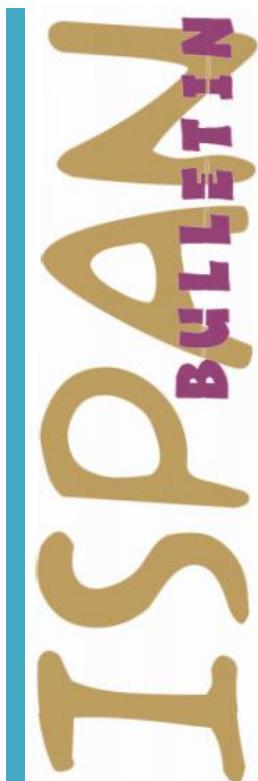


CITADELLE HENRY : source de préoccupations permanentes...



• Archives : ISPAN

BULLETIN DE L'ISPAN, No 44, 20 pages



Détails des observations effectuées

page 6



Justification de l'urgence des interventions

page 14

Sommaire.....

- *Préambule*
- *Pathologies observées*
- *Détails des observations effectuées*
- *Diagnostic*
- *Hypothèses de travail appuyées par des analyses tridimensionnelles*
- *Résultats des analyses*
- *Interventions urgentes à entreprendre*
- *Justification de l'urgence des interventions*
- *Justification des solutions proposées*
- *Descriptifs des tirants*



BULLETIN DE L'ISPAN est une publication de l'Institut de Sauvegarde du Patrimoine National destinée à vulgariser la connaissance des biens immobiliers à valeur culturelle et historique de la République d'Haïti, à promouvoir leur protection et leur mise en valeur. Communiquez votre adresse électronique à l'adresse ispamc.info@gmail.com pour recevoir régulièrement le **BULLETIN DE L'ISPAN** ou visitez notre site www.ispan.gouv.ht. Vos critiques et suggestions seront grandement appréciées. Merci.

EDITORIAL

Chers lecteurs,

Depuis près de trois quart de siècle, la Citadelle HENRY fait l'objet d'une préoccupation constante à cause de divers problèmes structurels et de multiples agressions anthropiques qui menacent son intégrité.

Ayant été abandonnée et pillée à la mort du Roi Henry 1er (08 Oct. 1820) elle fit stoïquement face aux injures du temps (150 ans d'abandon), au tremblement de terre dévastateur du 07 Mai 1842, aux cyclones, à la végétation parasite et envahissante, aux intempéries, et au pillage systématique de ses éléments structurels les plus importants.

L'histoire, nous rapporte que dans ses correspondances avec Sir Thomas Clarkson, le Roi lui a fait part des dépenses faramineuses du Royaume du Nord en vue d'assurer convenablement la défense du territoire.

Suite à l'indépendance de la colonie de St-Domingue, nous comprenons mieux la hardiesse et la fermeté du Roi Henry 1er face à la demande d'indemnisation française. S'était-il appuyé sur son réseau de fortification de montagne (les forts Rivière, Neuf, Trois Pavillons, Jalousière, Bayonais, Louverture, à Cabri etc...) dont la Citadelle Henry est la clef de voute? En fusillant les émissaires français, le Monarque déclare sans équivoque à l'ancienne métropole ses dispositions éruptives et volcaniques pour défendre la liberté acquise par le fer, le sang et la sueur à ses dépens.

Malheureusement, aujourd'hui l'intégrité physique de ce monument emblématique symbolisant à elle seule la liberté, est sérieusement menacée. Comme nous le savons tous, la faille septentrionale risque à tout moment de libérer l'énergie qu'elle accumule depuis cent quatre-vingt années maintenant (180 ans). En dépit des multiples alertes, aucune disposition spéciale n'est encore prise pour limiter les potentiels dommages sur ce monument qui est Patrimoine Mondial depuis 1982, alors que nous venons à peine d'expérimenter les sévères dégâts que cause cette force destructrice aux structures patrimoniales.

Qui ne se souvient pas de la destruction totale du CVH de Port-au-Prince en 2010 ? Qui ne se souvient pas des dommages infligés par le séisme aux bâtiments administratifs du Champ de Mars à Port-au-Prince ? Qui ne se souvient pas des dégâts importants que subirent le CVH de Jacmel ? Qui ne se souvient pas que le Fort Jacques est réduit à

L'état de ruine en 35 secondes ? Qui n'a pas vécu l'horreur du récent tremblement de terre du 14 Août 2021 qui affecta le bâti historique et séculaire du Grand Sud ? Qui d'entre nous, n'est pas choqué par le tas de pierres qui remplace aujourd'hui la Forteresse des Platons ?

D'après tous les experts dans le domaine, le Nord du pays risque d'être frappé par un violent séisme de l'ordre de 8.00 à 8.6 sur l'échelle de Richter. Ce cataclysme causera sans doute d'énormes dégâts au bâti patrimonial du CHV du Cap-Haïtien et assurément au patrimoine de prestige comme le Palais de Sans-souci, la Citadelle Henry et le site fortifié des Ramiers qui sont déjà fragilisés par l'usure du temps.

Afin de mieux comprendre l'urgence et la nécessité d'actions constantes que ces monuments historiques séculaires réclament, il est indispensable de comparer leur état physique à celui d'un vieillard. D'habitude que font les membres d'une famille pour prolonger la vie de leurs êtres chers malades, fatigués et âgés ? Généralement, ils leur prodiguent les soins médicaux appropriés et intensifs, ils leur donnent un régime alimentaire spécial, ils leur rendent visite et manifestent leur inquiétude constante vis-à-vis de leur état de santé, ils les maintiennent sous perfusion et surveillance médicale constante... C'est exactement ce dont a besoin un monument historique séculaire, usé, fatigué et fragilisé par le temps.

Entre autres, il ne faut surtout pas s'attendre à ce que le voisin (communauté internationale, agences financières internationales, mécènes et autres) prenne en charge les coûts que requièrent le traitement intégral, il fournira l'aide selon sa bonne volonté, et non selon les besoins réels. Autrement dit, l'État Haïtien ne doit et ne peut compter que sur lui-même pour mettre en œuvre son programme de restauration, de conservation et de sauvegarde des monuments identitaires de la nation haïtienne, comme ce fut le cas de 1979 à 1992 pour la Citadelle Henry.

L'ISPAN, en tant qu'organisme technique sous tutelle du Ministère de la Culture et de la Communication, ne dispose d'aucun moyen financier lui permettant de faire face à un tel défi, bien qu'il s'agisse de sa mission. Depuis la fin du projet intitulé « Mise Hors d'Eau de la Citadelle Henry », les différentes requêtes institutionnelles ne sont l'objet d'aucune attention particulière, même dans le cadre des projets en coopération où il est indispensable d'attribuer la contrepartie haïtienne pour mener à terme ceux-là. En dépit des difficultés financières, de l'incredulité, du laxisme ou de l'insouciance des uns et des autres, l'institution, poursuit inlassablement sa mission.

Aujourd'hui, dans cette optique, elle met à disposition du public ce numéro du « Bulletin de l'ISPAN » qui est un document technique préparé par l'Ingénieur Jean Hérold Pérard à la demande du Professeur Costantino Meucci lors d'une mission pour le Centre du Patrimoine Mondial. Bien que soumis à l'Unité Technique d'Exécution (UTE) dans le cadre du projet PAST depuis 2016, ce document n'a pas reçu l'aval financier favorable et la non objection du bailleur pour sa mise en œuvre jusqu'à présent. Incompréhensible pour nous certes, cependant il s'agit d'un organisme fiduciaire du Ministère de l'Économie et des Finances (MEF) qui n'a ni la mission, ni la compétence technique requise pour apprécier réellement le danger qu'encourt la Citadelle HENRY en cas de séisme. Nous n'avons nullement la prétention de croire celui-là parfait, cependant, afin que nul n'en prétexte ignorance, il met en exergue la plaidoirie et le parti pris technique de l'ISPAN pour l'amélioration du confortement parasismique de la Citadelle Henry...

... Bref, ayant été meurtri récemment par ces catastrophes et cataclysmes naturels, en tant que peuple, il est normal et compréhensible que certains d'entre nous soient préoccupés et mobilisés. De plus, nous sommes stupéfaits et désolés de constater autant de désinvolture d'une frange importante de la population vulnérable face aux sinistres prévisions annoncées pour la Région Nord de la République d'Haïti. En dépit de tout, nous voulons croire qu'il ne s'agit là que d'un désintérêt apparent, et, espérons sincèrement un sursaut, afin que l'âme patriotique et nationale, soit hissée à la hauteur des souhaits du Roi Henry 1er, qui, il y a de cela plus de deux siècles fustigeait déjà ses compatriotes, en ces termes: « j'apprendrai à ce peuple la gloire, l'honneur, la dignité et la fierté, dussé-je pour cela, lui briser les reins »... Est-ce donc par dépit que le Monarque Henry 1er, a choisi l'épilogue funeste et regrettable du 08 Octobre 1820 ?

Bonne lecture à tous!

Jeanpatrickdurandis
Architecte de Monument
Directeur Général de l'ISPAN



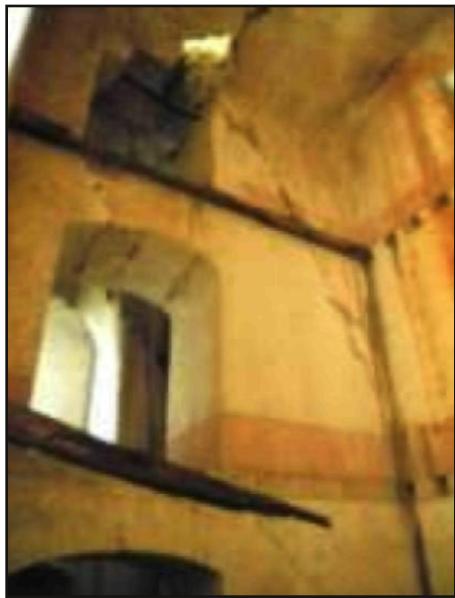
Angle des Rues Magny et Capois
Port-au-Prince, Haïti
Téléphone : (509) 3600-8709
Email : ispanmc.info@gmail.com
Site web: www.ispan.gouv.ht

CITADELLE HENRY :

source de préoccupations permanentes...

I- Préambule

Depuis l'inscription du Parc National historique sur la liste du patrimoine mondial, des visites d'inspection périodiques sont effectuées pour vérifier l'état de conservation des monuments. Celles-ci ont permis récemment d'évaluer l'état de danger qui menaçait certains des éléments de ce patrimoine. Pour avoir une idée plus complète de la situation, le comité du patrimoine mondial a dépêché en 2011 une équipe pluridisciplinaire conduite par le professeur Constantino Meucci pour évaluer l'état de conservation des monuments du Parc National Historique. Une deuxième mission a été réalisée en 2012 voici le bilan de l'état de conservation constaté lors de la deuxième mission effectuée vers le milieu de l'année 2012:



•Figure 1 : Photo montrant la fissuration des refends

2-Pathologies observées :

1. Les études réalisées sur la Citadelle vers le milieu de l'année 2012 par l'équipe du professeur Constantino Meucci pour le compte du patrimoine mondial, ont confirmé la présence de fissures de forme angulaire au niveau des façades extérieures de la batterie Coidavid et de son sous-sol. Ces fissures, qui semblent être dues à l'activité karstique, ont nettement affecté les voûtes et les murs à partir du sous-sol.

2. Des effondrements partiels ont été constatés au niveau des voûtes de maçonnerie au troisième niveau dans les cellules 3, 4, 5, et 7 (figures 1 à 4). D'autres voûtes du niveau 3 comme celle de la cellule 1 sont également en danger d'effondrement (figure 5).

Il est difficile d'établir de manière précise la date de ces effondrements cependant il est certain qu'ils ont rapport avec l'activité sismique récente.



•Figure 3 : Effondrement partiel de la voute



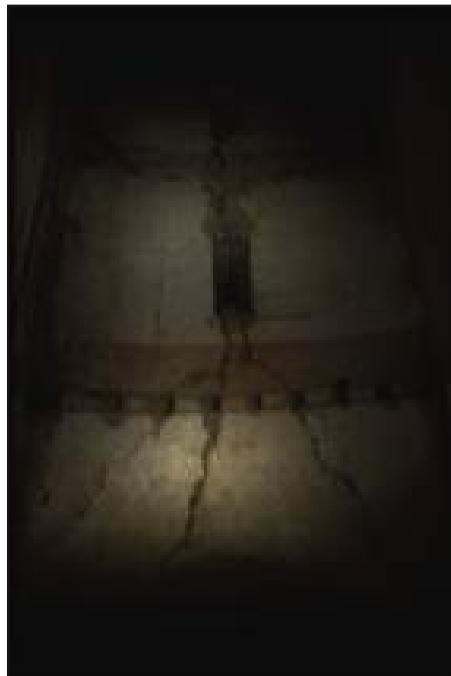
•Figure 2 : Photo montrant la fissuration des murs extérieurs



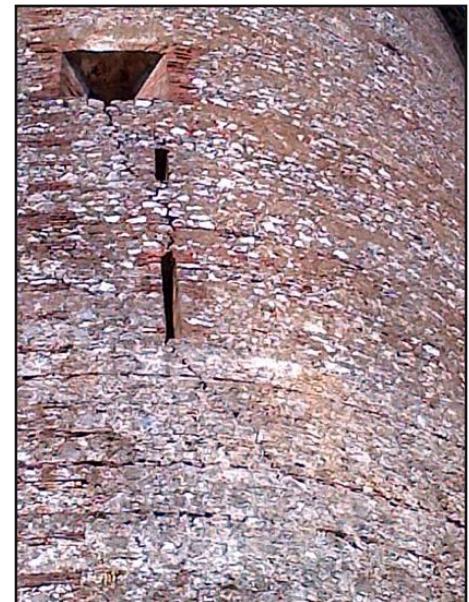
•Figure 4 : Autre vue montrant un effondrement partiel de voute



•Figure 5 : Photo montrant la dislocation des voûtes

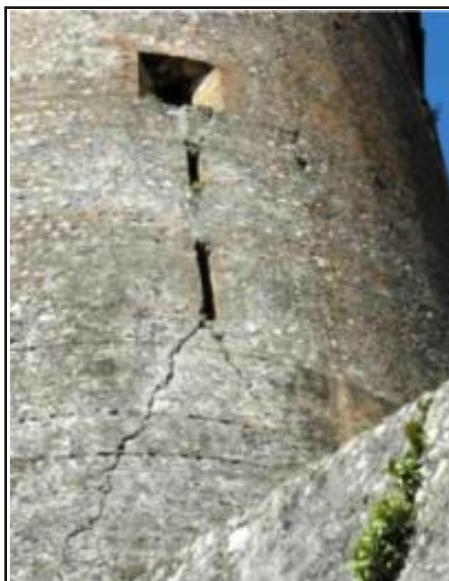


•Figure 7 : photo montrant la même fissure à l'intérieur

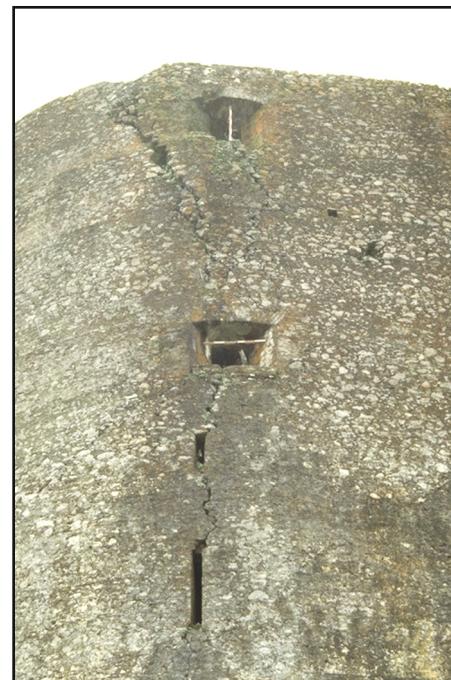


•Figure 9 : fissures verticales entre les ouvertures

3. Des fissures diagonales traversent les parements intérieurs et extérieurs des murs et indiquent un mouvement différentiel entre les murs intérieurs et extérieurs sur le plan vertical (figure 6 et 7). Les phénomènes observés font, en effet, penser à un mouvement des murs intérieurs vers le bas. Cependant, si on ne peut pas déterminer avec précision l'âge de ces fissures on est certain que l'effondrement des voûtes est lié à ce mouvement.



•Figure 6 : fissures diagonales dans les parements extérieurs



•Figure 8 : fissures verticales entre les ouvertures

4. Il existe, en outre, des fissures verticales entre les fenêtres dans les parements extérieurs. Elles sont un peu plus prononcées dans la cellule 5, qui jouxte l'éperon de la Batterie Coidavid (Figures 8 et 9).

3-Détails des observations effectuées

Pour affiner l'examen visuel, des observations ont été effectuées de l'extérieur à l'aide de jumelles avec un zoom de 300 mm, sur le mur Est, l'extrémité du mur Nord-est et le mur Nord de la Batterie Coidavid. Au cours de cette inspection visuelle, les désordres suivants ont été observés :

1. Une fissure verticale entre les fenêtres de la cellule 6 (figure 10). Elle est aussi visible de l'intérieur.

2. Une autre fissure verticale émanant des fenêtres de la cellule 5 a été remarquée au point Nord-est (figure 11). Cette fissure se scinde en deux diagonales en dessous de la fenêtre du 1er niveau. Cette tendance à la fissuration peut également être vue à l'intérieur (figure 12). D'autres fissures (verticales) ont été notées dans les parois extérieures entre les



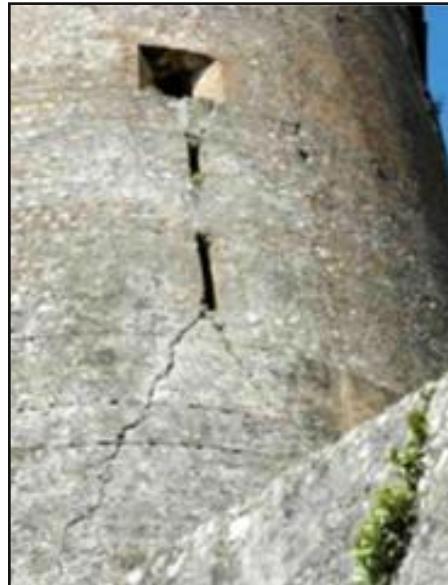
•**Figure 10 :** Photo montrant les fissures entre les fenêtres

fenêtres. Elles sont plus importantes dans la salle 105 qui jouxte l'ergot de la Batterie de la Coidavid.

3. Cette fissure montre, à l'observation, un déplacement de la paroi sur la façade Nord (figure 13). Après documentation, il s'est avéré que cette lézarde a été réparée dans le cadre du projet ISPAN/PNUD/UNESCO/HAI79 entre 1980 et 1993 et n'a pas rouvert (figure 13 et 14). Cette réparation a consisté en un colmatage et une injection de coulis de ciment.

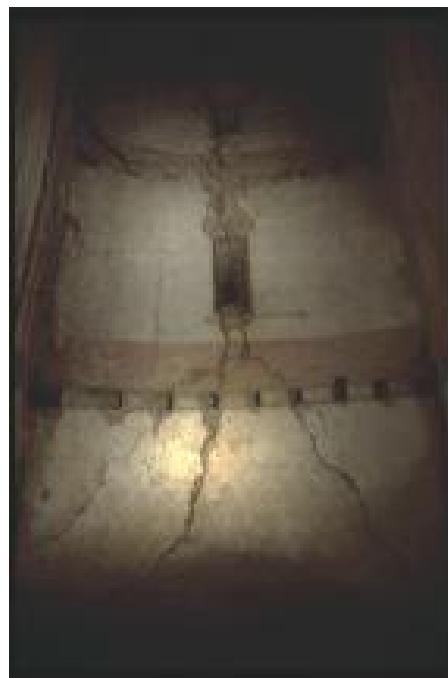
4. Au moins partiellement, la plupart des voûtes se sont effondrées particulièrement du côté de l'ergot de l'éperon (figure 15). L'une d'entre elles s'est complètement disloquée et s'est légèrement déversée au point d'afficher une différence de niveau marquée entre les deux lèvres de la lézarde (figure 16). D'autres sont en danger d'effondrement. Il est

difficile d'établir de manière précise la date de ces désordres, mais tout porte à croire qu'ils remontent au tremblement de terre de 1842.



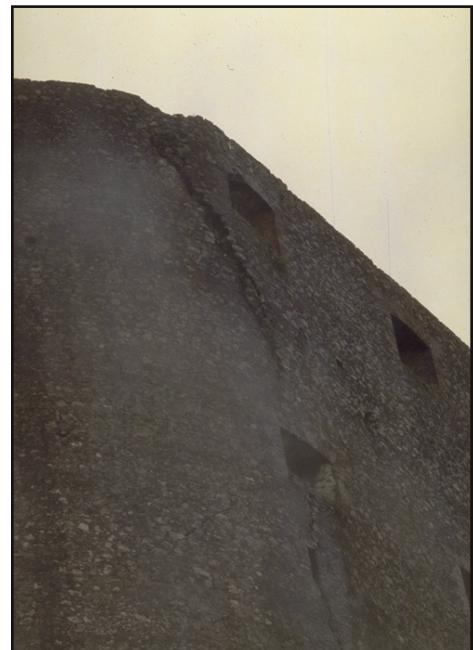
•**Figure 11 :** fissures diagonales dans les parements extérieurs

5. Dans les salles qui sont directement au-dessous de l'escalier d'accès au niveau 1, les fissures diagonales ont été réparées dans les cellules 8 et 9. Les deux (2) premières voûtes ont même

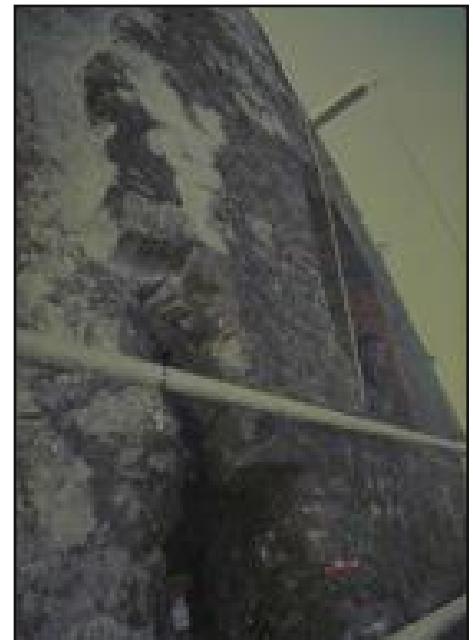


•**Figure 12 :** photo montrant la même fissure à l'intérieur

été réparées lors de la campagne de restauration de 1950. Cependant, aucun nouveau déplacement ou nouveau dommage n'a été remarqué dans ces structures (Figures 17 et 18). Cela laisse croire qu'il n'y a pas eu, dans ces salles, de nouveaux mouvements différentiels entre les murs intérieurs et extérieurs suite à cette intervention.



•**Figure 13 :** photo montrant la grande fissure sur la façade Nord



•**Figure 14:** photo montrant l'opération de colmatage de cette même fissure en 1985



•Figure 15 : dislocation partielle des voûtes

6. Au cours de notre inspection visuelle, nous avons constaté que des barres de fer horizontales avaient été insérées à



•Figure 16 : une des voûtes est complètement disloquée et légèrement déversée.



•Figure 18 : photo montrant une des voûtes réparée en 1950

l'intérieur des murs intérieurs et extérieurs pour servir de chainage horizontal (figure 19). Vu la section des éléments mis en place lors de la réalisation de ce chainage, tout porte à croire que ce chainage a été carrément sous-dimensionné. De toute manière il s'est, soit déboité, soit tordu, soit rompu sous l'effet des charges latérales qui ont sollicité la structure au cours du tremblement de terre de 1842.



•Figure 19 : photo montrant la dislocation du chainage horizontal

plusieurs des batteries qui composent le site de la Citadelle et particulièrement la batterie Coidavid qui est de plain-pied sur la faille septentrionale. Cependant, la dégradation se développe en fonction de la géométrie particulière du bâtiment, de la technologie utilisée pour la construction, de la nature des matériaux d'origine qui la composent, et de son exposition au climat. Les premières interventions de restauration, la nature et la mauvaise qualité des matériaux utilisés pour réhabiliter le monument peuvent également avoir joué un rôle fondamental dans les processus de dégradation.

4- Diagnostic

1. Le mode de fissuration laisse croire, en effet, qu'il y a eu une torsion induisant un mouvement différentiel entre les murs extérieurs et les murs intérieurs et, donc un mouvement de rotation autour de la base des murs ainsi qu'un mouvement de renversement. Il est certain que la dislocation des voûtes est en relation avec tous ces mouvements.

2. La somme de toute une série de facteurs externes a provoqué la grave détérioration de

5-Hypothèses de travail appuyées par des analyses tridimensionnelles

Au cours de ces études conduites par le professeur Meucci, il fallait déterminer, en particulier, si ces fissures étaient dynamiques. Dans le cas où ces hypothèses seraient vérifiées, cela confirmerait que l'équilibre de la Batterie Coidavid est précaire et que le risque d'effondrement est réel particulièrement dans le cas où il y aurait un nouveau tremblement de terre. Il fallait, dans ces conditions, enregistrer suffisamment de



•Figure 17 : photo montrant les réparations des fissures diagonales en 1950

données pour déterminer le point où se manifeste la plus grande sollicitation.

a) Vérification de l'équilibre de la Batterie Coidavid

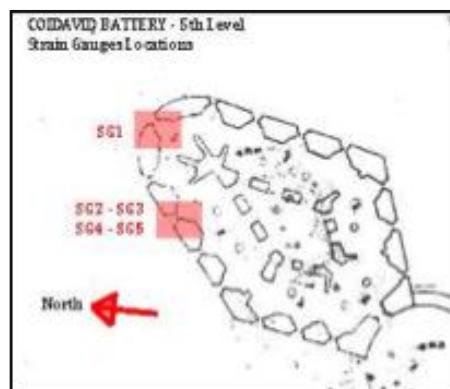
L'outil SIG a ainsi été placé au niveau 4 de la Batterie Coidavid. Ainsi on pouvait enregistrer les mouvements de la fissure qui coupe le seuil de la fenêtre de la canonnière située au coin nord de la Batterie Coidavid, dans la même direction que l'éperon. Cette fissure traverse aussi le grand trou qui s'ouvre dans la voute du niveau 4...

b) Emplacement des jauge de contrainte

Pour évaluer la stabilité de l'immeuble, des jauge de contrainte (figures 20 et 21) reliées à un enregistreur de données ont été appliquées pendant deux jours pour enregistrer les mouvements de la plus grande fissure externe qui coupe le bâtiment transversalement jusqu'au niveau de la base. Un essai dynamique a ensuite été effectué afin de vérifier l'étendue des mouvements et l'emplacement de la sollicitation maximale.

c) Enregistrement des données

Le système devait normalement rester en place pendant trois jours afin d'enregistrer en continu les valeurs de température, d'humidité relative et la largeur de la fente de manière à vérifier si le déplacement de la fissure variait en fonction de la température donc s'il était cyclique ou non. Malheureusement, le système a été



•Figure 20 : Batterie Coidavid emplacement du système de monitoring

perturbé durant la première journée. Néanmoins, les données enregistrées pendant les deux jours suivants au même endroit ont permis de confirmer que la largeur de la fissure variait d'environ 0,020mm avec un mouvement non-cyclique.

d) Pose d'une autre série de jauge

La deuxième série de jauge posée sur le côté gauche de la batterie



•Figure 22 : Batterie Coidavid Observations des fissures dans les murs

autres fissures s'ouvrent suivant un plan oblique à partir de la naissance de la voûte jusqu'au pied du mur, les figures 22 à 25) montrent l'emplacement de ces jauge de contrainte. Cette fissure coupe transversalement le bâtiment, traverse toutes les voûtes situées au niveau de la face convexe et donne sur la cour intérieure en passant par la voûte du milieu et va jusqu'au seuil de la fenêtre avant d'arriver jusqu'au pavage de la cour



•Figure 21 : Batterie Coidavid emplacement des jauge de contrainte

montre un modèle de fissurations très complexe avec une fissure verticale qui part du sommet de la meurtrières, pendant que deux



•Figure 23 : Batterie Coidavid préparation du système de monitoring

centrale. Cependant, cette fissure qui semble être due à l'activité karstique a nettement affecté la voûte de la salle 105 qu'elle a complètement disloquée.

Suivant la même technique, plusieurs jauge de contrainte ont été placées au troisième niveau de la batterie à travers une partie des fissures visibles et en fonction de leurs emplacements sur les plans.

e) Réalisation de l'essai dynamique

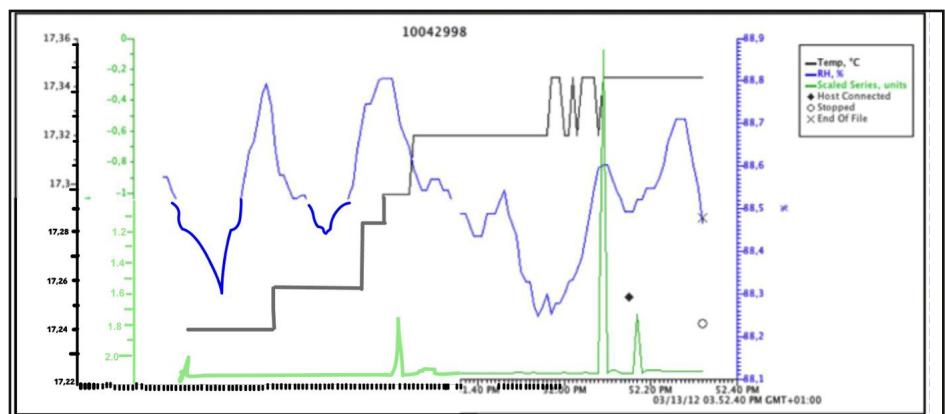
Après 24 heures, toutes les sondes ont été testées afin de vérifier l'efficacité du système. Les séries de jauge de contrainte ont bien fonctionné et ont présenté des données intéressantes dans la localisation SGI, en raison des variations enregistrées dans la taille de la fissure. Un essai dynamique (figures 26 et 27) a ensuite été réalisé afin de vérifier la plage du mouvement et l'emplacement de la sollicitation maximale.



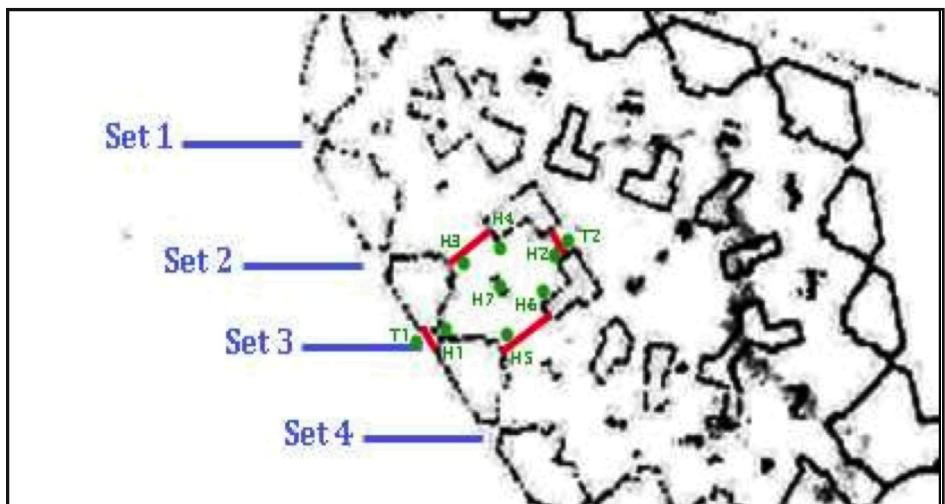
•Figure 24 : Batterie Coidavid vérification du fonctionnement du système



•Figure 25 : Batterie Coidavid le système de monitoring est en marche



•Figure 26 : Mesures effectuées au cours des différents essais



•Figure 27 : Emplacements des jauge

6- Résultats des analyses

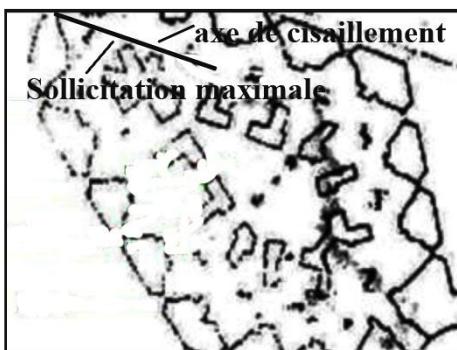
Les données enregistrées confirment que le bâtiment subit actuellement une certaine torsion. Ces dommages, comme nous l'avons mentionné, semblent être dus au tremblement de terre récent. Par ailleurs, ces données montrent que la plus forte sollicitation se manifeste entre l'angle de la Batterie Coidavid (endroit où commence la 14 fissure) (figures 28 et 29) et le mur de l'ergot, immédiatement après le grand trou dans la voûte qui jouxte la face convexe. Pour évaluer les causes de l'effondrement, des essais de charges ont été effectués

aux abords des lèvres du trou provoqué par l'effondrement de la voûte. On s'est attelé à vérifier les mouvements de la voûte chaque fois qu'on appliquait une charge à la structure.

On a pu constater que les sollicitations mécaniques appliquées à la toiture se répercutaient dans le trou en provoquant un déplacement horizontal. Suite à l'application d'une force 1.000 Newton on a relevé un élargissement de la fissure d'environ 0,020 mm; par contre, cette même charge appliquée à proximité du trou provoque un élargissement de la fissure qui peut atteindre 2mm, tandis que lorsque



•Figure 28 : Axe de cisaillement du Bâtiment



•Figure 29 : Localisation de la plus forte sollicitation

la sollicitation est appliquée sur le côté gauche de la fissure elle génère une ouverture 0,200mm seulement. Ce test préliminaire prouve que l'extrémité de la Batterie Coidavid est affectée par des sollicitations mécaniques très sévères, ce qui peut provoquer l'effondrement de la structure si la valeur de la limite élastique de la maçonnerie est atteinte.

Les essais effectués sur les parements extérieurs de la Batterie Coidavid et au niveau de son sous-sol confirment la présence de fissures de forme angulaire - suite à l'effondrement du toit (qui servait de diaphragme et était l'élément résistant horizontal) - qui proviennent des contraintes mécaniques du tremblement de terre. Des fissures du même genre sont visibles depuis l'intérieur du

bâtiment. Les deux niveaux inférieurs de la Batterie Coidavid se sont, en fait, disloqués et se sont tassés ce qui réduit considérablement la résistance mécanique de l'ensemble de la structure. Le système de monitoring utilisé a fonctionné effectivement au troisième niveau de la batterie, il a permis de vérifier la stabilité précaire de la structure du bâtiment et de déterminer les causes des désordres et la localisation des sollicitations maximales.

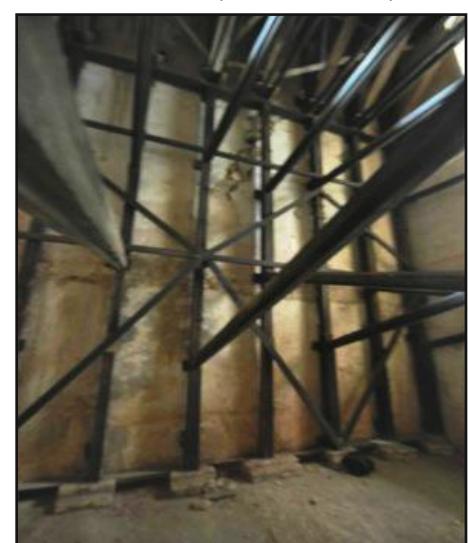
Selon toute évidence ces désordres proviennent des contraintes mécaniques résultant du tremblement de 1842 et de celui du 12 janvier 2010. Ces désordres s'expliquent par 15 diverses absences, notamment celle du plancher haut du niveau 5 et du toit qui auraient constitué un diaphragme à l'occasion de ces sollicitations, et ensuite celle des planchers bas du niveau 2 et du niveau 3 qui auraient joué le même rôle de diaphragme pour le bâtiment et auraient contenu une partie des charges de cisaillement. En l'absence de ces organes, la stabilité du bâtiment est compromise particulièrement en cas de secousses telluriques.

7- Interventions urgentes à entreprendre

Pour parer à tous ces problèmes, il est nécessaire de faire une intervention immédiate pour soutenir les voûtes fissurées du troisième niveau et les murs du premier et du deuxième niveau qui se sont déconnectés.

a) Etalement

La solution la plus simple semble être l'utilisation d'un étalement en bois (figures 30 et 31). Elle découle de l'expérience acquise dans le site même de la Citadelle où la même technique a été utilisée en 1980 dans le cadre du projet de restauration de la Citadelle (Projet ispan/pnud/unesco/HAI79) pour soutenir provisoirement la voute de la salle 111 du côté Nord de la batterie. La structure de 1980, citée en exemple, monte à partir du sol pour venir soutenir les voûtes du niveau 3. Elle est essentiellement constituée de 14 colonnes 6x6 (fabriquées à partir de 3-2x6 chacune), qui sont dressées contre les deux parois transversales et sont contrebutées dans les deux sens avec des 2x4 et des 2x6 qui en assurent le contreventement. Cette colonnade repose sur deux lisses basses en 2x8 pour rattraper les imperfections du sol et est surmontée d'une lisse haute en 2x10 qui sert en même temps de semelle pour les cintres qui soutiennent la voute. Les cintres sont constitués par une charpente

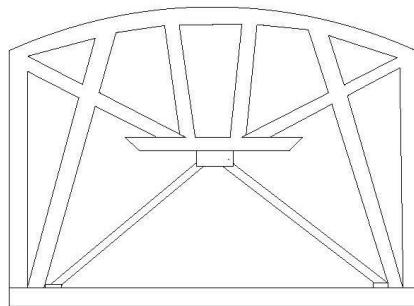


•Figure 30 : Solution proposée

moisée taillée dans du 2x8 et du 2x10 avec des vaux qui épousent parfaitement la courbure des voûtes.

L'étalement des voûtes qui est une intervention nécessairement provisoire qui vise à réduire le risque d'effondrement de la Batterie Coidavid pendant que le projet de restauration définitive est élaboré par l'ISPAN sur la base de l'étude technique et l'évaluation des causes de la fissuration, mais surtout en cherchant à avoir une connaissance précise de la composition de la maçonnerie d'origine pour permettre d'identifier les meilleurs matériaux à utiliser pour les travaux de restauration de la structure.

Elle a été initiée en 2012, elle a consisté à soutenir les voûtes du niveau 3 de la Coidavid à partir du niveau du sol afin de permettre



•Figure 31 : Détails du cintre

leur consolidation et la stabilisation des fissures dans les murs. Sept des dix voûtes du niveau 3 de la batterie Coidavid ont ainsi déjà été étayées. Cependant il s'avère nécessaire pour garantir la stabilité complète de cette batterie, en cas de secousses tellurique de

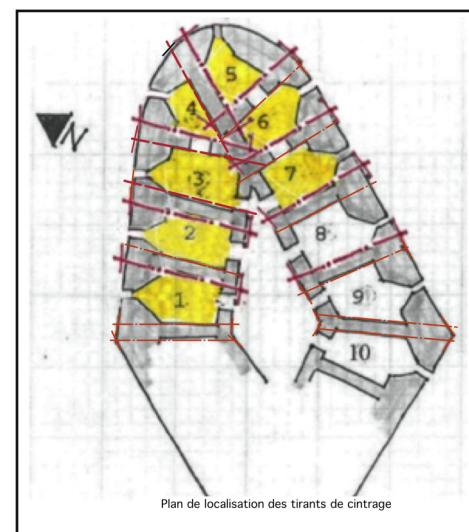
compléter, dans le cadre de ce projet, cette première étape par l'étalement des autres salles. L'étalement de ces dernières permettra d'assurer la stabilité structurelle complète de cette partie du bâtiment, ce qui aura pour effet de donner le temps nécessaire pour définir et même affiner les détails de la restauration de la structure. Une fois, la restauration de la structure réalisée, les étalements seront enlevés pièce par pièce, afin de permettre la stabilisation définitive de l'immeuble, en reconstruisant les planchers qui serviront de diaphragmes horizontaux. Pendant ce temps, le projet de restauration sera défini en fonction des nécessités de la conservation et la mise en valeur du monument.

b) Cintrage et confinement de la structure.

En outre, pour contenir les différents mouvements notés dans les murs intérieurs et extérieurs, un cintrage du bâtiment doit être réalisé. Ce confinement (figure 32) sera accompli en installant des pièces composites fabriquées à partir de barres d'acier de 1 pouce de diamètre, soudo-brasées ensembles et dûment munies d'un filetage à leur extrémité (40 paquets de 4 au niveau 5, 20 paquets de 4 au niveau 4, 20 paquets 2 au niveau 3, et 20 fois 1 au niveau 2, voir notes de calculs

page 31). Les pas de vis permettront de boulonner les tirants et d'intercaler un dispositif de serrage en croix de Saint-André. Il sera nécessaire dans les conditions actuelles de percer les

murs extérieurs (environ 3 m d'épaisseur) pour réaliser une connexion valide et d'attacher les dispositifs de serrage constitués par les croix de Saint-André fixés aux murs extérieurs. Ces tirants seront posés autant que possible au droit des murs de refends à confiner. La solution proposée découle de l'expérience acquise dans le projet de redressement de l'escalier monumental de Sans-souci, site archéologique (figures 33 à 35).



•Figure 32 : Plan de cintrage du bâtiment

Cet effort de confortement sera non destructif et principalement non-intrusif. Cette démarche qui vise à rétablir la stabilité de la structure de la batterie Coidavid entend contourner l'impossibilité de l'insertion d'éléments internes pour rétablir le chainage horizontal qui, nous l'avons vu, s'est soit déboité, soit tordu, soit rompu sous l'effet des charges latérales du séisme de 1842 et pour soutenir mécaniquement les murs. Tant le deuxième que le troisième niveau

pourront être consolidés suivant cette technique pendant que les solives des planchers-bas du troisième et du deuxième niveau seront remises en place pour servir de diaphragmes horizontaux. Dans ces conditions, l'accrochage de ces solives sera complété par des

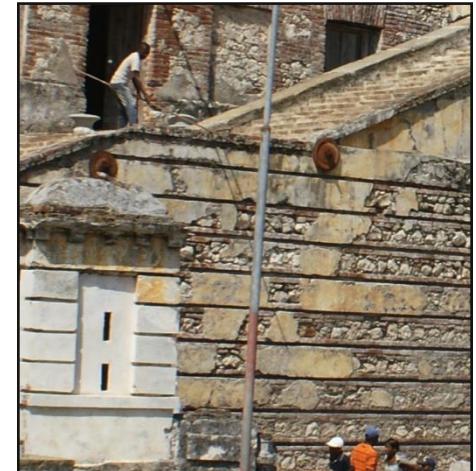
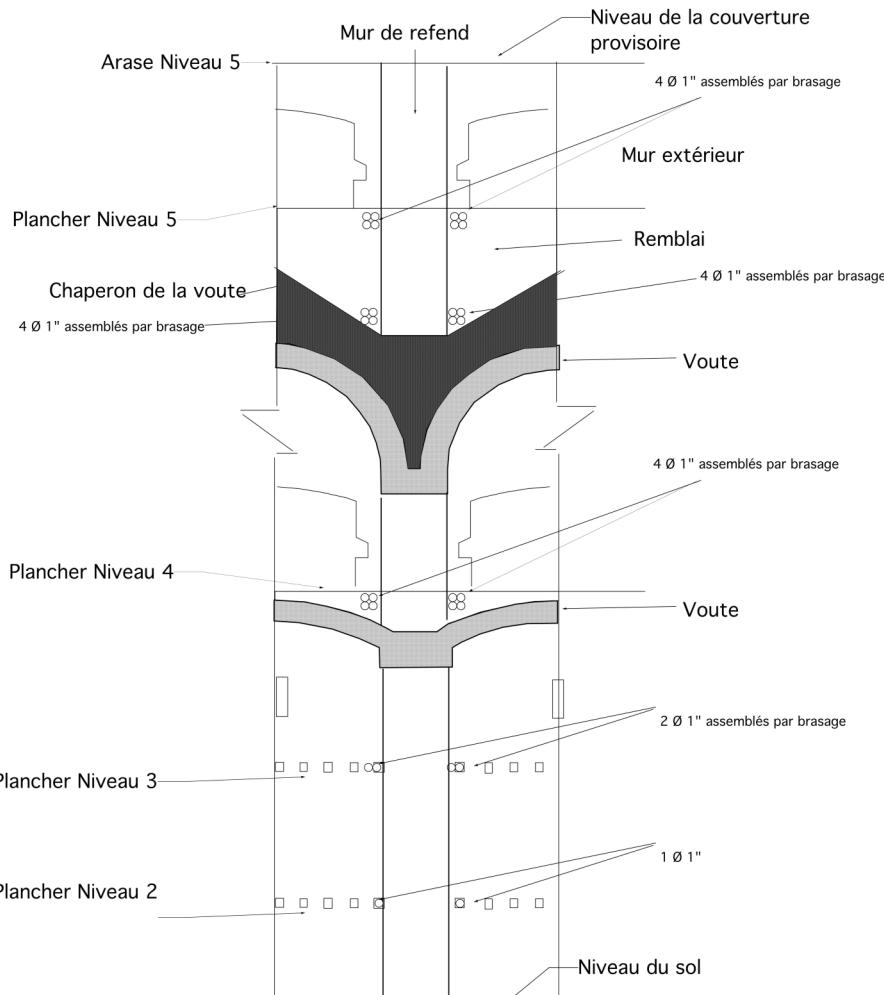
c) Restauration de la structure

La restauration de la structure passera ensuite par une campagne d'injection des fissures qui viendra rétablir la cohésion des murs. Cette campagne d'injection des murs fera suite nécessairement aux travaux de colmatage et de

nécessaire. Elle sera effectuée de manière à assurer la stabilité de la construction et de la sécurité des visiteurs.

2. La deuxième phase sera élaborée en fonction des priorités individuelles définies par le responsable du projet de

SECTION MONTRANT L'EMPLACEMENT DES TIRANTS DE CINTRAGE



•Figure 33 : Plaques de serrage escalier monumental



•Figure 34 : Mise en place des tirants

dispositifs d'ancrage métalliques ou un traitement à la résine époxy au moment de l'insertion de ces éléments dans les trous où étaient situées les poutres de support des planchers.

remaiillage de la maçonnerie. La restauration de la Batterie Coidavid devrait être développée en plusieurs phases :

I. Dans la première étape, une intervention d'urgence est



•Figure 35 : Photos montrant du coté droit les pas de vis du tirant en vue de son serrage

restauration et la séquence fonctionnelle de la conservation du monument. On adoptera cependant une philosophie qui consiste à procéder à la restauration complète du bâtiment sur la base d'un projet de restauration spécifique qui prend en compte les besoins particuliers.

8-Justification de l'urgence des interventions

Les essais effectués sur le bâtiment confirment que le risque d'effondrement total de la batterie Coidavid est réel. Cela exige que des mesures d'urgence soient entreprises immédiatement pour assurer la stabilité du bâtiment. L'intervention d'urgence consiste à soutenir les voûtes du troisième niveau 3 par un étalement en bois à partir du niveau du sol afin de les soulager et éventuellement les consolider et, par ailleurs, stabiliser les fissures dans les murs. Cette intervention immédiate visant à soutenir les voûtes fissurées du niveau 3 et les murs déconnectés aux niveaux 1 et 2 a été entamée en décembre de l'année 2012. A ce jour, seulement sept (7) des dix voûtes ont été étayées, il est nécessaire de compléter cette entreprise pour assurer la stabilité complète de ce corps de bâtiment. D'ailleurs, certaines fissures ont été constatées récemment sur les murs périphériques au niveau du rez-de-chaussée du côté de la cour des douves. Celles-ci sont évidemment récentes et semblent provenir du tremblement de terre de 2010. Pour réduire le risque d'effondrement des bâtiments des

mesures simples mais efficaces doivent être entreprises dans l'urgence.

9-Justification des solutions proposées

Les portes et les linteaux de la Batterie Coidavid avaient été complètement étayés à partir de 1978. Cet étalement avait été réalisé en bois et soutenait les différents linteaux de portes et de fenêtres. Cependant, il a presque complètement disparu aujourd'hui. Seulement des vestiges de cet étalement peuvent encore être vus dans certaines des salles du niveau 2 et du niveau 3. Par contre, les travaux d'étalement de voute réalisés entre mai et juillet 1980 avec le concours d'un charpentier, compagnon du devoir du tour de France, sont encore en place, environ 34 ans après. Cette expérience confirme la viabilité du système préconisé pour l'étalement des voûtes.

En ce qui concerne le cintrage il s'est avéré que le chainage du bâtiment mériterait d'être rétabli. Car, sur la base de nos observations visuelles, il s'est avéré que des barres de fer avaient été insérées, sur le plan l'horizontal, à l'intérieur de la paroi transversale des murs dans le but de nouer ensemble les murs intérieurs et extérieurs (figures 36 à 38).

De même, le bon comportement des tirants mis en place pour rattraper le fauxaplomb de l'escalier monumental des Sanssouci en 2009 conforte la solution

proposée pour rétablir le chainage horizontal.

10-Descriptifs des tirants

Le mauvais état de conservation du chainage d'origine de la Batterie Coidavid qui subit des efforts transversaux milite en faveur d'une démarche visant, au moins sur une base temporaire, à faire travailler ensemble de manière solidaire tous les éléments de la structure. La solution la plus simple, consistera à adjoindre des tirants qui auront la vertu de cintrer le



•Figure 36 : Eclatement de l'une des parois transversales qui met au jour le renfort d'origine qui disloqué et tordu.



•Figure 37 : Mise au jour de barres de fer à l'intérieur de l'une des parois transversales. Ce fer constituait le renfort d'origine mais s'est déboité.



•Figure 38 : Exposition du renfort d'origine constitué par des barres de fer à l'intérieur de la paroi transversale.

bâtiment. Dans l'architecture gothique les tirants métalliques participent à l'équilibre complexe des poussées des maçonneries. En effet, un tirant est une membrure qui reprend des efforts entre deux poussées divergentes, et évite le déversement d'un mur l'écartement des pièces de charpente, etc. Contrairement à l'étrésillon qui travaille en compression en empêchant le rapprochement de deux pièces, le tirant est soumis à une traction. En maçonnerie, le tirant est une tige métallique dont chaque extrémité est solidaire d'une ancre en forme de X, de Y, de S, destinée à prendre appui sur la maçonnerie.

Généralement le tirant est ajouté au cours de la construction de l'ouvrage, et est intégré dès l'origine. Cependant, il (le tirant) est souvent ajouté postérieurement à une construction en vue de remédier à des faiblesses structurelles. Dans notre cas d'es-



•Figure 40 : Détail de pose des tirants

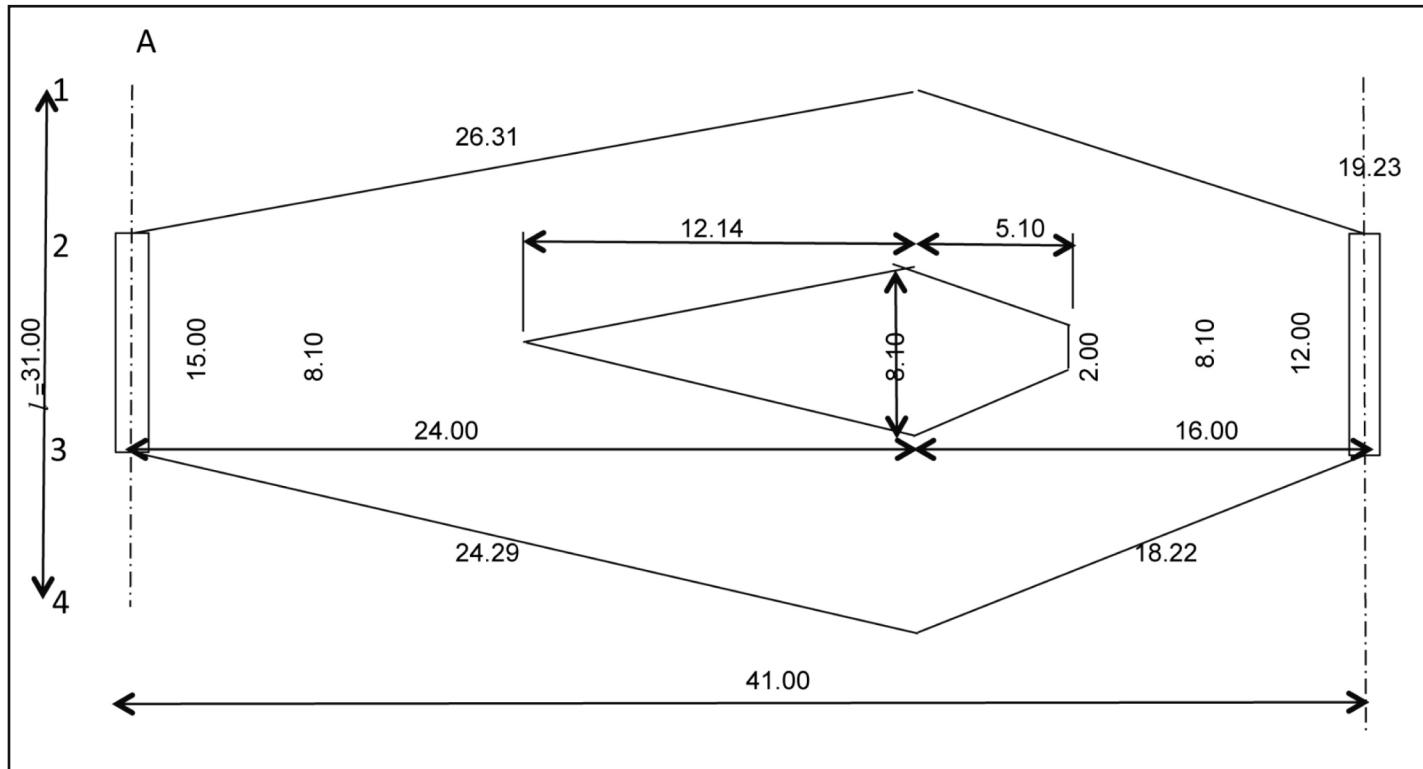
pèce ces tirants seront ajoutés postérieurement pour rétablir les conditions d'équilibre d'origine. Ceci sera accompli en installant des pièces composites réalisées avec barres d'acier d'au moins 1 pouce de diamètre chacune, réunies ensembles par un soudobrasage et dûment munies d'un filetage à leur extrémité. Il sera nécessaire de percer les murs extérieurs pour

réaliser une connexion valide. Elles seront attachées à des dispositifs de serrage constitués par des croix de Saint-André fixés aux murs extérieurs. Ces tirants seront posés au droit des murs de refends à confiner. Cet effort d'urgence restera non destructif complètement réversible et principalement non-intrusif.



•Figure 39 : voici ce qui est envisagé pour la Pose des tirants

Dimensionnement des tirants



• Calcul sismique Coidavid

Largeur du bâtiment

$I = 31.00 \text{ m}$

Longueur du bâtiment

$L = 41.00 \text{ m}$

Surface du bâtiment

$S = 821.08 \text{ m}^2$

Hauteur du bâtiment

$h = 21.30 \text{ m}$

Localisation

Cap-Haïtien

Longitude -72.20

Latitude 19.76

Conception structurelle choisie

Ossature en maçonnerie de roches

Le dimensionnement des différents tirants a été réalisé par la méthode des éléments finis avec des précisions sur les caractéristiques des différents matériaux et un assemblage de matrices élémentaires par niveau, les résultats retenus sont :

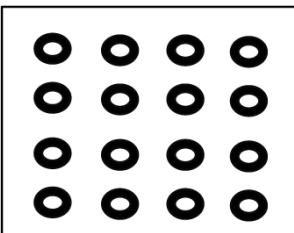
- Calcul des charges sismiques dans le sens de Est-Ouest,
- Accélérations spectrales max. ajustées par les coefficients de site,
- Accélérations de calcul avec un taux d'amortissement de 5%,
- Tracé du spectre de réponse en accélération (spectre de calcul) en fonction de la

période de vibration,

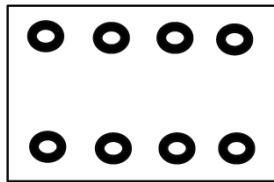
- Calcul de points intermédiaires pour le tracé de la courbe descendante,
- Nature de l'occupation,
- Catégorie de conception parasismique,
- Facteurs de performance sismique Justification du choix de la méthode,
- Détermination de la force de cisaillement à la base du bâtiment,
- Période fondamentale du bâtiment,
- Calcul du Poids sismique effectif,
- Nombre de tirants.

Nombre de tirants		Nombre adopté					
Niveau 5	n =	175	160	soit	10	x	16
Niveau 4	n =	78	80	soit	10	x	8
Niveau 3	n =	24	20	soit	10	x	2
Niveau 2	n =	12	10	soit	10	x	1

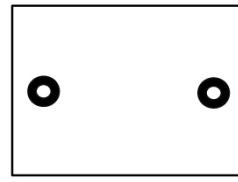
Tirant Niveau 5



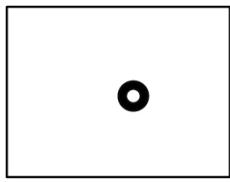
Tirant Niveau 4



Tirant Niveau 3



Tirant Niveau 2



a) Choix des matériaux

Pour réaliser nos tirants nous utiliserons du Fer à béton à verrous laminé à froid "Chantier Spécial FeE 500-2". Il s'agit du Fer à béton rond haute adhérence à verrous, soudable, de nuance FeE 500-2 fabriqué suivant la norme française NF A 35-016 (1996) à partir du laminage à froid des couronnes de fil machine. Ce fer est disponible sur le marché local en diamètre 25 mm, colisé en fardeaux de barres droites de longueur maxi 12 m.

b) Caractéristiques géométriques du fer à utiliser.

- Masse linéique : L'écart admissible par rapport à la masse linéique nominale est de $\pm 4.5\%$.
- Longueur: La longueur standard des barres est de 12 m mais des longueurs spécifiques inférieures à 12 m peuvent être fabriquées sur commande.

c) Caractéristiques mécaniques

- Limite élastique en traction : N/mm^2 Rupture / élasticité Allongement total sous charge maxi $ReH \geq 500$

$$500 \text{ Rm/ReH} \geq 1.03 \text{ Agt} \geq 2.5 \%$$

- Non fragilité : Absence de fragilité (aucune rupture, fissure ou déchirure transversale après essai de pliage normalisé).

d) Mode et conditions de fabrication

i. Brasage

Les barres d'acier qui formeront les pièces composites seront assemblées par brasage. Le brasage est un procédé dans lequel deux ou plusieurs éléments métalliques sont reliés entre eux par fusion. C'est un procédé d'assemblage permanent qui établit une continuité métallique entre les pièces réunies. Le mécanisme du brasage est la diffusion et la migration atomique de part et d'autre des bords à assembler (substrat) obtenue par action calorique et/ou mécanique. Contrairement au soudage, il n'y a pas fusion des bords assemblés. Selon les cas il peut y avoir ou non utilisation d'un métal d'apport.

Le brasage est très largement utilisé comme technique d'assemblage dans les industries de pointe telles l'aérospatiale, l'aéronautique, l'automobile ainsi que la conception des petites pièces creuses aux profils compliqués et en métal noble (micromécanique de précision, prothèses, capteurs, etc.). Concernant les techniques de brasage mettant en œuvre la chaleur, nous prévoyons de d'opérer unbrasage tendre qui met en œuvre des températures inférieures à 450 °C; le terme technique anglais correspondant est soldering.

Le brasage a été mis en œuvre dès l'age du fer bien avant le soudage. Ce sont les forgerons qui, les premiers, ont effectué des assemblages permanents en combinant les effets de la chaleur aux effets mécaniques. Cette technique, encore utilisée de nos jours, consiste à chauffer au blanc-soudant deux morceaux de fer (« d'acier »), de les juxtaposer puis de marteler ce montage jusqu'à ce que les pièces soient réunies de manière

permanente. C'est la forme la plus ancienne du brasage et il s'agit bien là de brasage car les bords des pièces n'ont pas atteint leur point de fusion; cependant, dans la littérature, il est parfois désigné comme un procédé de « soudage à l'état solide ».

•Procédé

En guise de mode opératoire, nous devons signaler que le chauffage de la zone à braser se fera à l'arc électrique.

•Avantages par rapport au soudage

Comme mentionné ci-dessus, les températures de fusion des métaux de base ne sont pas (ne doivent pas être) atteintes. Ceux-ci seront moins affectés par la chaleur, la dégradation de leurs propriétés mécaniques sera atténuée de même que leur oxydation. Les contraintes résiduelles et les déformations seront moindres et les procédés de brasage se prêtent bien à la production à grande vitesse.

ii. Procédé d'assemblage

Etant données les contraintes liées à l'exiguité de l'espace nous nous verrons dans l'obligation de morceler les tirants en deux parties dans le sens de la longueur, de manière à faciliter leur emmanchement. Les deux portions de tirant seront assemblés sur place après emmanchement par un boulonnage de l'assemblage à mi-fer qui aura été prévu pour leur prolongement.

Un filetage sera réalisé à l'extrémité de chaque portion pour permettre d'ajouter un écrou qui viendra serrer un dispositif en croix de Saint-André destiné à mettre les tirants en charge. Étant donnée l'importance des efforts que devront reprendre les tirants nous utiliserons un profil trapézoïdal dans les filets. Ceci facilitera la transmission d'efforts importants et précis. L'utilisation d'un pas métrique avec des flancs formant un angle de 30° sera considérée.

Etant donnée l'importance du coupe de serrage qu'il faut appliquer il est impératif d'utiliser des écrous carrés qui offrent une prise en clé plus importante. Autrefois ils étaient recommandés pour des usages avec risque de grippage ou permettant l'emploi d'acier moins résistant.

iii. Protection contre la corrosion.

Il faut créer sur la surface de la pièce à protéger, une couche protectrice inaltérable et imperméable afin d'isoler le métal du milieu ambiant.

Pour cela on commencera par bien décapier les tirants pour les débarrasser de toute trace rouille en opérant un décapage manuel. Ce qu'il y a de plus simple. Pour ce faire on frottera la rouille, toujours dans le même sens, à l'aide d'une brosse métallique, d'une lime, d'une toile émeri... Pour faciliter le travail, on peut fixer la brosse sur une perceuse ou une meuleuse. En raison des éclats qui peuvent être provoqués par ce nettoyage, il faut porter des lunettes de protection.

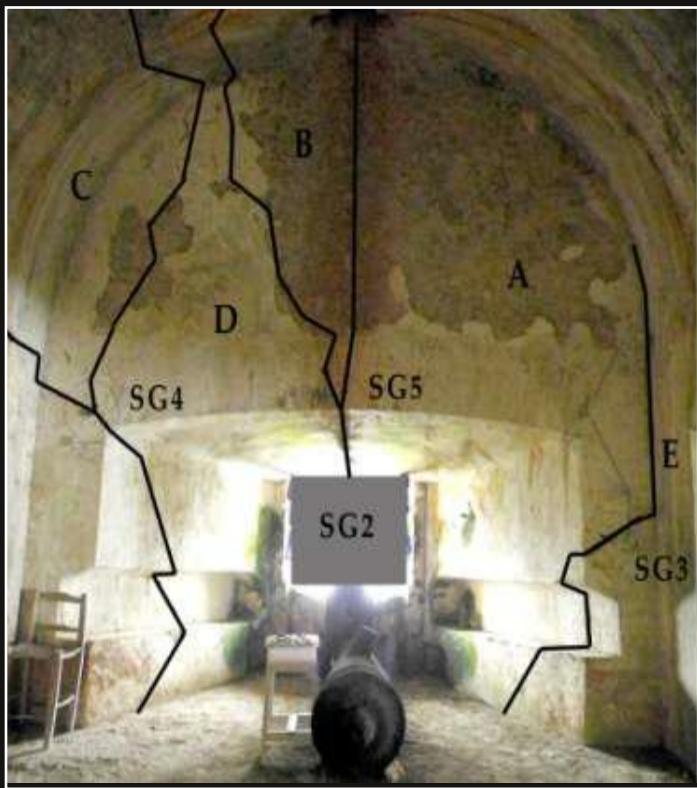
On appliquera une couche primaire destinée à réaliser la base d'accrochage de la peinture. Pour cette couche d'apprêt on utilisera une peinture à base de minium de plomb. Pour la couche de finition (couche protectrice) on fera un mélange d'huile de lin, d'essence de térébenthine. Le durcissement du mélange sera obtenu par la polymérisation de l'huile de lin au contact de l'oxygène de l'air.

e) Spécifications du matériel devant être utilisé

Considérant la forte épaisseur des murs et la forte densité de la roche utilisée dans l'érection des murs nous utiliserons pour le forage des murs le type de matériel qu'on emploie dans les mines (Hard Rock drillingmaterial) pour le percement des trous qui nous permettront d'emmancher les tirants. Le matériel disposera d'une plate-forme robuste pour garantir une augmentation du taux de pénétration et de la durabilité. Elle garantira aussi une structure de coupe qui fournit un contrôle des vibrations inégalée. Nous utiliserons une gamme de forets et de trépans de cône super performants qui nous garantiront l'efficacité, la précision et le contrôle de qualité.

Pour l'injection de coulis dans les murs nous utiliserons un malaxeur à haute turbulence. Cela aura l'avantage de réaliser une bonne défloculation des grains ce qui diminuera le retrait du coulis tout en évitant le ressauage.

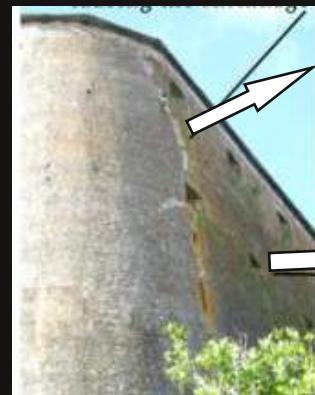
Confortement de la Citadelle Henry



A : sector tends to glide and press the fissure **SG3** reducing its thickness of about 0,1560 mm.

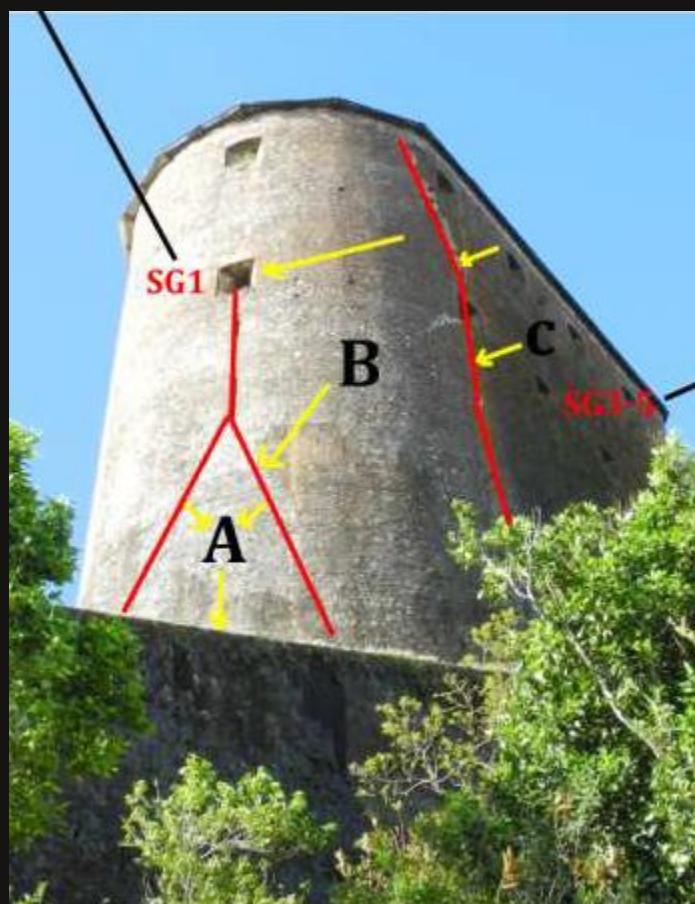
B : this section of wall tends to glide pressing the fissure **SG5** that reduces in thickness of about 0,1465 mm.

C : the section causes that **SG4** location recorded the maximum elongation of 0,1578 mm.



This fissure probably newly opened causing the shrinkage of Set2

Set 2



Vue des ruptures sur l'axe des fenêtres, et les fissures de la batterie Coidavid intérieur et extérieur



Les différents désordres et dégâts enregistrés après le séisme de 1842 au niveau de la batterie Coidavid



www.ispan.gouv.ht

Comité de rédaction :

- Jean Patrick DURANDIS,
D.G / ISPAN
Architecte de Monument
- Sabry ICCENAT,
Communicateur ISPAN
- Emmanuel TANIS
Historien ISPAN

Elaboration du dossier & photographie :

- Jean Hérold PÉRARD,
Ingénieur de Monument / calcul de structure parasismique
- Gérard Luc JEAN BAPTISTE,
Ingénieur / calcul de structure parasismique
- Eloïte COLAS
Directeur Technique / ISPAN
Spécialiste en structure
- Patricia Balandier
Avis technique / confortement sismique
Arch. Géotechnicienne

Correction, Avis et relecture :

- Eddy LUBIN,
Tech. Archéologue
- Rhoddy ATTILUS (ISPAN)
Membre du jury des prix Deschamps

Graphiste:

- Roberson ETIENNE
Ingénieur Informaticien ISPAN

Supervision :

- Jean Patrick DURANDIS,
D.G / ISPAN
Architecte de Monument
- Jean Hérold PÉRARD
Ingénieur de Monument

Distribution :

Service de promotion