

AMPCR AI HOCEIMA MAROC 25,265 et 27 Septembre 2018
Communication de Mr. Smail SERBOUT
Géotechnicien-Mécanicien de Structures

Titre de la communication : **PONT DE GENES, HYPOTHESES ET ENSEIGNEMENTS**
Durée : 15mn

Plan de la Communication :

- **PREAMBULE N°0 : OBSERVATION GENERALE**
- **PREAMBULE N°1 : CADRE LEGAL & CONSTITUTIONNEL**
- **DEFAILLANCES ORIGINES EFFONDREMENT DES PONTS**
- **CAS DU VIADUC MORANDI A GENES EN ITALIE**
- **AVIS DE L'EXPERT FRANÇAIS**
- **AVIS DE L'EXPERT ITALIEN**

AVIS DE L'EXPERT Gidas Potin (Coyne et Béliers) & Javier Ibanez
(Dynamics Engineers)

-
- **AVIS DE L'EXPERT MAROCAIN**

Préambule N°0 : Observation Générale

Le Contexte. De Pertinentes Questions datées du 21 Août dernier, M'avaient été posées et avaient trouvé Réponses à partir de Mon iPhone quasiment Instantanément et Spontanément. Le lendemain 22 Août, qui coïncidait avec l'Aïd Al Adha. A chaud et bien Imprégné du Sujet, il ne m'avait pas fallu plus d'une Heure pour résoudre les six Questions posées ; qui pourraient sembler Délicates voire Sensibles pour le Citoyen Marocain Lambda. Il n'en est strictement rien. Sous d'autres Cieus, c'est tellement banalisé que Chaque Citoyen, Chaque Responsable agit strictement en parfaite connaissance de ses Droits et de ses Obligations. La Loi est Crainte par Tous sans Aucune Exception. Nous sommes Nombreux Marocains Authentiques Compatriotes, « Immunisés » contre la Grave Maladie de l'Hypocrisie. Nous Rêvons d'un Maroc qui répond à cette Spécification. J'anticipe ainsi, à Ma façon, la réponse à ceux, qu'on appelle communément « les Mauvaises Langues » ; « Créer le Buz » .. et j'En passe. « la Buz, wala ghirou wala Houm Yahzanoun..

».. Je leur réponds avant même qu'ils posent leur « improductif » commentaire, que Je suis un Compatriote de Souche, Pur Produit de l'Ecole Publique Marocaine. L'Intellectuel Marocain Type qui a eu la Chance de faire des Etudes Supérieures Extrêmement Poussées , et qui porte un Projet Innovant pour Sa Patrie.

Voilà Extrêmement brièvement, pour le Cadre Général de Mon intervention.

Préambule N°1 : Cadre Légal & Constitutionnel

Je commence, si vous me le permettez, par définir le Cadre légal de Mon Intervention. J'ai donné suite favorable à la Demande d'Explication, sans réfléchir une seconde, d'abord par Patriotisme, et je vous dirai toute à l'heure Comment. Dans la Légalité en Ma Qualité Première de Citoyen Marocain, et ensuite en Ma Qualité d'Expert Assermenté en la Matière et enfin en tant qu'Acteur Actif de la Société Civile, en Vertu de la Législation Marocaine en Vigueur, notamment des Dispositions Constitutionnelles. En effet, cette intervention s'inscrit parfaitement dans la Lignée de la Constitution Marocaine de 2011. Plus précisément, en ce qui concerne le Rôle que Doit jouer la Société Civile pour Contribuer à l'Edification Complète et Définitive de l'Etat de Droit, et également pour l'Accélération du Développement Social et Économique de Notre Patrie. Vous Comprendrez que je ne pourrai dire plus, à ce propos, Néanmoins, Mes Avocats apporteraient les développements juridiques du Cadre Légal le Cas Echéant.

Voilà Extrêmement brièvement, pour le Contexte
Légal et Constitutionnel.

- **DEFAILLANCES ORIGINES EFFONDREMENT DES PONTS**

- Cela concerne la Pathologie des Ponts. A titre Référentiel, Il y a 32 ans,

jour pour jour, J'avais élaboré, alors Jeune Ingénieur au LPEE,

Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes, Sous la Direction de Ssi Ahmed

HAKIMI, X-Pont, alors DG du LPEE, un Catalogue Infographié,

imprimé en 500 Exemplaires. Il portait sur la Pathologie des Ponts au

Maroc.

- Correspondance, quasiment parfaite avec les Sciences de la Médecine,

- De façon Méthodologique Hautement précise, l'Expert observe de visu

l'ouvrage, prend des Photos et des Vidéos (oscillations du Pont sous le

vent ou le séisme.), consulte ensuite les Plans d'Exécution, et vérifie

minutieusement les Hypothèses de Travail prises par l'Ingénieur Conseil.

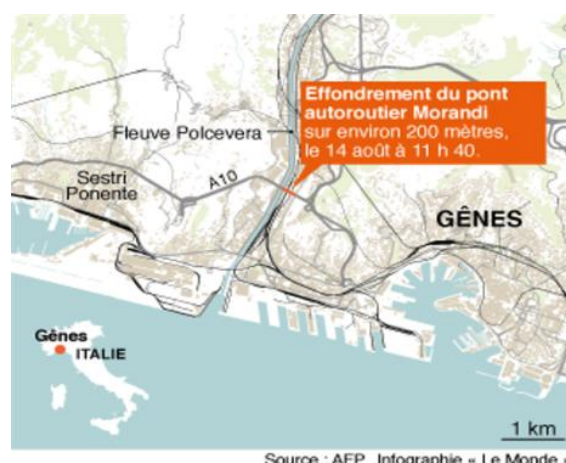
- Il consulte également les Mesures d'Auscultation quand il y en a, recalcule et recalcule...Identifie les Zones d'Ombre, les Points Critiques et les Transformations éventuelles dans le Comportement du Pont, le long de Sa Vie, Exactement à l'image d'un Patient devant Son Médecin.
- Le Pont est un Être Vivant, Jusqu'à Sa Mort. C'est à dire Sa Ruine ou Sa Démolition programmée.Les Défaillances à l'origine d'un Effondrement de Pont, sont multiples et variées :D'abord, des Erreurs de conception et de calcul, peuvent en être la cause. Exemples : L'Ingénieur Conseil, ou ses Collaborateurs peuvent se tromper sur les Hypothèses de travail ou rater une Conception Structurale. On ne considère qu'un débit Sommaire, en deçà du Débit de Crue. On ne prend pas le Bon Spectre de Réponse de l'ouvrage,On oublie la présence d'une Faille dans le sous-sol du Pont, et on en tient pas compte alors que c'est bien un déplacement potentiel, si elle est Active, qui va automatiquement se répercuter sur la Structure du Pont Via les RAP (Appareils d'appuis Spéciaux).Des Défauts

d'exécution, une incompréhension des plans...Des insuffisances Géotechniques peuvent rendre particulièrement précaires la Stabilité des Fondations de l'Ouvrage.De même, au niveau de la Superstructure, des phénomènes tels le séisme, le Vent, la foudre, l'Orage, la Résonance.Peuvent également conduire soit isolément soit concomitamment à la ruine de l'ouvrage. Au niveau du Suivi et Contrôle des Travaux d'exécution, aussi bien les Agents de l'Administration que les Acteurs Privés, sont tenus d'observer Rigueur et Professionnalisme. Ce qui, bien évidemment, ferme la voie aux Passe-droit.

Actualité brûlante : Viaduc MORANDI à Gênes en Italie

Selon l'Expert Marocain, que Je suis, (source internet et Documentation Internationale), Ce Pont situé sur l'Autoroute Côtière A10 reliant l'Italie à la France, et construit de 1963 à 1967, date de son inauguration ; d'une longueur de 1182m, haut d'une centaine de mètres, est un Pont Haubané, Tablier en BP, Piles en Béton en forme de V, donc Inclinaées ; les Pylônes se prolongent sur les Piles et sont également en Béton. Ce Pont s'est partiellement effondré sur une longueur de 80 m, en date du 14 Août 2018 à

11h35'. C'est l'Arche Centrale longue de 210 mètres qui a cédé. Le Pont en comportait trois au total. Résultat : Une Quarantaine de Morts (Exactement 43, et 15 Blessés Graves), Colossales Pertes Matérielles, en plus de la Coupure d'un Axe Stratégique de Circulation entre Etats. Ce Pont a été conçu par l'Ingénieur Civil et Architecte (et pas seulement Architecte comme beaucoup de gens le disent), RICCARDO MORANDI. Riccardo Morandi est né le 1^{er} Septembre 1902 à Rome, il est décédé le 25 Décembre 1989 à Rome. Il était Professeur de Conception de Ponts à l'Université de Florence et à l'Université de Rome. Parmi ses Références, le 2^{ème} plus Grand Pont d'Afrique, le Pont du Wadi Al Kuf en Libye. Construit, je pense, en 1971 en trois travées à Haubans...Mais qui a été Fermé en 2017, après la Découverte de Probables Fissures. Selon l'Ingénieur Antonio Branchich, Titulaire de la Chaire d'Ingénieurs en BA à l'Université de Gênes ; en fin des années 90, les Câbles de suspension en Acier du Pont Effondré avaient été décrochés et remplacés par de Nouveaux Câbles, mais restés accrochés aux Pylônes Originels.





Libye



Gênes

En comparant les deux Ponts, on est Rapidement Troublé par leur Identité Conceptuelle. Le Pont de Libye a été Fermé à l'âge de 46 ans, celui de Gênes s'est Partiellement Effondré à l'âge de 51 ans... On est en Droit de conclure , toute chose égale par ailleurs, qu' à 5 ans près, le Fait de Fermer le Pont de Libye a permis de Sauver des Vies Humaines, Essentiellement. Pour finir cette introduction, je Rappelle que le Pont de Gênes était géré par la Société Italienne d'Austrade (Maintenance et Auscultation).

Selon l'Expert Marocain,

L'Expertise Judiciaire Officielle qui sera diligentée par les Juridictions Italiennes, devrait consister fondamentalement à Se déplacer in-situ, et Constater avec un Œil Extrêmement Critique, l'Etat de Tous les Organes Endommagés et Non Endommagés y Compris l'Environnement. Ensuite, il, c'est-à-dire l'Expert Judiciaire Désigné, aura à Examiner en Profondeur le Fond du Dossier, ainsi que la banque de données des Mesures d'Auscultation, si elle existe. Il S'Ingéniera, sans doute, à reproduire par Simulation Numérique toutes les

Conditions Naturelles et Météorologiques locales ainsi que celles relatives au Trafic qui avaient sollicité l'Ouvrage juste avant son Effondrement.

Selon l'Expert Marocain, dans l'Attente et sous Toutes les Réserves Légales d'Usage ; Sur la base des Informations Recueillies à travers la Presse Italienne et Internationale, d'une Part et, En me référant aux Enseignements de Mes Grands et Très Chers Professeurs A. ACCONGIAGIECO, Mécanicien des Sols, Italien ; M.VIRLOGEUX ,Mécanicien des Structures, Français ; A.PECKER ,Dynamicien des Structures, Français et Mon Ami A. CHOUKAILI , Mécanicien des Sols ,Hors Pair, Marocain. D'autre part, L'Expert Marocain Emet l'Avis Simple suivant, qui ne saurait, en aucun cas engager sa responsabilité, eu égard au Droit International.

Présentation préliminaire

(source internet ,Documentation Internationale et observations directes)

Le viaduc du Polcevera , plus communément appelé pont Morandi du nom de son concepteur, l'ingénieur italien Riccardo Morandi, ou encore pont delle Condotte du nom de l'entreprise qui l'a construit, est un pont à haubans permettant à l'autoroute des Fleurs (A10) de franchir le val Polcevera, à Gênes, entre les quartiers de Sampierdarena et de Cornigliano. On l'appelle aussi le Pont de Brooklyn, par ressemblance.

Axe routier qui voit passer chaque année 25 millions de véhicules.



L'ouvrage se décompose en un viaduc à poutres et un viaduc multi-haubané de quatre travées. Ce dernier se singularise par le faible nombre de haubans supportant le tablier, deux paires par pylône et par la nature même des haubans, des câbles d'acier enchâssés dans une gaine en béton précontraint, une disposition propre aux ponts à haubans construits par Riccardo Morandi.

Du point de vue RDM, Résistance des Matériaux, le Schéma Statique est une Poutre de 1182 m de long, composée de 5 Travées ISOSTATIQUES de 210 m de portée Significative, et 3 pylônes de 45 m par dessous, 90 m par-dessus. Les Piles sont en Béton Armé, le Tablier en Béton Précontraint.

L'ouvrage d'art est constitué d'un viaduc principal supportant l'autoroute A10 et d'un échangeur autoroutier entre l'A10 et l'A7 qui relie Milan à Gênes.

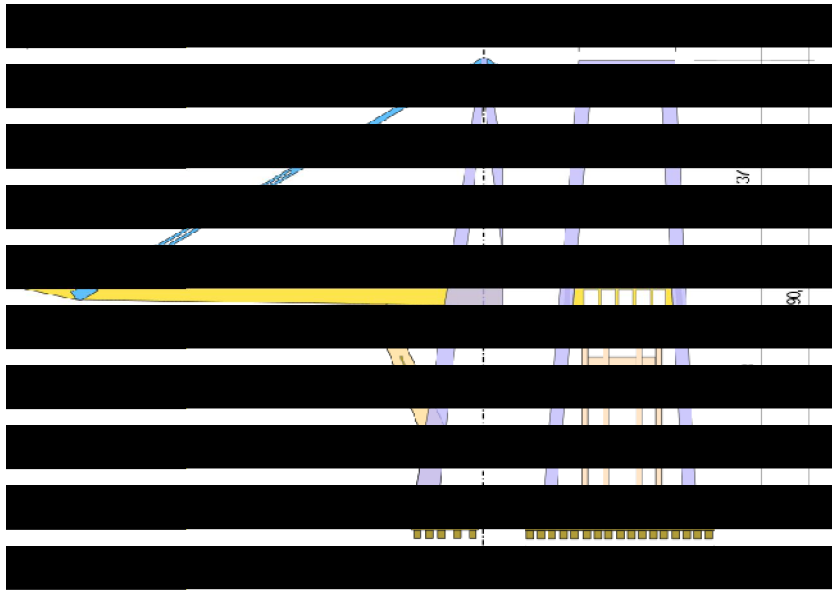
L'ouvrage est formé de deux parties distinctes :

- un viaduc constitué d'un tablier à poutres en béton armé de 484,3 m de longueur (décomposé en une section de 43 m, 5 sections de 73,2 m, et une section de 75,3 m) s'appuyant sur des piles de types chevalets. Chaque chevalet est constitué de deux pieds inclinés reliés en tête par un chevêtre en encorbellement de longueur variable. Chaque appui repose sur une semelle constituée d'un ensemble de pieux de 110 cm de diamètre et de longueur variable allant jusqu'à 48 mètres ;
- un viaduc multi-haubané de 618,1 m de longueur, constitué de quatre travées supportées par trois pylônes portant chacun deux paires de haubans. Les portées de chacune des travées sont respectivement, de l'ouest vers l'est et mesurées entre axes de chaque pile, de 142,6 m, 207,9 m, 202,5 m et 65,10 m.

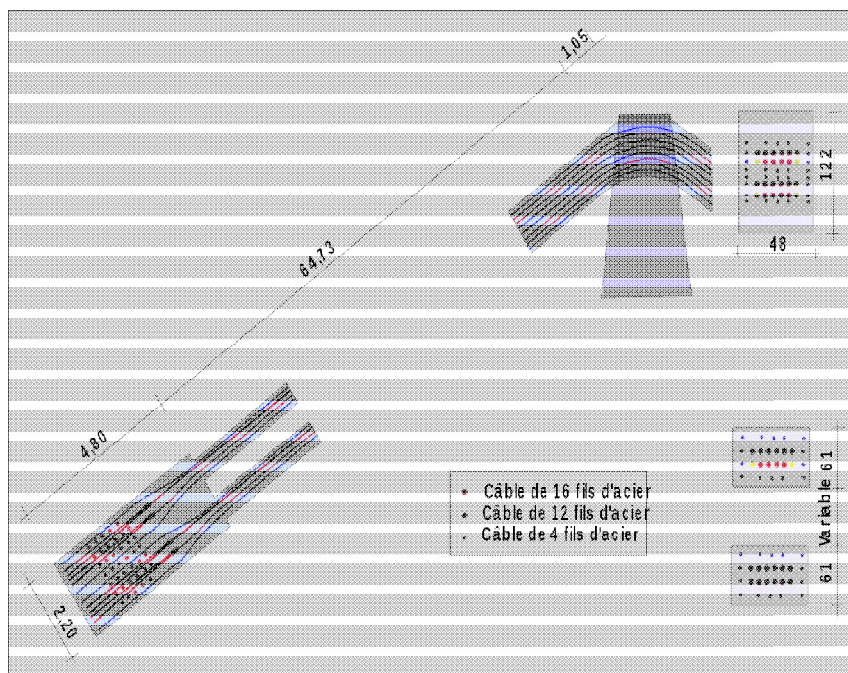
Dans la section haubanée, le tablier est constitué d'un caisson en béton précontraint avec une section cellulaire de cinq compartiments, rigidifiée verticalement par des nervures d'épaisseur variable entre 18 et 30 cm et horizontalement par des plaques de 16 cm d'épaisseur situées respectivement dans l'intrados et l'extrados du caisson. Cette section continue est à la fois encastrée sur des tréteaux en forme de H et suspendue par des haubans s'appuyant sur des pylônes en forme de A dénommés « antennes » d'une hauteur de 90,20 m. Ces pylônes sont constituées de piliers inclinés en béton armé reliés entre eux par des entretoises et présentant une section variable de $4,50 \times 0,90$ m à $2 \times 2,956$ m.



Élévation du pont Morandi (en rouge la pile 9 effondrée le 14 août 2018).
Les distances sont mesurées dans l'axe du tablier.



Élévation et coupe transversale du pylône n° 9.



Détail du câblage d'un hauban.

Les paires de haubans supportant le tablier sont ancrées à leurs extrémités dans celui-ci par le biais d'une traverse spécifique et s'appuient en tête des pylônes. Chaque hauban est constitué d'un faisceau de 352 fils d'acier spéciaux de diamètre nominal de 1,27 cm présentant chacun une résistance de 170kg/mm².

Et s'appuie en tête de pylône sur une nervure spéciale formée par des feuilles et des profilés laminés s'enfonçant dans la masse de béton. Chaque faisceau de 352 fils se répartit lui-même en un ensemble de 16 torons de 16 fils et 8 torons de 12 fils, tous enchâssés dans une gaine en béton précontraint par un ensemble de 113 autres fils de 1,27 cm de diamètre.

Le faible nombre de haubans et l'enchâssement des câbles en acier dans une coque en béton précontraint constituent une spécificité des ponts à haubans conçus par l'ingénieur Riccardo Morandi.

Un ouvrage construit par Morandi au Venezuela sur un modèle identique, le pont du Général-Rafael-Urdaneta, s'est en partie effondré en 1964 après avoir été percuté par un pétrolier. En outre, le pont du Wadi al-Kuf, très proche dans sa conception, construit en Libye en 1972 d'après des plans du même ingénieur, a été un moment interdit à la circulation depuis qu'une inspection a révélé en octobre 2017 de probables fissures dans sa structure..

À Florence, deux autres ponts à la conception desquels a participé Riccardo Morandi, mais non haubanés, le pont Amerigo-Vespucci et le pont de San Niccolò, font l'objet d'une surveillance particulière, en raison d'un début de sapement des pieux de fondation du premier et de problèmes liés aux joints sur le second.

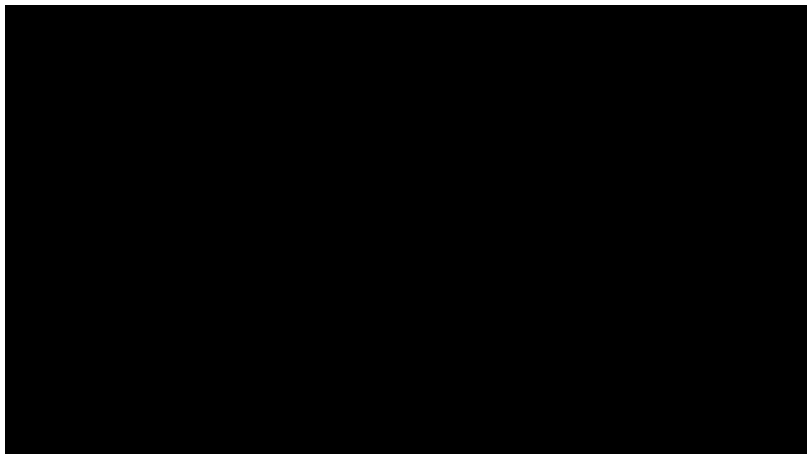
Conçu par l'ingénieur Riccardo Morandi, l'ouvrage a été construit entre 1963 et 1967 par la Società Italiana per Condotte d'Acqua. Il a été inauguré le 4 septembre 1967 par le président de la République Giuseppe Saragat.

Parmi les dernières interventions, en 2014 des travaux « de routine » de la Société des autoroutes ont été effectués, ainsi qu'en 2016 des travaux de

sécurité pour la rénovation de toutes les structures en béton et le remplacement des parapets dans les deux sens de circulation.



Inauguration du pont en 1967







Effondrement Partiel de 2018 :

L'ouvrage est mis en service en 1967. Le 14 août 2018, deux travées du viaduc à haubans s'effondrent soudainement, « suivies » par le pylône qui les soutenait, emportant avec elles les véhicules se trouvant à cet instant sur le tablier. Le bilan de la catastrophe est de 43 morts et 16 blessés. Plus de 600 personnes sont par ailleurs évacuées.



Le pont autoroutier Morandi, après son effondrement.









RAPPEL DE LA CATASTROPHE :

Le 14 août 2018, à 11 h 36 heure locale (9 h 36 GMT), alors que toute la région est frappée par de violents orages, une travée, représentant une longueur totale de 200 à 250 mètres, et son pylône (n° 9), s'effondre , emportant 38 véhicules, dont trois camions. Le tronçon effondré du tablier se situe en partie sur la voie ferrée et la *Via Walter Fillak* à Rivarolo. Des travaux de consolidation du tablier du viaduc étaient en cours et un pont roulant avait été installé pour permettre le

déroulement des activités d'entretien. Un témoin affirme avoir vu les haubans se rompre simultanément puis tomber sur la voie de circulation. Cette dernière serait alors remontée, suivie de la rupture de la travée. D'autres témoins ont également vu la foudre frapper un pilier. Le bilan est de 43 morts et 16 blessés.

Pour Jean-Michel Torrenti , directeur du « département Matériaux et Structures » à l'Ifsttar , interrogé le lendemain de la catastrophe, la corrosion d'un câble de précontrainte d'un hauban, non détectée en raison de sa position masquée par le béton, peut avoir entraîné sa rupture et provoqué la catastrophe. En effet si les ponts à haubans multiples (en acier) sont capables de conserver leur intégrité en cas de cassure de l'un d'entre eux, un pont à « deux tirants en béton précontraint » est moins résilient.

AVIS DE L'EXPERT ITALIEN :

En 2016, Antonio Brenchich, professeur agrégé en structures de béton à la faculté d'ingénierie de Gênes, publie une note sur les faiblesses de l'ouvrage : « le viaduc de Morandi a immédiatement présenté plusieurs défaillances de structure .Une erreur d'ingénierie consistant en une évaluation incorrecte des effets de retrait du béton ayant produit un plan de route non horizontal ». La déformation du plan de route provoque un ressenti de bosses sur la voie dès les années 1980 pour les usagers du pont. Des travaux de corrections de planéité sont entrepris pour réduire l'ampleur du phénomène. D'autre part, en raison des coûts de maintenance, Antonio Brenchich déclare dans le même article que « dans peu d'années, les coûts d'entretien dépasseront les coûts de reconstruction du pont : à ce moment-là, le moment sera venu de

démolir le pont et de le reconstruire ». Une telle démolition aurait pu coïncider avec la prochaine construction de la gronda di Genova, un important projet de bretelle de contournement.

Et selon le professeur en construction à l'université de Gênes Antonio Brencich, il y a eu dès le départ une "erreur d'ingénierie" qui a entraîné une erreur structurelle que les automobilistes locaux connaissaient bien : la route n'était pas lisse, expliquait le professeur dans un entretien datant de 2016, sur un site spécialisé. "Le viaduc Morandi a présenté dès le départ des aspects problématiques", a-t-il expliqué. Des modifications ont été réalisées en surface, mais la structure n'a jamais été modifiée. Le professeur l'a rappelé mardi après l'effondrement du pont que les Génois surnommaient le "pont Brooklyn" : il présente "des problèmes évidents de vulnérabilité", a-t-il avancé sur le site Linkiesta, comme le rapporte *Le Monde*. Il ajoute : "Après tout, s'il n'y en a que trois dans le monde, c'est qu'il y a bien une raison."

Les deux autres ponts similaires se trouvent pour l'un en Libye, pour l'autre au Venezuela. Ce dernier a vu plusieurs de ses piliers tomber en 1964, après qu'un pétrolier en ait percuté un.

« Une maintenance du pont était en cours » :

Selon le quotidien *Il Fatto Quotidiano*, des travaux étaient engagés depuis le 3 mai dernier et devaient durer un an. A l'époque du début des travaux, et alors qu'une des voies du pont avait été neutralisée pour la réalisation des opérations, le PDG du concessionnaire autoroutier, Autostrade per Italia, Giovanni Castellucci, s'était excusé des désagréments en disant : "Mais nous pensons que la sécurité passe avant tout."

Compte tenu de l'importance de cet axe routier qui voit passer chaque année 25 millions de véhicules, l'hypothèse d'une démolition de l'ouvrage avait même été étudiée en 2009. La société autoroutière Autostrade per Italia avait récemment lancé un appel d'offres de 20 millions d'euros pour des interventions sur le viaduc, rapporte l'agence de presse économique Radiocor. Cet appel d'offre

prévoyait précisément un renforcement des câbles de certaines piles (structures verticales qui soutiennent les arches d'un pont), dont la pile numéro 9, celle qui s'est écroulée mardi 14 Août 2018.

En fait, le pont a souvent connu de longues périodes de réfection. Au début des années 2000, les câbles de suspension datant des années 1980 et 1990 ont par exemple été changés. "Il y a 50 ans, on avait une confiance illimitée dans le béton armé. On pensait qu'il était éternel. Mais on a compris qu'il dure seulement quelques décennies", explique à la presse italienne Diego Zoppi, ex-président de l'ordre des architectes de Gênes. "On n'a pas tenu compte à l'époque des continuelles vibrations du trafic, car le ciment se microfissure et laisse passer l'air, qui rejoint la structure interne en métal et la fait s'oxyder", note-t-il, expliquant ainsi les constantes opérations de maintenance du pont Morandini. "L'Italie construite dans les années 1950 et 1960 a un besoin urgent de restructurations. Le risque d'écroulement est sous-estimé. Les ouvrages construits à cette époque sont en train d'arriver à un âge où ils deviennent à risque", a prévenu l'architecte.

« C'est la faute du concessionnaire, selon Salvini et Di Maio » :

Autre axe de critique de l'alliance populiste au pouvoir en Italie : le concessionnaire n'a pas fait son travail. Pour Luigi Di Maio, vice-Premier ministre et chef de file du Mouvement 5 étoiles, le pont "ne s'est pas écroulé par fatalité mais parce que la maintenance n'a pas été faite". "Pendant des années on a dit que faire gérer les autoroutes par des privés était mieux que par l'Etat. Maintenant on a l'un des plus grands concessionnaires européens qui nous dit que ce pont était en sécurité et que rien ne laissait imaginer l'effondrement", a lancé Luigi Di Maio.

"La révocation des concessions est un minimum", a pour sa part lancé sur une autre radio Matteo Salvini. "En tant que vice-Premier ministre, je vais écrire à

tous les autres concessionnaires pour demander quelle part de leur budget ils réinvestissent dans la sécurité". Mardi soir, le chef du gouvernement, Giuseppe Conte, avait annoncé un plan extraordinaire de contrôle des infrastructures.

Le Mouvement 5 étoiles a toujours été contre le développement des grandes infrastructures. A tel point qu'en 2013, la section génoise du parti populiste avait, dans un communiqué, dénoncé les possibles financements de travaux autoroutiers en évoquant "la fable" d'un effondrement probable du pont. Un communiqué qui a été effacé du Mouvement 5 étoiles après la tragédie, mais encore disponible sur des sites d'archivages.

« C'est la faute des Benetton ou des camions polonais pour d'autres » :

Après les déclarations du Mouvement 5 étoiles dénonçant le concessionnaire, c'est plus précisément contre la famille Benetton que les critiques se sont concentrées, puisque c'est elle qui contrôle Autostrade Per Italia, via son groupe Atlantia.

Plus loin encore dans l'exagération, Danilo Toninelli, ministre des Transports et des Infrastructures issu du Mouvement 5 étoiles, évoquait sur la radio nationale Rai le rôle du trafic de poids lourds dans la détérioration de l'infrastructure, et notamment des "camions polonais".

AVIS DE L'EXPERT FRANÇAIS :

Vieillissement.

Les Haubans, soumis à de fortes tensions, sont sensibles à la Corrosion. Aussi, la forte dégradation du béton sous un fort écrasement.

Il exclue a priori la foudre ; le pont étant équipé d'un Para- tonnerre, en tête du pylône.

Pas de problème de Conception non plus. Les Ingénieurs savent faire et tenir compte des Charges et Surcharges sur les Ponts.

Michel Virlogeux, ingénieur des ponts et chaussées à qui l'on doit entre autres le pont de Normandie et le viaduc de Millau en France, réagit à l'effondrement d'une partie du pont Morandi de Gênes, en Italie.

Le viaduc qui s'est effondré ce mardi à Gênes était l'œuvre de l'architecte italien Riccardo Morandi (1902-1989). Que peut-on en dire ?

Ce pont fait partie d'une série d'ouvrages construits par Morandi au cours des années 60. Il en a fait trois de ce type : en plus du pont de Gênes, on lui doit le pont de Maracaibo au Venezuela et celui de Wadi el-Kuf en Libye (*inauguré en 1972*), qui a détenu un certain temps le record du monde de portée en béton.

Ce sont des ponts à haubans en béton, qui ne sont pas d'une conception géniale en réalité. A la même époque, les Allemands commençaient à faire des ponts en haubans beaucoup plus modernes. Morandi use à Gênes d'une idée très massive. Mais il a fait d'autres ouvrages très intéressants, notamment des ponts en arc.

En attendant de savoir exactement ce qui s'est produit, quelles hypothèses pourraient expliquer un tel accident, en sachant que le pont avait été partiellement rénové en 2016 ?

Une hypothèse qui me paraît relativement crédible, c'est qu'un des haubans ait cédé sous l'effet de la corrosion. S'agissant des réparations, elles sont parfois plus dangereuses qu'autre chose. Il y a quelques exemples de ponts qui se sont cassés la gueule pendant leurs réparations : c'est arrivé en 2007 à Minneapolis (*dans le Minnesota, nord des Etats-Unis*) à un moment où y avait de la circulation. C'est aussi arrivé en Allemagne, sur un pont de Franz Dischinger.

Des témoins ont dit avoir vu comme un éclair qui frappait le pont...

Il arrive que des ponts soient frappés par la foudre. C'est arrivé sur un pont récent : un hauban a cassé et un deuxième s'est avachi. Mais le pont était équipé de tout un système de surveillance : tout a été fermé en quelques minutes, puis les haubans ont été remplacés et tout le monde était content.

Les catastrophes de ce genre sont-elles courantes ?

Il faut surtout remonter au XIX^e siècle pour en trouver. Au XX^e, il y a bien sûr la célèbre affaire du pont de Tacoma (*qui s'est effondré quelques mois après son inauguration aux Etats-Unis, en 1940*). Il est arrivé régulièrement que des ponts soient renversés par des chocs de bateaux, comme l'Almö Bridge en Suède, en 1980. Pendant plusieurs dizaines de minutes, des voitures sont tombées dans la rivière. Et puis, il y a la corrosion. Des ponts en hauban qui sont tombés, je n'en connais pas. Mais des ponts en béton précontraint, ça arrive quelquefois.

AVIS DE L'EXPERT Gidas Potin (Coyne et Béliers) & Javier Ibanez (Dynamics Engineers) :

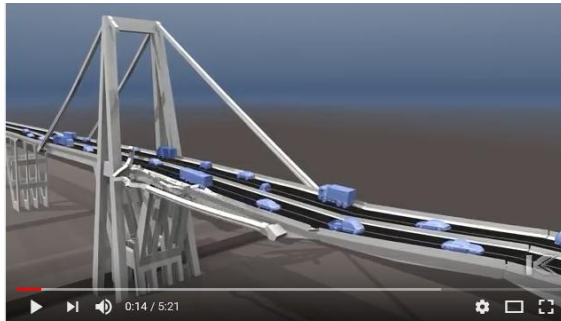
Simulation casse hauban



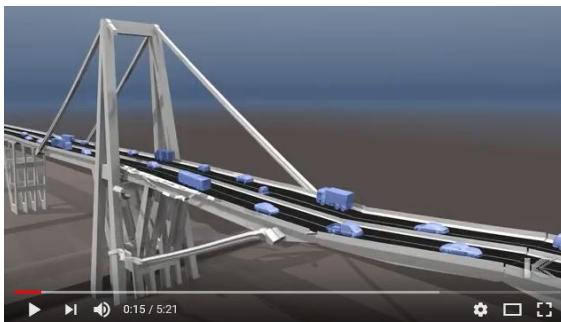
Morandi Bridge Collapse Simulation Genoa 2018 |



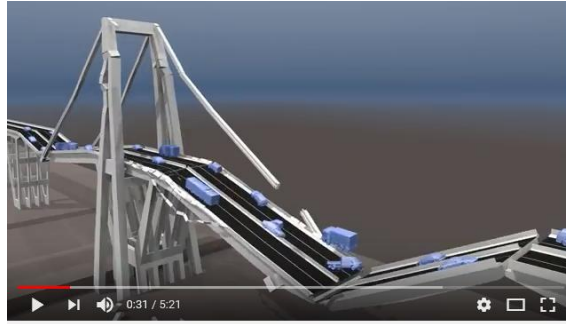
Morandi Bridge Collapse Simulation Genoa 2018 |



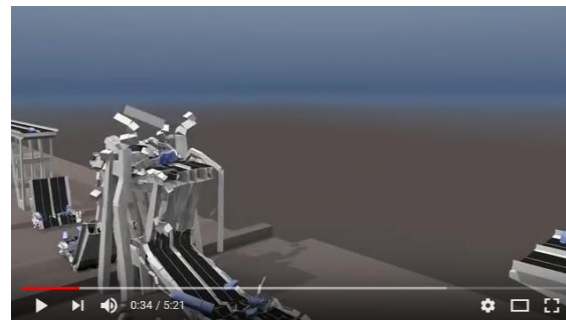
Morandi Bridge Collapse Simulation Genoa 2018 |



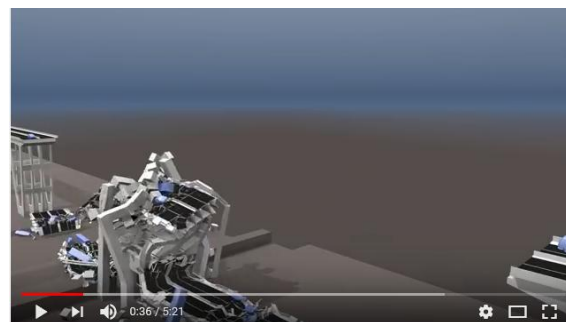
Morandi Bridge Collapse Simulation Genoa 2018 |



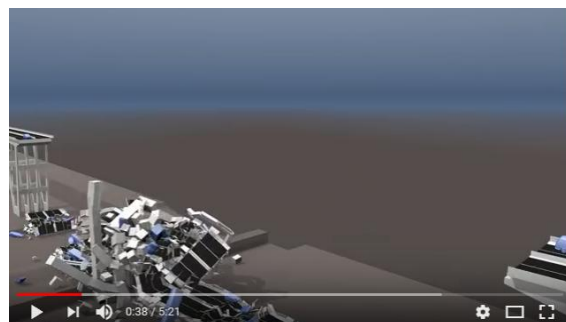
Morandi Bridge Collapse Simulation Genoa 2018 |



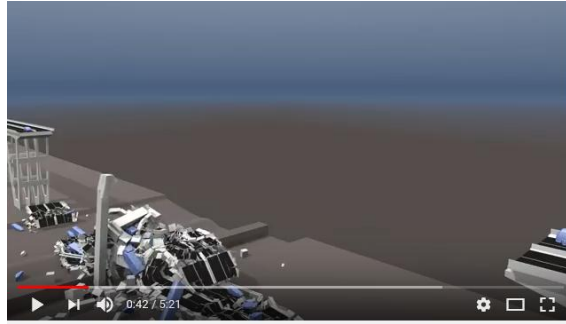
Morandi Bridge Collapse Simulation Genoa 2018 |



Morandi Bridge Collapse Simulation Genoa 2018 |



Morandi Bridge Collapse Simulation Genoa 2018 |



Morandi Bridge Collapse Simulation Genoa 2018 |

AVIS DE L'EXPERT MAROCAIN :

D'abord je viens d'apprendre qu'on a inauguré un Nouveau pont spectaculaire sur le Bosphore en Turquie.

M. Virlogeux et l'ingénieur suisse Jean-François Klein en sont les Concepteurs.



Le troisième pont sur le Bosphore a une structure hybride ; il est à la fois suspendu et haubané, «très originale» puisqu' aucun pont de ce genre n'a été construit dans le monde depuis le 19e siècle. Plus grande portée du monde, avec 1408 mètres entre deux pylônes. L'ouvrage, qui comporte deux fois quatre voies pour la circulation et deux voies ferrées, possède aussi un tablier très large : 58,50 mètres.

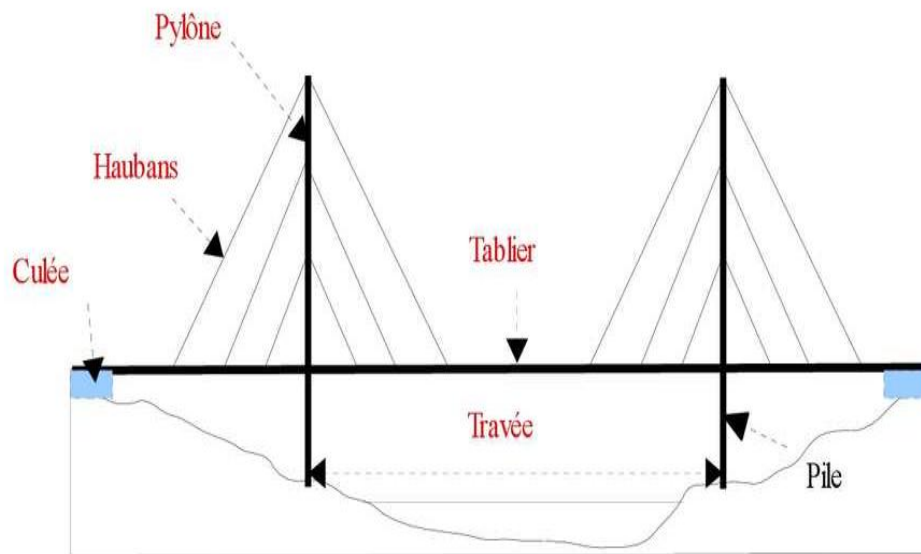


Une partie des haubans a dû être ancrée directement dans le sol. Avec une hauteur de 323 mètres, les pylônes du plus long pont ferroviaire du monde sont moins hauts que ceux du viaduc de Millau mais rivalisent avec la Tour Eiffel (324 m).

Secundo, concernant Gênes et dans mes recherches, je me suis heurté à une supposée hypothèse sur le Dynamitage volontaire ;

sur le pont existe une chambre de dynamitage utilisée en cas de guerre. Cette hypothèse est à priori à écarter de toute analyse scientifique.

- Vocabulaire :



Définitions:

Tablier : le tablier du pont est la partie sur laquelle vont circuler les véhicules

Pylône : structure verticale servant de support à un élément aérien (câble, nacelle d'éolienne...)

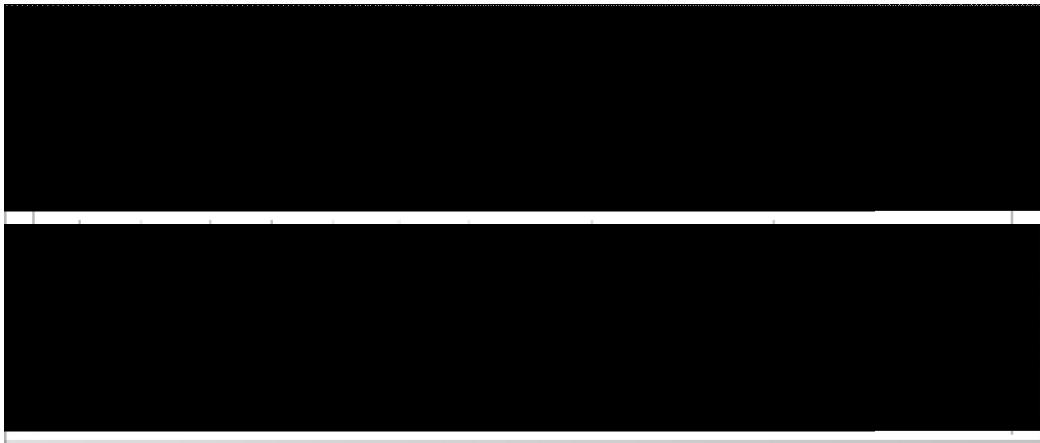
Structure : plusieurs éléments assemblés

Hauban : Câble tendu à partir d'un pylône pour soutenir le tablier.

Culée : désigne le point d'ancrage où s'appuient les extrémités du tablier sur la montagne.

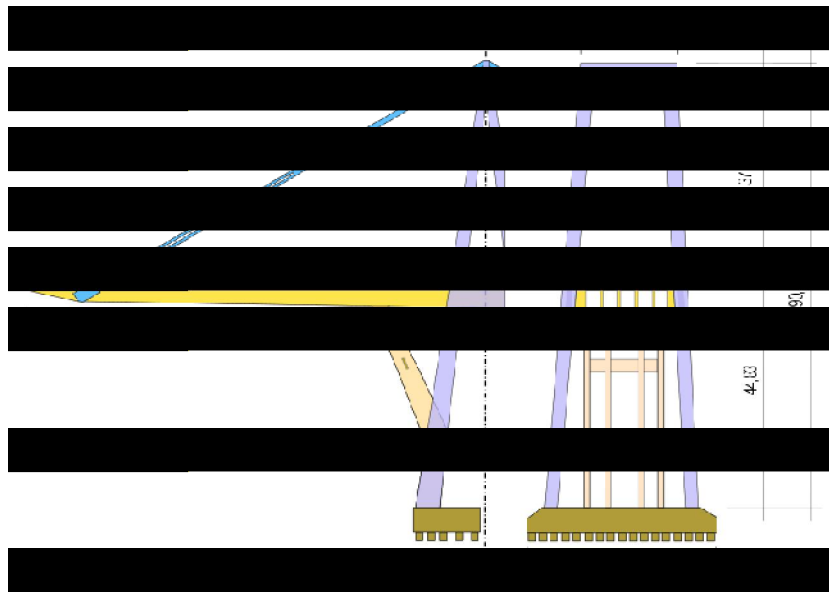
Travée : la distance qui sépare deux appuis sur un pont.

Pile : ouvrage de maçonnerie destiné à supporter des arches ou le tablier

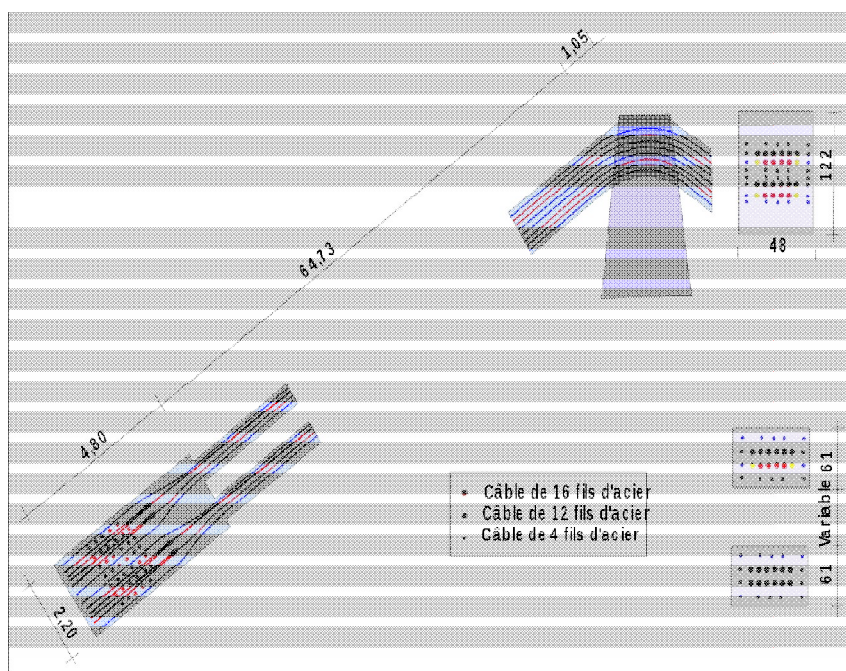


Élévation du pont Morandi (en rouge la pile 9 effondrée le 14 août 2018).
 Les distances sont mesurées dans l'axe du tablier.

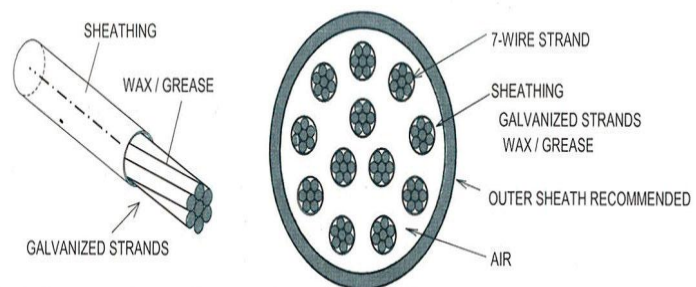




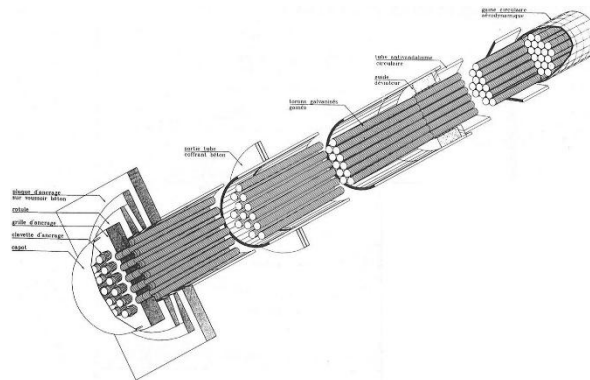
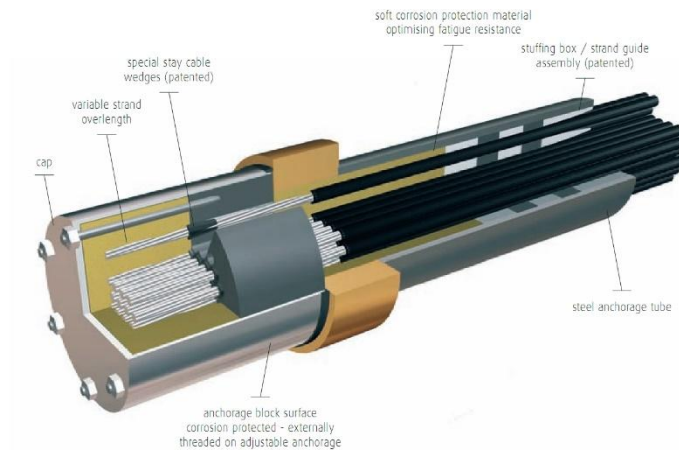
Élévation et coupe transversale du pylône n° 9.



Détail du câblage d'un hauban.



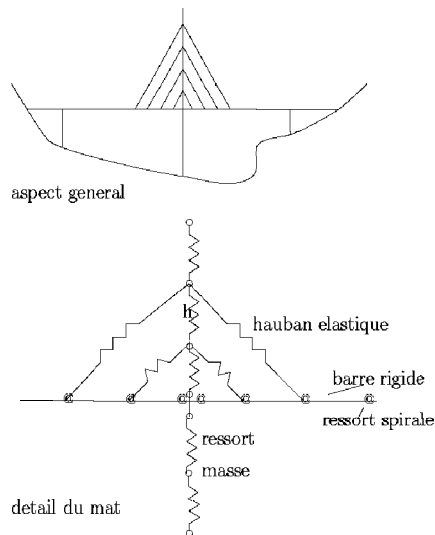
a) Individually protected tensile elements (Stay pipe not filled)



Elasticité des Matériaux :

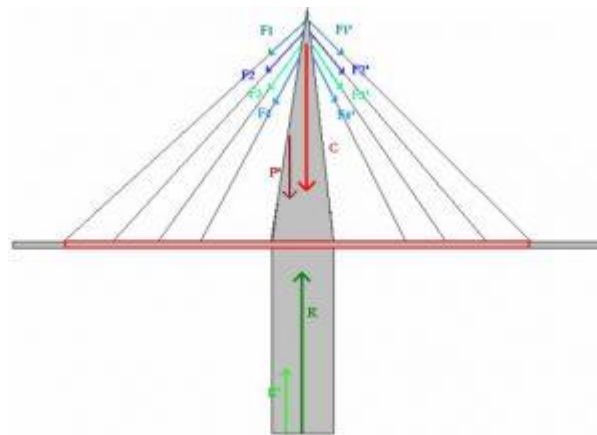
La fatigue d'un Matériau correspond à sa détérioration interne quand il a été soumis à des efforts répétés supérieurs à la limite d'endurance et inférieur à la limite d'élasticité. La fatigue se traduit par une extension de la longueur (par exemple les câbles) , ce qui peut entraîner une déformation du pont. Si les efforts sont supérieurs à la limite élastique, le matériau se déforme de façon irréversible ou se casse.

Pour ce qui est de l'acier, qui est un alliage de fer et de carbone, il a pour avantage de pouvoir résister à des efforts de traction importants. C'est pourquoi dans les ponts suspendus, il est utilisé pour les câbles porteurs et les haubans, les voussoirs, l'ancrage ainsi que d'autres parties de la structure soumis à ces efforts.

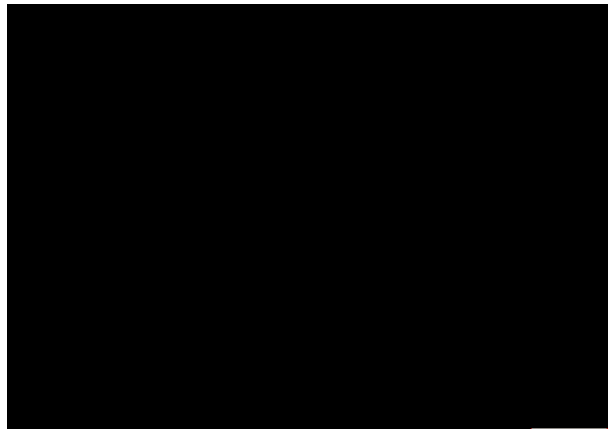
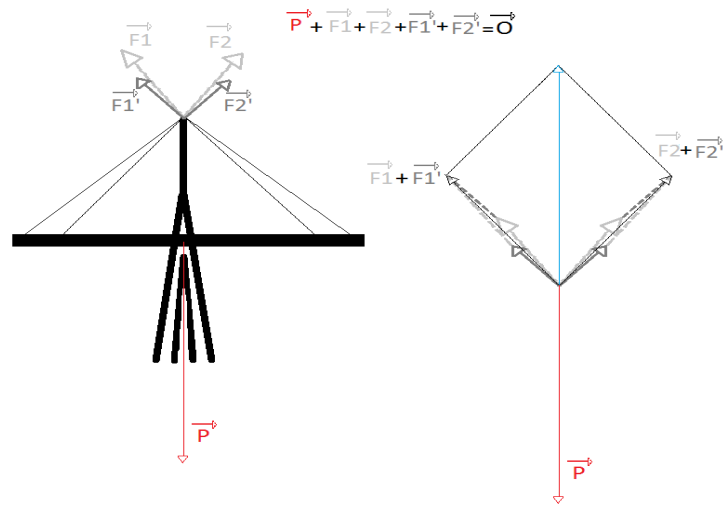


Amortissement intrinsèque et amortissement critique du hauban

Vibration



Modèle Linéaire



Il s'en suit, et sous Toutes les Réserves Légales, L'Expert Marocain Emet l'Avis Simple suivant, qui ne saurait, en aucun cas engager sa responsabilité, eu égard au Droit International :

Primo, Le Basculement vers la droite du Pylône n° 3, visible sur les Vidéos et les Chaînes de TV, s'il venait à être Confirmé, conduirait, ipso-facto, à l'un des deux ou trois problèmes classiques suivants :

- Problème très classique d'Affouillement, par Erosion Progressive des sols sous l'effet du Courant Dû à l'écoulement de l'eau de la rivière Polcevera sous le Pont. Rappel : Loi de Darcy : $V = K \cdot I$, où V représente la vitesse d'écoulement, K la Perméabilité du Sol et I le Gradient Hydraulique.
- L'Examen du type de fondation adopté pour le Pont, qui pourrait éventuellement révéler une Défaillance Sol-Structure de Fondations Profondes telles le sapement des Pieux, par exemple.
- Si le Gradient Hydraulique venait à atteindre ce qu'on appelle le Gradient Critique, il y a Boulance, encore appelée Phénomène de Renard...A regarder de près par l'Expert Désigné ; qui devrait de toute évidence avoir la Double Compétence sol-structure.

Dans le 1^{er} cas, le phénomène d'Affouillement bien Connu des Géotechniciens Marocains, créerait une espèce de plaque en porte à faux qui ferait perdre pied à une partie de la pile porteuse du Pylône. A titre purement Informatif, au LPEE, Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes, Dirigé depuis 1971 et pendant de Longues Années, par Ssi Ahmed HAKIMI, Très Brillant X-PONT, Marocain ; au LPEE donc, les Géotechniciens Chercheurs Marocains ont mis au point, après de longues Recherches et Expertises sur

le Terrain, une Formulation Mathématique Empirique pour le Dimensionnement de l'Affouillement Général :

$$H_g = 0.217 \times \left(\frac{Q}{L}\right)^{6/7} \times d_{50}^{-2/7} - H_w$$

où :

H_g représente l'Affouillement Général

Q représente le Débit du Projet

L représente la Longueur du Franchissement

d_{50} représente le Diamètre Moyen des Granulats

H_w représente la Hauteur des Plus Hautes Eaux.

A titre de Rappel, le Phénomène, Redoutable, de l'Affouillement n'est autre que la Mise en suspension des Matériaux Meubles Constituant le Fond du Lit du fleuve Polcevera lors d'une Crue. L'Expert Judiciaire du Pont de GÊNES, serait fort probablement inquiet aussi par l'Affouillement LOCAL.

AFFOUILLEMENT LOCAL : Enfoncement du Niveau du Lit du fleuve Polcevera qui est dû aux Turbulences Créées autour des Appuis du Pont lors du Passage de la Crue. Mais, il devra aussi se

pose la question sur l'Hypothèse de l'Affouillement qui serait dû au Rétrécissement du Lit du fleuve Polcevera. C'est le cas d'une section Vallée où la vitesse de l'écoulement augmentera au niveau du lit Mineur de l'Oued. D'où le Transport de plus d'éléments fins (inf 80 microns , identifiés par les Analyses Granulométriques de Laboratoire ; LPEE) , et ce au niveau de la section Retraissie. Cet Ensemble d'Observations des Phénomènes Naturels et leur Transformations, est bien évidemment en Rapport avec le Réchauffement Climatique de la Planète et probablement aussi avec la Couche d'Ozone Stratosphérique. Sur un Autre Registre, en RDM (Résistance des Matériaux) et Mécanique des Structures :

- a- Réf. «Bases de la Conception Différentes Catégories d'Ouvrages Elémentaires », par ANDRE COIN, préface J.BLEVOT.

Page 84 ; on pourrait utiliser la Théorie des Plaques sur Sol Elastique en supposant que l'on connaisse le Coefficient k de l'Equation de Lagrange :

$$\Delta \Delta w = kw/EI$$

Où :

$\Delta \Delta w$ représente le Double Laplacien de la ligne élastique

K : représente la Raideur

EI : représente la Rigidité.

b- Réf : EinDienst der ETH-Bibliothek ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch <http://www.e-periodica.ch>. 26.08.2018.

A défaut d'un Encastrement à l'autre bout de la dite plaque, sur appuis

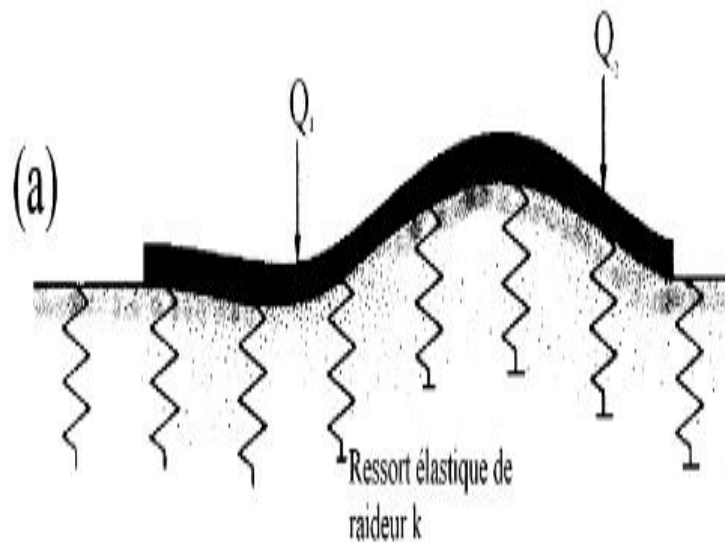
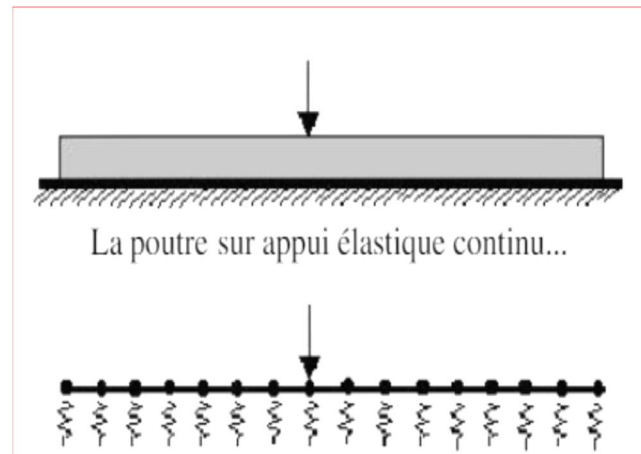
Élastiques continus, qu'est le sol, la déformée ou encore ligne élastique est

Déterminée par l'application des relations de Bress, dont l'intérêt Majeur

Est qu'elle dispense d'employer les fonctions Hyperboliques.
On intègre

Facilement des fonctions Discontinues. On arrive donc par intégration, aux

Equations solutions : 13, 13a, 13b et 13c, qui donnent les Variations des Ordonnées de la ligne élastique.



Soit un tronçon de ligne élastique, fig. 1, avec une origine y_0 et une pente Θ_0 à l'origine. Nous pouvons poser:

$$y_i = y_0 + \Theta_0 x_i - \int_0^{x_i} \omega \zeta_i = y_0 + \Theta_0 x_i - \int_0^{x_i} \eta \zeta_i dx \quad (1)$$

avec:
$$\eta = \frac{M}{EI}, \quad \omega = \eta dx$$

où ω est l'angle de contingence, c'est-à-dire l'angle de deux tangentes infiniment voisines, I le moment d'inertie, E le module de Young de la poutre- y l'ordonnée de la courbe, x et ζ des abscisses.

$$\Delta^2 y_{i-1} = \alpha_i \left\{ -[M_{i-1} + 2(1 + \lambda_i) M_i + \lambda_i M_{i+1}] + \frac{\epsilon^2}{60} [7 Z_{i-1}^d + 8 (Z_i^e + \lambda_i Z_i^d) + 7 \lambda_i Z_{i+1}^e] \right\} \quad (13)$$

Nous pouvons avoir 3 cas particuliers:

$$\lambda_i = 1,$$

$$\Delta^2 y_{i-1} = \alpha_i \left\{ -(M_{i-1} + 4 M_i + M_{i+1}) + \frac{\epsilon^2}{60} [7 Z_{i-1}^d + 8 (Z_i^e + Z_i^d) + 7 Z_{i+1}^e] \right\} \quad (13a)$$

Charge appliquée non discontinue au point i ,

$$\lambda_i \neq 1, \quad Z_i^e = Z_i^d = Z_i,$$

$$\Delta^2 y_{i-1} = \alpha_i \left\{ -[M_{i-1} + 2(1 + \lambda_i) M_i + \lambda_i M_{i+1}] + \frac{\epsilon^2}{60} [7 Z_{i-1}^d + 8 (1 + \lambda_i) Z_i + 7 \lambda_i Z_{i+1}^e] \right\} \quad (13b)$$

Charge appliquée non discontinue au point i , $\lambda_i = 1$, cas fréquent.

$$\Delta^2 y_{i-1} = \alpha_i \left[-(M_{i-1} + 4 M_i + M_{i+1}) + \frac{\epsilon^2}{60} (7 Z_{i-1}^d + 16 Z_i + 7 Z_{i+1}^e) \right] \quad (13c)$$

L'Expert Judiciaire Officiellement Désigné gagnerait, à mon humble Avis, à aller plus dans le détail, et devrait raisonnablement, par un artifice de

raisonnement assimiler la perte d'appui à un Gradient dans le Module de Raideur du sol de fondation du Pont. En outre, Il devrait en principe aussi envisager les Deux Hypothèses, celle du Sapement des Pieux et celle du Frottement Négatif. Dans tous les Cas, Il serait forcément amené à démontrer la perte de contact, déplacement Théorique Infini, d'où Basculement de la Pile n° 9 .

CQFD, c'est-à-dire ce que l'Expert Judiciaire Devrait Démontrer.

Secundo, la Conception du Pont en une suite de Travées Isostatiques, est Dangereuse en soit vis-à-vis d'un mouvement éventuel des sols de fondation, tout à fait envisageable par frottement négatif de ceux-ci, par exemple. Je Rappelle que Même dans les Années 60, l'Hyper statisme des Systèmes Constructifs et les Avantages qu'il comporte, étaient bien Enseignés dans les Ecoles d'Ingénieurs dans le Monde.

Ensuite, l'Expert Officiellement Désigné par les Juridictions Italiennes, devrait théoriquement réfléchir et observer que :

- Haubans :

- Ancrés dans une dalle pleine en Béton, de Rigidité

Incontestablement Insuffisante. A l'Ancrage, un point Dur est créé.

Ce qui expliquerait le poinçonnement de la dite dalle.

- Câbles Constitutifs : Mal Distribués et Fort Probablement Sous Dimensionnés.

- Tablier : Dalle pleine, de Rigidité incertaine (?) , mais sans sous structure Métallique (PRS) !!
- Question Générale : Comment, en Italie, le Travail d'un Ingénieur Conseil pour un Ouvrage Important et Stratégique n'est pas soumis au Contrôle d'un Autre Ingénieur Conseil ??

Tercio, étant donné que le Pont surplombe une Zone Industrielle en Activité (?), on peut très facilement imaginer une accélération de la Dégradation du Béton et de l' Acier de la Structure Porteuse, et ce par Concentration du CO₂. Deux phénomènes Physiques en sont Responsables : la Carbonatation du Béton et la Corrosion des Aciers.

Ensuite, bien sûr que les Pluies Diluviennes qui s'abattaient, dans la Journée du 14 Août 2018, sur le Pont, le Vent, l'Orage, la Foudre ,la Corrosion des ancrages des haubans, la Casse prioritaire éventuelle d'un hauban, et l'ordre d'effondrement tablier-pylône ? la vitesse de la rivière et la Possible Mise en Résonance du Pont ne doivent pas être écartées a priori de l'Analyse Critique de l'Expert Désigné par la Juridiction Italienne. Tout ça devrait Interpeller l'Expert Désigné par le Tribunal Italien en vue de procéder aux Vérifications d'Usage dans de pareils Cas ; Soit : les Mesures de Maintenance (capteurs de déformation et jauges de contraintes) et d'Entretien (drainage et topographie) qui sont théoriquement entreprises régulièrement sur le Pont depuis sa Naissance.

Voilà, Extrêmement Rapidement, mon Point de vue Strictement Personnel sur l'Effondrement Partiel du Viaduc de Gênes (un Viaduc est un Pont, l'inverse n'est pas vrai !), survenue dans la Matinée du 14 Août 2018. A charge pour l'Expert Désigné d'Examiner en Profondeur toutes les Hypothèses Possibles.