe vertical



Fig. 2-16 Même bâtiment en en L

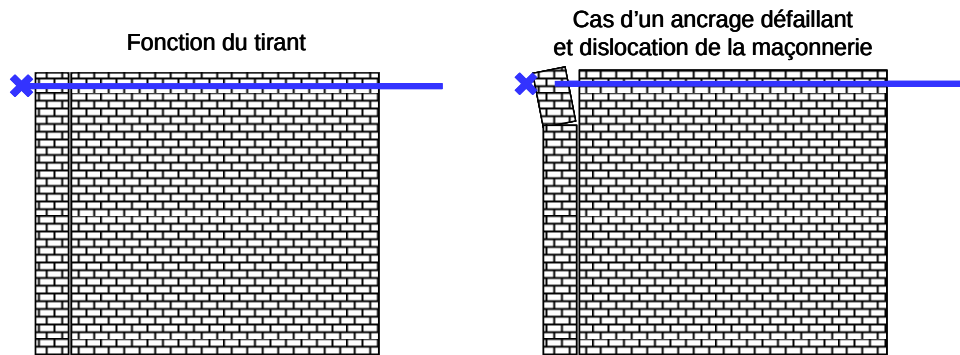
3. Ambassade de France

Le bâtiment principal (fig. 3-1) de l'ambassade a probablement été construit autour des années 1900. Il comporte un rez-de-chaussée et un premier étage.

Le système constructif est constitué de murs porteurs en maçonnerie de briques, complétés en haut du premier étage par des tirants (fig. 3-2) disposés suivant les deux directions en plan. Cette disposition démontre une bonne qualité d'exécution.

Il est évident que depuis la construction à nos jours les extrémités des tirants, dont on aperçoit en façade les ancrages (fig. 3-4), n'ont pas été vérifiés du point de vue de la corrosion.

Il est fort probable que ces tirants n'existent plus, ce qui pourrait expliquer le mouvement de dislocation qu'on aperçoit en-dessous de la toiture (fig. 3-3).



La disposition d'un appareil de climatisation au droit du trumeau intermédiaire (fig. 3-3) est une autre source d'affaiblissement du premier étage.

Pour le renforcement du bâtiment, il faudrait envisager :

- Réfection de la maçonnerie, y compris les trumeaux, où il faudra enlever les climatiseurs
- Introduction suivant les deux directions horizontales des nouveaux tirants : haut du RdCh. et haut du 1^{er} étage.
- Prévoir de nouvelles fixations pour la toiture dans les murs du premier étage.

Les bâtiments annexes (fig. 3-7 et 3-8) ne présentent pas d'endommagements apparents. Cette situation peut s'expliquer par la présence de nombreux murs en maçonnerie de briques, par des dimensions assez réduites, tant en plan qu'en élévation.



Fig. 3-1 Façade principale de l'Ambassade



Fig. 3-2 Façade arrière : remarquer le déplacement de la toiture par rapport au 1er étage



Fig. 3-3 Détail de déplacement de la toiture



Fig. 3-4 Ancrage tirant



Fig. 3-5 Escalier, endommagement important du mur au 1er étage



Fig. 3-6 Plancher en bois haut du RdCh



Fig. 3-7 Bâtiment annexe sans dégâts apparents



Fig. 3-8 Bâtiment annexe

4. Résidence de l'Ambassadeur de France

La résidence de l'ambassadeur (fig. 4-1 et 4-2) est une construction essentiellement en béton armé, terminée en 1915. On ne peut donc prétendre trouver une construction parasismique.

Bâtiment de prestige, donc parfaitement irrégulier (fig. 4-3 à 4-6) du point de vue parasismique.

Par ailleurs, on a remarqué la très mauvaise qualité du béton mis en œuvre (fig. 4-7 et 4-8) et ceci dès les années 1910 !?!?!?

Il est évident que le bâtiment est irrécupérable. Il faudra procéder à sa démolition complète.



Fig. 4-1



Fig. 4-2



Fig. 4-3



Fig. 4-4



Fig. 4-5



Fig. 4-6



Fig. 4-7



Fig. 4-8

5. Hôpital Universitaire d'Etat d'Haïti

Normalement l'hôpital a une capacité d'accueil d'environ 700 lits. Il semblerait que 300 lits suffisent.

La conception est plutôt du style pavillonnaire (fig. 5-1 et 5-2) avec des bâtiments comportant un simple rez-de-chaussée ou RdCh+1, sauf la chirurgie avec RdCh+2.

L'hôpital a été diversement affecté par le séisme :

- Les bâtiments avec RdCh. n'ont subi que quelques fissures (par exemple, la dermatologie et les urgences ne présentent aucun dommage apparent),
- Les bâtiments avec RdCh + 1 ont aussi convenablement résisté à l'action sismique, sauf les deux bâtiments (≈ 1900) des consultations générales (fig. 5-9 et 5-10) et de la pédiatrie (fig. 5-15 et 5-16), dont les premiers étages ont été fortement endommagés.
- Les bâtiments avec RdCh + 2 ont été les plus sollicités : chirurgie (fig. 5-3, 5-4 et 7) probablement « sauvé » par sa partie la plus ancienne (fig. 5-6, 5-7 et 5-8), et l'école d'infirmières, complètement effondrée (fig. 5-11, 5-12, 5-13 et 5-14). La promotion des 98 d'infirmières est restée sous les décombres.

La stratégie de reconstruction pourrait s'envisager à partir des 3 options suivantes :

1. Option minimaliste, d'urgence :

Chirurgie : proposition d'attente

- conserver la totalité du bâtiment pour faciliter la reconstruction en « tiroirs »,
- réparer les éléments de structure endommagés,
- renforcer le bâtiment par une structure métallique ou des murs en béton armé pour le séisme de référence.

Consultations générales : proposition d'attente

- déposer la charpente en bois de la toiture
- démolir le premier étage
- reposer à nouveau la charpente en bois

École d'infirmières : bâtiment complètement effondré

- reconstruire une nouvelle école d'infirmières

Pédiatrie (bâtiment ≈ 1900) : **proposition d'attente** identique au bâtiment de consultations générales.

2. Option intermédiaire :

Chirurgie :

- démolir la partie ancienne (≈ 1900) et une fraction de la partie nouvelle (≈ 1950)
- réparer les éléments de structure endommagés,
- renforcer la partie restante par des murs en béton armé pour le séisme de référence.

Consultations générales : proposition d'attente

- déposer la charpente en bois de la toiture
- démolir le premier étage
- reposer à nouveau la charpente en bois

École d'infirmières : bâtiment complètement effondré

- reconstruire une nouvelle école d'infirmières.

Pédiatrie (bâtiment ≈1900) : **proposition d'attente** identique au bâtiment de consultations générales.

3. Option à plus long terme :

Chirurgie :

- démolir la partie ancienne (≈1900) et une fraction de la partie nouvelle (≈1950)
- réparer les éléments de structure endommagés,
- renforcer la partie restante par des murs en béton armé pour le séisme de référence.

Démolition de toute la partie occupée par les bâtiments « Consultations générales - Ecole d'infirmières – Pédiatrie » et reconstruction sur le foncier récupéré :

- Ecole d'infirmières
- Pôle mère-enfant,
- Consultation générales

Pour maîtriser le budget de la reconstruction et étant donné l'urgence de « *sortir les salles d'opération et les patients des pelouses* » et de les mettre à l'abri avant la saison de pluies, il est proposé de :

1. sécuriser le bâtiment chirurgie : réparation des dommages et renforcement par structure métallique (montage à « blanc » en France, transport et mise en œuvre sur le site). Les travaux de gros-œuvre pourront se terminer sous quatre mois si on met en place une action type « commando »
2. réduire d'un niveau les bâtiments « consultation générale » et « pédiatrie »
3. reconstruire l'**école d'infirmières** dont le coût sera certainement inférieur à celui du **pôle mère-enfant** qui devra comporter un équipement hospitalier très coûteux.

Enfin, il est important de ne pas négliger le personnel hospitalier. Il faudra le rassurer (on craint toujours ce qu'on ne comprend pas), lui expliquer les causes des endommagements (l'origine du séisme et le pourquoi du comportement des bâtiments) et les travaux qui seront effectués pour renforcer les bâtiments.

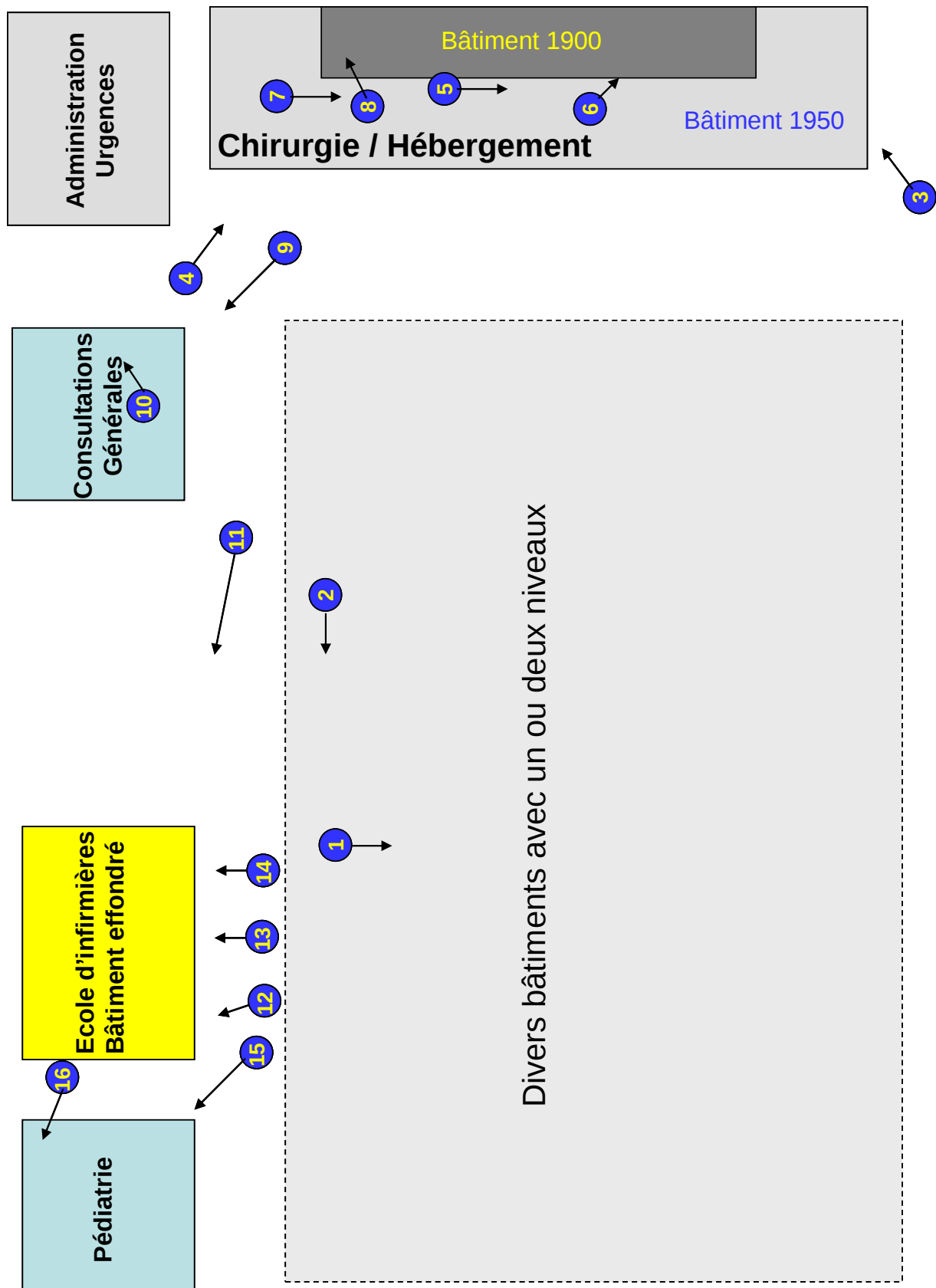




Fig. 5-1 Vue d'ensemble : bâtiments avec simple RdCh. ou RdCh +1



Fig. 5-2 Au fond : bâtiment avec RdCh +1 en bon état



Fig. 5-3 **Chirurgie** : pignon au RdCh. endommagé



Fig. 5-4 **Chirurgie**, vue d'ensemble



Fig. 5-5 **Chirurgie** avec à droite la partie ancienne 1900

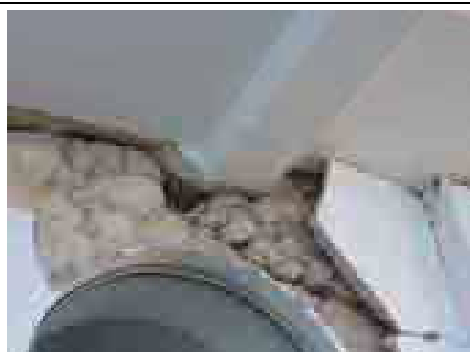


Fig. 5-6 **Chirurgie** : séparation entre la partie nouvelle 1950 (?) et la partie ancienne ≈1900

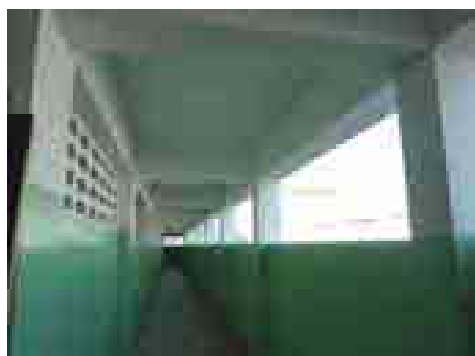


Fig. 5-7 **Chirurgie** : la partie récente (1950)



Fig. 5-8 **Chirurgie** : partie ancienne fissurée



Fig. 5-9 Consultations générales



Fig. 5-10 Consultations générales, détail du 1^{er} étage très endommagé



Fig. 5-11 Ecole d'infirmières et au fond le bâtiment pédiatrie



Fig. 5-12 Ecole d'infirmières



Fig. 5-13 Ecole d'infirmières



Fig. 5-14 Ecole d'infirmières



Fig. 5-15 Pédiatrie



Fig. 5-16 Pédiatrie : endommagement important du 1^{er} étage : étage irrécupérable

6. Hôpital de TURGEAH

L'hôpital (clinique) a été inauguré en 2009. D'après les renseignements obtenus localement, aucune conception et aucun calcul sous l'action du séisme n'ont été effectués.

De plus, on peut remarquer l'absence totale de dispositions parasismiques. Il y a lieu de rappeler qu'en France et plus généralement dans le monde, nous en sommes à la quatrième génération de règles parasismiques.

Il est donc important, dans la rédaction des règles parasismiques, de tenir compte de la destination du bâtiment qui, dans le cas d'un hôpital, est de catégorie d'importance IV.

En effet, les établissements de santé doivent pouvoir fonctionner après séisme ce qui implique de rendre parasismique à la fois le bâtiment lui-même mais aussi les équipements hospitaliers.



Fig. 6-1



Fig. 6-2



Fig. 6-3



Fig. 6-4



Fig. 6-5



Fig. 6-6



Fig. 6-7



Fig. 6-8 Détail de la fig. 6-7 : absence des poutres

7. Congrégation des Pères du Saint-Esprit

Ecole primaire (fig. 7-1 à 7-8) :

Construit dans les années 1950 et composé d'un RdCh. + 2 niveaux, ce bâtiment ne pouvait bénéficier de dispositions spécifiques parasismiques connues depuis 1980 seulement.

Son effondrement était inévitable par formation d'articulations aux deux extrémités des poteaux. La quantité de ferrailage dans les poteaux et la qualité du béton sont insuffisantes (fig. 7-7 et 7-8)



Ecole secondaire (fig. 7-9 à 7-16)

Comme pour l'école primaire, ce bâtiment cumule tout ce qu'il faut éviter de faire en zone sismique, particulièrement la présence de poteaux « courts ». Il est fort probable que sa sauvegarde est due à la présence de la tour centrale.

Chapelle Saint-Martial (fig. 7-17 à 7-22)



Globalement, la chapelle s'est bien comportée, mis à part les deux tympans du transept qui ne disposaient d'aucune résistance perpendiculaire à leurs plans. La toiture est restée en place.

La chapelle peut être « récupérée » par :

- Réparation des fissures et traitement des murs en profondeur,
- Reconstitution des deux tympans avec des contreforts en béton qui peuvent être habillés avec de la brique,
- Fixation de la toiture pour le vent cyclonique.



La Maison des Pères (fig. 7.23 à 7.29), environ 1910

Bâtiment comportant un RdCh. + 2 niveaux avec murs porteurs en maçonnerie et une coursive maintenue par des poteaux en béton armé.

La fissuration des murs en maçonnerie de pierre d'environ 40 à 50 cm d'épaisseur a permis de dissiper l'énergie et d'éviter l'effondrement du bâtiment. A noter la bonne tenue des poteaux en béton armé qui ont certainement fonctionné en tant que « bielles ». Un seul poteau a été endommagé (fig. 7-29) probablement à cause de la présence du palier de l'escalier.

Extrêmement endommagé, le bâtiment est irrécupérable.

La Maison des Sœurs (fig. 7.30)

Remarquable tenue à l'action sismique de ce bâtiment construit probablement dans les années 1910.



Fig. 7-1



Fig. 7-3



Fig. 7-5



Fig. 7-4 Effondrement par excès de déplacements et non pas par dépassement de résistance



Fig. 7-5



Fig. 7-6 Formation d'articulation



Fig. 7-7 Seulement 4 barres au milieu !?!?



Fig. 7-8 Mauvaise qualité du béton



Fig. 7-9 Façade principale



Fig. 7-10 Le joint de dilatation



Fig. 7-11 Moments positifs sur appuis !!!



Fig. 7-12 Poteaux courts façade arrière



Fig. 7-13 Fonctionnement en « poteau-court » dû au blocage du mur en maçonnerie



Fig. 7-14 Détail du poteau-court où on peut remarquer un seul lit d'armature transversale



Fig. 7-15 Poteaux courts



Fig. 7-16 Détail



Fig. 7-17 Vue d'ensemble



Fig. 7-18 Effondrement des tympans du transept



Fig. 7-19 Au fond l'abside en bon état



Fig. 7-20 Fissuration importante des contreforts



Fig. 7-21 Fissuration du contrefort



Fig. 7-22 Effondrement du tympan du transept



Fig. 7-23 Façade principale



Fig. 7-24 Façade arrière



Fig. 7-25



Fig. 7-26 Fissuration en X des murs



Fig. 7-27



Fig. 7-28 Effondrement de la cage d'escalier



Fig. 7-29 Probable endommagement par fonctionnement en poteau-court



Fig. 7-30 Maison des Sœurs en parfait état

8. Collège Saint-Pierre



Le collège est composé de deux bâtiments :

1. Partie édifiée en 2004 (agrandissement) en bon état apparent, qui pourrait s'expliquer par la présence de nombreux murs (fig. 8-1 et 8-3) probablement fissurés (fig. 8-5). Cette partie pourra être renforcée pour résister à l'action sismique.
2. Partie antérieure à cette date, dont le rez-de-chaussée s'est effondré par l'interaction non maîtrisée des panneaux de maçonnerie avec les poteaux. Partie à démolir entièrement.



Fig. 8-1 Agrandissement de 2004



Fig. 8-2 A droite la partie la plus ancienne



Fig. 8-3 La bonne tenue de la partie de 2004 peut s'expliquer par la présence des murs



Fig. 8-4



Fig. 8-5 Pignon 2004



Fig. 8-6 Détail de plancher



Fig. 8-7

9. Hôtel Montana

Hôtel construit en 1946 avec un bâtiment principal qui comportait 5 niveaux et des multiples structures de faibles dimensions, autour des piscines. C'était l'hôtel de haut de gamme de Port-au-Prince.

Bien entendu, aucune disposition parasismique n'a été prise. De plus, un béton de mauvaise qualité dispose d'une quantité d'armatures surprenante.



10. Ministère de l'Economie et des Finances

Construction datant probablement des années 1900, ayant subi beaucoup de modifications comme par exemple la suppression de murs pour agrandir les salles.



Fig. 10-1



Fig. 10-2



Fig. 10-3



Fig. 10-4

11. Bâtiments Telecom

On constate que les deux bâtiments télécom sont en bon état apparent, contrairement aux constructions qui se sont effondrées tout autour. Il aurait été intéressant de connaître en détail les projets, le niveau d'action sismique pris en compte et les noms des entreprises chargées de l'exécution.



Fig. 11-1 Bâtiment DIGICEL en fonctionnement aucune vitre cassée



Fig. 11-3 Fissures entre la poutre et le poteau



Fig. 11-2 Bâtiment télécom



Fig. 11-4 Endommagement d'un poteau secondaire

12. Prison Centrale de Port-au-Prince

Le bâtiment est composé de deux corps : la prison elle-même, avec essentiellement des murs porteurs en maçonnerie (fig. 11-1) et l'administration datant probablement des années 1910 et modifiée par la suite.

L'administration a subi des endommagements dus au séisme (fig. 11-3 et 11-4), suivi par un incendie (fig. 11-5 et 11-6). En attendant la reconstruction de l'administration, il est envisageable de remettre en état les murs en disposant des chaînages, de refaire une toiture légère, ainsi qu'un plancher. Des murs transversaux seront introduits pour stabiliser le mur longitudinal (fig. 11-1). En façade le double mur (fig. 11-2) est à reprendre avec des scellements dans le mur existant.



Fig. 11-1



Fig. 11-2



Fig. 11-3



Fig. 11-4



Fig. 11-5



Fig. 11-6

13. Divers bâtiments de Port-au-Prince

Au cours des déplacements d'un site à l'autre, nous avons pu examiner rapidement l'état des divers bâtiments ou parties de bâtiments effondrés.

Il est évident qu'aucune réglementation parasismique n'a été appliquée :

- Absence de dispositions spécifiques dans les zones critiques des poutres et poteaux,
- Dimensions trop faibles pour les poteaux par rapport aux poutres (fig. 13-2) avec comme conséquence la formation d'articulations dans les poteaux entraînant l'instabilité du bâtiment (fig. 13-1),
- Absence de confinement des nœuds,
- Planchers dans l'incapacité de transmettre les efforts sismiques (fig. 13-4),
- Absence de chaînages sur le périmètre du bâtiment (fig. 13-8),
- Niveaux fragilisés par la modification des locaux (13-7),
- RdCh. « souple » par rapport aux étages (13-11),
- Très faible qualité du béton (fig. 13-13 et 13-14),
- Parfois, quantité de ferrailage trop importante (fig. 13-16).

Certes, il y a un nombre important de bâtiments effondrés, mais on rencontre aussi, à proximité, des bâtiments en bon état apparent (fig. 13-6, 13-7 et 13-12) et qui n'ont pas respecté de règles parasismiques, parce qu'inexistantes.

Dans cette situation, on peut supposer que le niveau d'accélération n'était pas trop élevé ; que les bâtiments effondrés cumulaient tous les défauts, tandis que les bâtiments en bon état apparent avait été un peu mieux construits. En tout état de cause, il faudrait pouvoir estimer (0,30 g !?!) le niveau d'accélération en référence à l'accélération maximale de la réplique du 20 janvier de 0,19 g.

Enfin, il est intéressant de remarquer sur la photo ci-dessous, le glissement des tuiles qui peuvent constituer un danger pour les passants. Il existe des fixations spécifiques pour assurer la stabilité des tuiles pendant le séisme.





Fig. 13-1 Bâtiment RdCh. + 2



Fig. 13-2 Encore en construction



Fig. 13-3 Nœud d'un portique



Fig. 13-4



Fig. 13-5 RdCh. + 2



Fig. 13-6 Bâtiment d'angle effondré. Bâtiment en bon état de part et d'autre



Fig. 13-7 Deux niveaux disparus. Bâtiment en bon état à gauche



Fig. 13-8 Eglise



Fig. 13-9



Fig. 13-10



Fig. 13-11 Destruction du RdCh.



Fig. 13-12



Fig. 13-13



Fig. 13-14 Bâtiment R+2



Fig. 13-15



Fig. 13-16

14. Accessibilité aux victimes

Des corps étant encore sous les décombres, nous avons été sollicités pour évaluer la possibilité d'accéder à ces victimes, sans mettre en péril les sauveteurs-déblayeurs. Il s'agissait d'examiner les risques d'instabilité de certaines parties de bâtiments et la possibilité d'accès des engins de déblayage.

L'hôtel Caribé est composé de deux blocs distincts : une partie récente (fig. 14 -1) et la résidence (fig. 14-2 à 14-4) qui date probablement des années 1930. Dans cette deuxième partie, nous avons cherché un chemin possible d'accès vers l'endroit supposé de la présence d'un corps. Mais l'instabilité des éléments effondrés était telle qu'elle empêchait tout accès. Nous avons dû renoncer.

Deux détails ont cependant attiré notre attention :

- La très mauvaise qualité du béton et l'insuffisance des armatures (fig. 14-5),
- La mise en place des descentes d'eau à travers la poutre en béton armé (fig. 14-6). Ce détail met en évidence la méconnaissance totale de la bonne construction, même hors zone sismique.

On a ensuite examiné un immeuble collectif (fig. 14-7 à 14-16) comportant un RdCh. et 4 niveaux. Les trois niveaux inférieurs jouaient le rôle de mur de soutènement. Cette disposition pourrait expliquer la destruction des niveaux supérieurs par un probable « coup-de-fouet », en plus du manque de dispositions parasismiques spécifiques.

Pour accéder à la poche, à proximité (fig. 14-12) de laquelle on suppose que se trouvait le corps, il aurait fallu traverser les dalles supérieures (fig. 14-10) qui étaient parfaitement instables. De plus, pour amener un engin de déblayage, il aurait également fallu stabiliser la route d'accès.



Fig. 14-1 Hôtel Caribé



Fig. 14-2 Résidence de l'hôtel Caribé



Fig. 14-3 Séparation au droit de la cage d'escalier



Fig. 14-4



Fig. 14-5 Très mauvaise qualité du béton



Fig. 14-6 Disposition des descentes d'eau à travers la poutre !



Fig. 14-7



Fig. 14-8 Destruction des étage supérieurs



Fig. 14-9



Fig. 14-10 Instabilité des étages



Fig. 14-11



Fig. 14-12 Poche à proximité de la victime



Fig. 14-13 Risque de glissement de terrain en cas d'engins lourds de démolition



Fig. 14-14 Destruction des étages supérieurs en dehors de la partie semi-enterrée



Fig. 14-15 Poteau court



Fig. 14-16

15. Constructions sur pentes instables

Il y a certainement plusieurs facteurs à l'origine de la destruction des maisons (fig. 15-1 à 15-4) sur les pentes : faible qualité du sol, un début d'instabilité de la pente, effondrement du type « dominos », mauvaise qualité de l'exécution (auto-construction ?) et des matériaux. Le plus surprenant, c'est que le même type de maisons se soit bien comporté sur le sol dur (fig. 15-5 et 15-6).



Fig. 15-1



Fig. 15-2



Fig. 15-3



Fig. 15-4



Fig. 15-5



Fig. 15-6

16. Le Port

Le Port a subi le phénomène de liquéfaction qui a entraîné le glissement de la plateforme (fig. 15-1 et 15-2). Les pieux se trouvant en bordure du quai, ainsi que ceux qui supportaient la grue (fig. 15-3 et 15-4) ont été cisailés.

Une autre conséquence du glissement a été l'entraînement des massifs en béton armé (fig. 15-5) et la dislocation de l'ancrage (fig. 15-6) de la charpente métallique.



Fig. 15-1



Fig. 15-2



Fig. 15-3



Fig. 15-4



Fig. 15-5 Hall de 50 m de portée et d'une longueur de 200 m



Fig. 15-6 Massif d'ancrage de la charpente métallique