

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : TRAVAUX PUBLICS

**Spécialité** : Voies et ouvrages d'art

**Présenté Par** : HADDOU AHMED ADIB

ABDELLAOUI NADIR

**Sujet**

# ETUDE PATHOLOGIQUE D'UN PONT A HAUBANS : CAS DU PONT DE OUED DIB – MILA

Soutenu publiquement septembre 2023, devant le jury composé de :

GHOMARI FOUAD	Univ. Tlemcen	Président
BABA AHMED ISMAIN	Univ. Tlemcen	Examineur
BOUMECHRA NADIR	Univ. Tlemcen	Encadreur

Année universitaire : 2022/2023

# Remerciements



On tient tout d'abord à remercier Dieu qui nous a donné la santé, la volonté et le courage d'accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier nos familles pour leurs sacrifices et encouragements durant tout notre cursus.

Nos vifs remerciements vont à notre encadreur **Mr BOUMECHRA NADIR** pour son support, son aide, son critiques constructives, son explications et suggestions pertinentes et pour la qualité de son orientation tout au long de ce travail et pour avoir apporté tant de soins à la réalisation de ce mémoire grand merci à vous.

Nous remercions également les membres de jury, **Mr GHOMARI FOUAD** et **Mr BABA AHMED ISMAIN** qui nous font honneur en acceptant d'examiner et de juger notre travail. Enfin, un merci tout particulier à tous ceux qui nous ont apporté leur soutien.

Merci.

# Dédicaces

Tout d'abord merci à **ALLAH** de m'avoir donné la force et le courage pour terminer ce travail.

Je dédie ce mémoire à :

A mes chers parents,

**Ma mère « KOTBI HOURIA »** qui a œuvré pour ma réussite, de par son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

**Mon père « MOHAMED »** qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Ma chère et unique **sœur MERIEM**, et mon meilleur **frère FADI** et spécial dédicace à Ma chère **tante YAMINA** qui était comme une deuxième mère dans ma vie et tout ma famille.

A mon **binôme « ABDELLAOUI NADIR »** qui est comme un frère pour moi

A mon encadreur « **BOUMECHRA NADIR** »

A tous mes **amis(es)**, et mes **collèges** à « **PHARMACIE ARBAOUI** » et mes **camarades** de la promotion VOA (2023)

A toute personne qui a contribué à l'achèvement de ce travail

**AHMED ADIB HADDOU**

# Dédicaces

Tout d'abord je remercie **Dieu** de m'avoir la force d'accomplir ce travail

Je dédie ce modeste travail :

A ceux que j'aime jusqu'à la frontière de l'imagination

Ma très **chère mère, qui m'a accompagné** durant les moments les plus pénibles de ce long parcours de mon éducation, celle qui a fait preuve de ces plus copieux desseins pour me permettre de goûter le fardeau de ce monde et de chercher la voie de ma vie avec ces précieux conseils.

A mon père « **ABDELKADER** », qui a sacrifié sa vie afin de me voir grandir et toujours resté à mes côtés dans les moments rudes de ma vie.

A ma **belle-famille** et tous mes proches A tous mes amis sans exception.

A mon binôme « **HADDOU AHMED ADIB** » qui a partagé avec moi ce travail dans les bons et les mauvais moments.

A mon encadreur « **BOUMECHRA NADIR** » et tous les engagements de département génie civil.

**ABDELLAOUI NADIR**

## Résumé

Ce projet de fin d'étude vise à identifier les conditions pouvant entraîner la défaillance des structures de pont, à les localiser, puis à mesurer la gravité des dommages éventuels. La méthode retenue consiste à modéliser le pont à l'aide du logiciel Sap 2000.

Le travail qui est proposé dans ce mémoire étudie du pathologique d'un pont à haubans : cas du pont d'oued Dib Mila. Ce pont à haubans est le premier du genre réalisé en Algérie sur l'Oued Dib (Wilaya de Mila), il est constitué de 3 travées soutenues par 88 câbles, d'une longueur totale de 502 mètres.

La modélisation est une partie essentielle de l'étude des structures, dont le but est de développer un modèle qui décrit plus ou moins comment une structure se comportera dans différentes conditions. A partir de ce modèle numérique, une analyse a été faite pour comprendre les raisons de l'affaissement des appareils d'appuis au niveau du pylône gauche. La détérioration des haubans est la cause de cette pathologie. Des études paramétriques ont pu démontrer notre hypothèse. Des solutions de réhabilitation ont été proposées.

**Mots-clés :** Pathologie, Pont à hauban, oued Dib, modélisation, sap2000, appareils d'appuis.

## ملخص

يهدف مشروع نهاية الدراسة هذا إلى تحديد الظروف التي يمكن أن تؤدي إلى فشل هياكل الجسور ، وتحديد موقعها ، ثم قياس شدة أي ضرر. تتكون الطريقة المختارة من نمذجة الجسر باستخدام برنامج ساب 2000 .

العمل المقترح في هذه الأطروحة هو دراسة أمراض الجسر المدعم بالكابلات: حالة جسر وادي ديب ميله. يعد هذا الجسر المعلق الأول من نوعه في الجزائر على واد ديب (ولاية ميله)، ويتكون من 3 أشبار مدعومة بـ 88 كابلا، بطول إجمالي يصل إلى 502 متر.

تعد النمذجة جزءًا أساسيًا من دراسة الهياكل، والهدف منها هو تطوير نموذج يصف بشكل أو بآخر كيف سيتصرف الهيكل في ظل ظروف مختلفة. ومن هذا النموذج الرقمي تم إجراء التحليل لمعرفة أسباب هبوط الدعامات عند الصرح الأيسر. تدهور الإقامات هو سبب هذا المرض. وكانت الدراسات البارامترية قادرة على إثبات فرضيتنا. وقد تم اقتراح حلول إعادة التأهيل.

**الكلمات المفتاحية:** علم الأمراض، جسر معلق، وادي ديب، نمذجة، محامل.

## Sommaire

Introduction Général : .....	1
Chapitre I : .....	2
Généralité sur les Ponts à haubans .....	2
1. Historique : .....	3
2. Définition : .....	4
3. Les avantages et les inconvénients de pont hauban : .....	5
4. Différents types de ponts à haubans : .....	5
4.1. Les ponts symétriques à trois travées : .....	5
4.2. Les ponts à un seul pylône : .....	6
4.3. Les ponts à travées haubans multiples : .....	7
A. Selon le nombre de haubans : .....	8
B. Position de la nappe .....	9
C. Forme de la nappe : .....	10
5. Le tablier : .....	10
6. Composantes structurelles : .....	12
6.1. Toron : .....	13
6.2. Les files : .....	14
6.3. Les barres : .....	15
6.4. Hauban : .....	15
a) Réglage des haubans : .....	17
6.5. Les appareils d'appuis : .....	19
7. Pylône .....	19
8. Joints d'étanchéité : .....	21
9. Ancrage : .....	22
9.1. CLASSIFICATION DES ANCRAGES : .....	23
10. Amortisseurs .....	27
Chapitre II : .....	29
Pathologies des Ponts à Haubans .....	29
1. Introduction : .....	30
2. Définition : .....	30
3. Actions Dues Au Trafic : .....	30
4. Dégradation des matériaux : .....	31
4.1. Altérations du béton : .....	31

4.2.	Dégradation mécanique :.....	31
4.3.	Dégradations d'origine physico-chimique : .....	31
4.4.	Dégradation Chimique : .....	32
4.5.	Corrosion de l'acier .....	34
5.	Moyens de protection :.....	38
6.	Défauts de soudage :.....	39
7.	Défauts des assemblages boulonnés :.....	40
Chapitre III : .....		42
Analyse de l'ouvrage.....		42
OUED DIB A MILA.....		42
1.	Introduction :.....	43
2.	Description de l'ouvrage : .....	43
3.	Modélisation de l'ouvrage :.....	51
4.	L'analyse modèle : .....	55
5.	Résultats du l'analyse :.....	55
6.	Les solutions et les réparations endommagements des ponts à haubans :.....	65
6.1.	Pour les câbles :.....	65
6.2.	Pour les appareils d'appuis :.....	66
7.	Conclusion :.....	68
Conclusion Générale .....		70
Bibliographie .....		72

## **LISTE DES FIGURES**

Figure I- 1:Premier dessin d'un pont à haubans par Fausto Veranzio, vers 1595/1616.....	3	
Figure I- 2:Pont haubané de l'Øresund entre le Danemark et la Suède. Portée de 490 mètres..	4	
Figure I- 3:Le pont de l'île Rousski d'une longueur de 3 100 mètres ayant la plus longue portée au monde avec 1 104 m .....	5	
Figure I- 4:Pont de Normandie France 1988.....	6	
Figure I- 5:Pont de Gilly sur l'Isère .....	7	
Figure I- 6:Viaduc de Millau France .....	8	
Figure I- 7:Typologie des ponts à haubans.....	8	
Figure I- 8:Différents types des pylônes pour un pont à nappe axiale .....	9	
Figure I- 9:différents types de pylônes pour un pont à nappe latérale, de gauche à droite : double mât latéral indépendant, double mât latéral entretoisé, pylône en Y renversé et en V renversé. ....	10	
Figure I- 10:Pont de Sunshine Skyway (U.S.A).....	11	
Figure I- 11:Pont sur l'Elorn (France).....	11	
Figure I- 12:Pont sur l'Isère (France).....	12	
Figure I- 13:Composantes structurelles.....	12	
Figure I- 14:Toron ordinaire de 19 (1+6+12) fils.....	13	
Figure I- 15:Acier actif ou toron pour post-tension.....	13	
Figure I- 16:Le toron est la réunion de fils d'acier .....	14	
Figure I- 17 : Sections des différents types de torons à fils parallèles .....	15	
Figure I- 18: Configuration des haubans .....	16	
Figure I- 19:Structure d'un câble à torons torsadés.....	17	
Figure I- 20:Des câbles à fils parallèles.....	17	
Figure I- 21:Réparation des haubans du pont de Bourgogne à Chalon sur Saône.....	18	
Figure I- 22:Appuis fixe	Figure I- 23:Appuis mobile .....	19
Figure I- 24:Le pylône d'un pont à haubans.....	20	
Figure I- 25:Vue Du Pylône En Forme D'arc Du Pont à Haubans Depuis Le Tablier Du Pont .....	21	
Figure I- 26: Pont à haubans pour piétons et cyclistes surplombant la rivière Pescara, Italie.	21	
Figure I- 27:Ancrage bas d'un hauban sur le pont Utsjoki en Finlande - pièce de liaison fixe	23	
Figure I- 28: L'ancrage des haubans.....	23	
Figure I- 29:Principe d'ancrage fixe. ....	25	
Figure I- 30:Principe d'ancrage C pour torons gainés individuellement (SETRA, 2001) .....	26	
Figure I- 32: Amortisseurs du pont de Brotonne.....	27	
Figure I- 33:Vue d'un amortisseur interne situé à la base d'un hauban du pont de Rousski. .	28	
Figure II- 1:Dégradations causées par le choc.....	31	
Figure II- 2: Effet du Ressuage du béton.....	32	
Figure II- 3:Corrosions des armatures .....	34	
Figure II- 4:Rupture du câble par corrosion .....	35	
Figure II- 5:Zone de dissolution sur un multicouche. ....	35	
Figure II- 6:Zone de corrosion localisée sur un fil. ....	36	
Figure II- 7:Corrosion atmosphérique des ouvrages .....	37	

Figure II- 8:Corrosion des armatures dans les structures en béton armé.....	38
Figure II- 9:Morphologie typique du revêtement de zinc sur acier .....	39
Figure II- 10:Défauts des soudures.....	40
Figure II- 11:Fissuration à chaud .....	40
Figure II- 12:Fissuration à froid. ....	40
Figure II- 13:Assemblage par boulons HR.....	41
Figure II- 14:Efforts qui exercent dans un assemblage .....	41
Figure II- 15:Ovalisation du trou lors du glissement de la pièce.....	41
Figure III- 1: Pont Oued Dib Mila.....	43
Figure III- 2:Vue satellite du pont Oued dib Mila.....	44
Figure III- 3: Vue en élévation du pont à haubans sur l'Oued Dib à Mila .....	46
Figure III- 4: Section transversale du tablier du pont à haubans sur l'Oued Dib à Mila .....	47
Figure III- 5: Coupe longitudinale et vue en plan du pont de Mila .....	48
Figure III- 6: Vue en élévation du pylône du pont à haubans sur l'Oued Dib à Mila. ....	49
Figure III- 7: Coupes transversales au niveau du pylône du pont de Mila .....	50
Figure III- 8: vue générale du pont.....	51
Figure III- 9: vue face du pont.....	52
Figure III- 10:Modélisation pratique des câbles.....	53
Figure III- 11: Réaction d'appui pour tous les haubans (shear 3-3 $V_{max}$ (kn)) .....	56
Figure III- 12: Réaction d'appui pour tous les haubans (Axial force N (kn)).....	56
Figure III- 13: Réaction d'appui pour Pylône centrale (shear 3-3 $V_{max}$ (kn)).....	57
Figure III- 14: Réaction d'appui pour Pylône centrale (Axial force N (kn)) .....	58
Figure III- 15: Réaction d'appui pour Les deux culée (shear 3-3 $V_{max}$ (kn)) .....	59
Figure III- 16: Réaction d'appui pour Les deux culées (axial force N (kn)).....	59
Figure III- 17: Réaction d'appui pour culée gauche (shear 3-3 $V_{max}$ (kn)).....	60
Figure III- 18: Réaction d'appui pour culée gauche (axial force N (kn)) .....	61
Figure III- 19: Réaction d'appui pour culée droite (shear 3-3 $V_{max}$ (kn)).....	62
Figure III- 20: Réaction d'appui pour culée droite (axial force N (kn)) .....	62
Figure III- 21: Nombre de câble par rapport $N_{app}$ .....	63
Figure III- 22:Fonction d'un appareil d'appui.....	67

## **LISTE DES Tableaux**

Tableau I- 1:Caractéristiques mécaniques d'un fil et d'un toron. ....	14
Tableau I- 2 : Catégories de haubans .....	15
Tableau I- 3:CLASSIFICATION DES ANCRAGES .....	24
Tableau II- 1:Dégradations d'origine chimique (Brice).....	33

# Introduction Générale :

Depuis près d'un siècle, le développement technologique dans le domaine de la construction des ponts ont été rapides et remarquables, tant en matériel de conception et exécution uniquement.

L'étude des ponts dépendent de plusieurs facteurs naturels et fonctionnalités liées aux chantiers. Développement continu d'outils, les ordinateurs et les matériaux de construction d'aujourd'hui, nous offrent un large éventail de portée dans la sélection et la recherche de croquis appropriés pour le travail. De plus, les aspects techniques et économiques du projet doivent être minutieux afin de mener des recherches tout en conservant un prestige esthétique acceptable

D'après le journal « El Watan » le lundi 5 octobre 2015, la direction des travaux publics de Mila a donné une information mentionnant que les deux appareils d'appuis de l'ouvrage sont écrasés sous le poids du tablier du pont, qui s'incline vers l'intérieur du lac. Elles sont constituées de feuilles d'acier et de caoutchouc et sont posées en haut des pylônes qui supportent le tablier de l'ouvrage (Kamel, 2015). Il était intéressant de chercher les causes de cette pathologie qui semble être de type structurel. Les éléments les plus vulnérables, en général, dans les ponts à haubans est le hauban lui-même, qui dans un environnement plus ou moins agressif, peut se détériorer rapidement par corrosion.

Cette pathologie est intéressante à étudier dans le cadre de notre projet de fin d'études.

La structure du mémoire de notre projet de fin d'études est structurée en plusieurs parties.

Une première partie est consacrée aux généralités sur les ponts haubanés, définitions, descriptions des différents composants et détails techniques correspondants.

Dans la deuxième partie, on présente pathologies spécifiques aux ponts haubanés.

La troisième partie portera sur l'évaluation et l'analyse du comportement du pont à partir d'une modélisation numérique en éléments finis.

Nous finirons notre travail par une synthèse, conclusion et perspective.

**Chapitre I :**  
**Généralités sur les Ponts à haubans**

## 1. Historique :

Les premiers ponts à haubans modernes ont été décrits au XVII<sup>ème</sup> siècle par Faustus Verantius et au XVIII<sup>ème</sup> siècle par Immanuel Löscher. Comme l'acier n'était pas connu à l'époque, des chaînes et du bois étaient utilisés pour fabriquer les câbles.

Le système à haubans a disparu pendant plus d'un siècle, mais depuis le milieu des années 1950, il est réapparu et a remplacé presque tous les systèmes concurrents à ce jour dans les petites passerelles et les ponts ferroviaires à longue portée.

Le début des ponts haubanés après cette époque, utilisant des câbles en acier à haute Résistance pour servir de supports intermédiaires à des ponts de travées moyennes à grandes, a commencé avec la construction du Strömsund Bridge en Suède en 1956 (Gimsing, 1983). Depuis cette époque, la technique a été largement utilisée et de nombreux ponts à haubans ont été construits en Europe, au Japon et en Amérique du Nord. Ainsi, dans la région de Vancouver au Canada, le pont Alex Fraser (autrefois Annacis) et le pont de Skierai ont été construits récemment. Aux Etats-Unis, plus d'une douzaine de ponts à haubans ont été construits et d'autres sont en construction ou planifiés. Parmi ces derniers figurent les ponts de Sunshine Skyway (Floride), Eugene Talmadge Mémorial (Géorgie), Houston Ship Channel (Texas) et Quincy Bayview (Illinois) (wilson & Liu) la figure I-1 représente le premier dessin d'un pont à haubans par Fausto Veranzio.

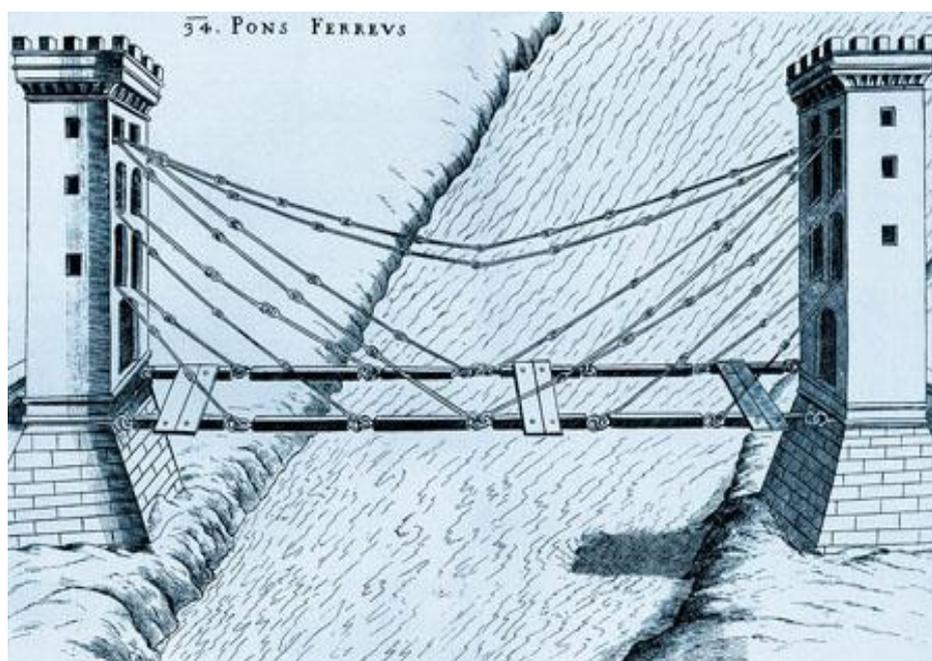


Figure I- 1:Premier dessin d'un pont à haubans par Fausto Veranzio, vers 1595/1616

## 2. Définition :

Les ponts à haubans se présentent sous la forme d'une structure composée d'un tablier en acier ou en béton et de câbles inclinés appelés haubans. Ces câbles sont fixés dans des pylônes situés de part et d'autre de la travée centrale, supportent le tablier et travaillent en traction. Les piliers doivent être hauts car ils sont plus fragiles et plus sensibles au vent et aux vibrations causées par la circulation. La portée maximale est de 1000m. (L, FAH-CHEN W et DUAN, 2000)

Les ponts à haubans ont de moins grandes portées que les ponts suspendus. Cela est dû au fait que les piliers où sont rattachés les haubans doivent être élevés : plus le pont est grand, plus les piliers doivent être hauts et par conséquent, plus fragiles et vulnérables au vent et aux vibrations engendrées par la circulation.

Si de nombreux experts estiment que des ouvrages haubanés de portées allant jusqu'à 1500 mètres peuvent être construits, les très grandes portées (travées centrales) ne dépasseront pas 900 mètres (856 mètres pour le pont de Normandie, 890 mètres actuellement en construction au Japon). De plus, le temps de construction de ces ponts est très court. Par exemple, le pont de Saint-Nazaire a été achevé vers 1975, le pont de Normandie et le pont de la vallée du Dib de Mila a été achevé respectivement en 1995 et 2000. (KIBBOUA, 2006) Les figures I-2 et I-3 représentent quelques ponts à haubans.



Figure I- 2: Pont haubané de l'Øresund entre le Danemark et la Suède. Portée de 490 mètres



Figure I- 3:Le pont de l'île Rousski d'une longueur de 3 100 mètres ayant la plus longue portée au monde avec 1 104 m

### **3. Les avantages du pont à haubans :**

- La déformation est beaucoup plus faible que celle du pont suspendu, en particulier sous des charges de travail concentrées ou inégales décentralisées.
- Il peut être facilement installé car le système de montage est autosuffisant.
- Si nécessaire le pont complet peut être déplacé.
- C'est un système qui peut être utilisé pour les ponts à grande portée quand les conditions de sol sont mauvaises.
- Il n'est pas nécessaire d'arrêter la circulation, les autres haubans pouvant momentanément supporter le poids du tablier.

### **4. Différents types de ponts à haubans :**

Il existe trois types de ponts à haubans :

- Pont à haubans symétrique à trois travées composées de deux pylônes.
- Les ponts dissymétriques à un seul pylône.
- Ponts à haubans multiples constitués de trois pylônes ou plus.

#### **4.1. Les ponts symétriques à trois travées :**

Les ponts symétriques à trois travées sont des types de ponts qui sont construits avec trois travées. Ces ponts sont souvent construits avec une forme en arc, qui permet de répartir le poids des charges sur les différentes travées pour réduire la pression sur la structure, sont souvent utilisés pour franchir de grands obstacles, notamment des

rivières, des ruisseaux ou des lacs. Ils peuvent également être utilisés sur des routes ou des autoroutes pour relier des zones plus éloignées. Sont généralement plus solides et peuvent supporter des charges plus lourdes que les autres types de pont. De plus ils sont plus esthétiques et peuvent s'intégrer à l'environnement.

Les ponts symétriques à trois travées sont souvent construits en béton armé, en acier et en bois. La figure I- 4 représente pont de Normandie France.



Figure I- 4: Pont de Normandie France 1988

### 4.2. Les ponts à un seul pylône :

Certains ouvrages sont construits avec un pylône central flanqué de deux travées d'égale longueur. L'équilibre de la structure sous charges asymétriques provient du tablier lui-même. En général, les réactions d'appui sur les culées sont faibles et des ancrages sont nécessaires pour maintenir le contact entre la culée ou les piles et le tablier.

Le plus souvent, des contraintes de site (fonctionnelles ou esthétiques) les obstacles sont imposés par une longue portée. L'utilisation d'une structure haubanée, mécaniquement dissymétrique, équipée d'un seul pylône peut constituer une solution intéressante. Selon qu'il existe ou non un accès au viaduc à l'arrière de la travée principale, deux situations peuvent se présenter. (AHOUANSOU, 2010) La figure I- 5 représente Pont de Gilly sur l'Isère.



Figure I- 5: Pont de Gilly sur l'Isère

### 4.3. Les ponts à travées haubanées multiples :

Les ponts à travées haubanées multiples sont des structures qui contiennent plusieurs travées, ou compartiments. Ces structures permettent de limiter, par rapport à une solution plus classique, le nombre des fondations qui seront, en tout état de cause, onéreuse. Dans un tel cas, il convient de prévoir des travées d'égales portées. Mais le problème consiste à limiter les déplacements en tête de pylône. Pour cela les câbles de retenue doivent pouvoir s'ancrer dans le tablier. (AHOUANSOU, 2010) La figure I- 6 représente Viaduc de Millau France.



Figure I- 6:Viaduc de Millau France

**Les ponts à haubans peuvent être aussi classés suivants :**

**A. Selon le nombre de haubans :**

La figure I- 7 représente Typologie des ponts à haubans

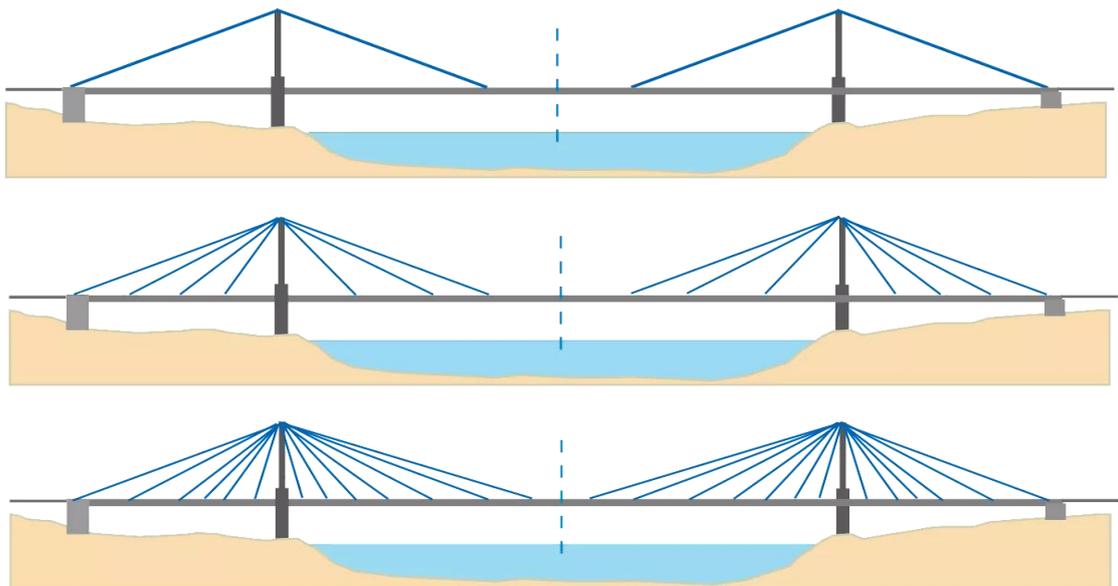


Figure I- 7:Typologie des ponts à haubans

**B. Position de la nappe**

- **Nappe axiale** : en général pour les petites et moyennes portées allant jusqu'à 400 à 500 mètres  
Le choix d'une nappe axiale pour un tablier de faible largeur peut entraîner des problèmes de croisement des véhicules.

La figure I- 8 représente différents types des pylônes pour un pont à nappe axiale

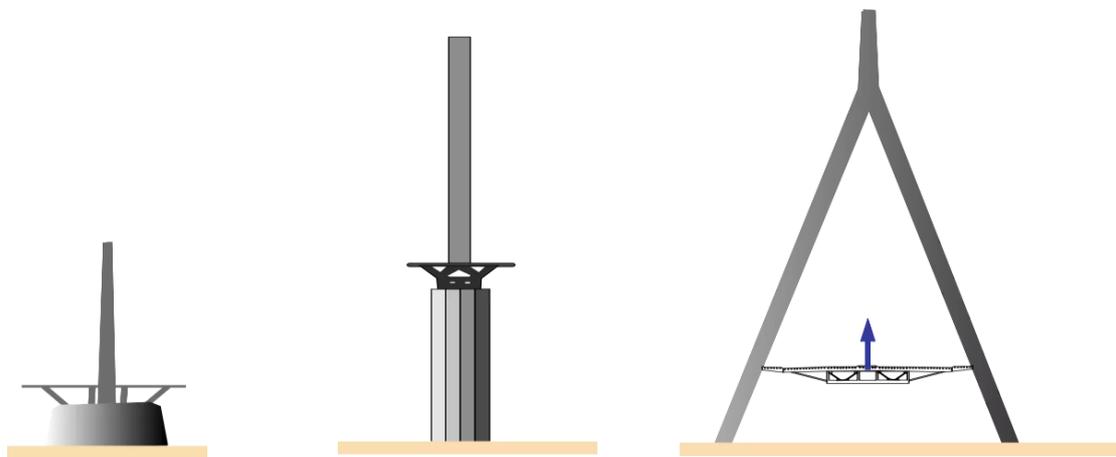


Figure I- 8: Différents types des pylônes pour un pont à nappe axiale

- **Nappes latérales** : Il est pour les très grandes portées supérieures à 500, elles peuvent fournir une plus grande stabilité et une plus grande résistance aux forces extérieures comme le vent et les tremblements de terre pour soutenir le tablier du pont, et peuvent également aider à répartir la charge sur le pont. Elle Est toujours possible même pour les petites portées.

La figure I- 9 représente différents types de pylônes pour un pont à nappes latérales, de gauche à droite.

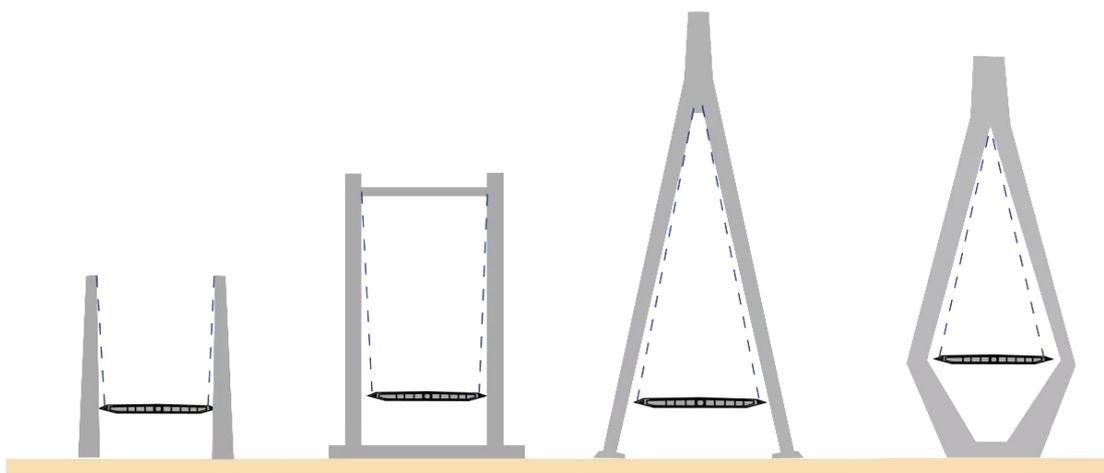


Figure I- 9:différents types de pylônes pour un pont à nappe latérale, de gauche à droite : double mât latéral indépendant, double mât latéral entretoisé, pylône en Y renversé et en V renversé.

### C. Forme de la nappe :

- **En éventail** : les haubans sont ancrés en un seul point d’ancrage en tête de pylône.
- **En semi-éventail** : les haubans sont ancrés sur une hauteur donnée en tête d’ancrage et se déploient ensuite en éventail.
- **En harpe** : les haubans sont parallèles entre eux. (Leonhardt, 2000)

### 5. Le tablier :

Il existe plusieurs types de tabliers soient en béton armé, béton précontraint ou mixte, il peut être constitué par des différents type de poutres. L’élancement de la travée principale varie entre  $h/L=50$  et  $h/L=70$ .

Les figures I-10 et I-11 et I-12 représentent quelques exemples du tablier.

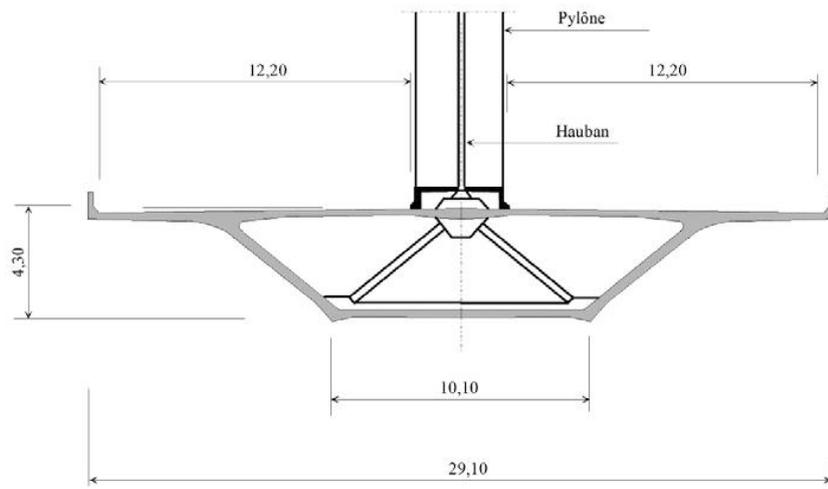


Figure I- 10: Pont de Sunshine Skyway (U.S.A)

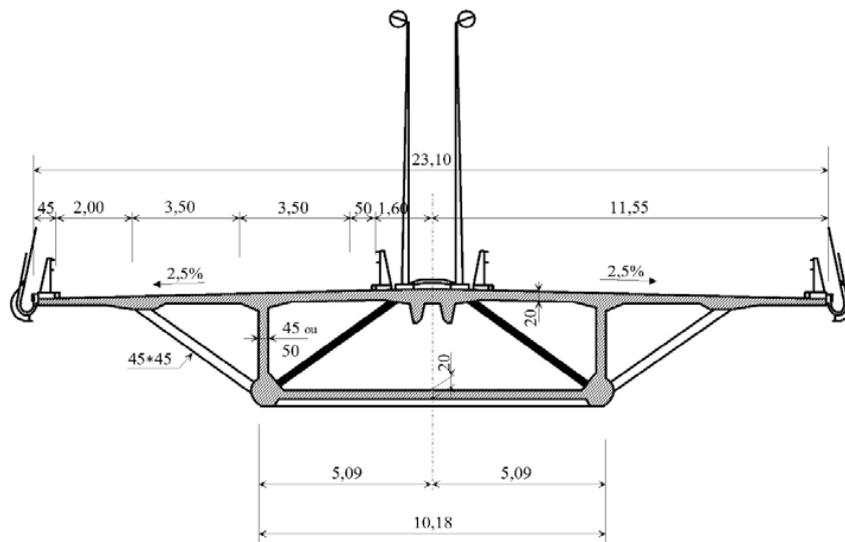


Figure I- 11: Pont sur l'Elorn (France)

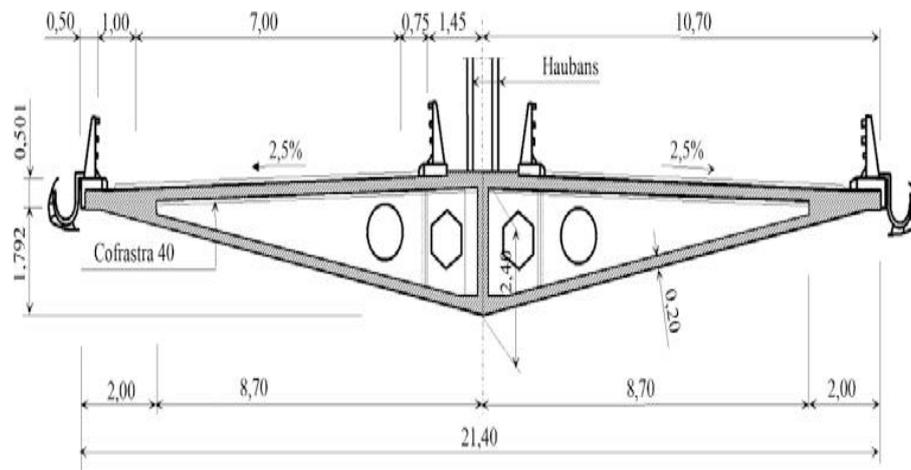


Figure I- 12: Pont sur l'Isère (France)

### 6. Composantes structurelles :

On peut distinguer plusieurs catégories de haubans en fonction des armatures élémentaires utilisées (fils ou torons) et aussi selon les types de protection. La figure I- 13 représente les composantes structurelles.

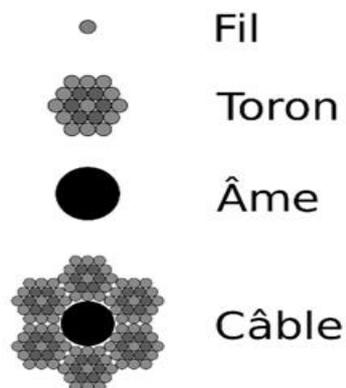


Figure I- 13: Composantes structurelles

**6.1.Toron :**

C'est un ensemble de couches des fils enroulés autour un fil central appelé âme, il existe deux types de torons (les torons ordinaires et les torons à fils parallèles) (Walton, 1996). Les figure I- 14 et I-15 et I-16 représentent quelque exemple du toron.

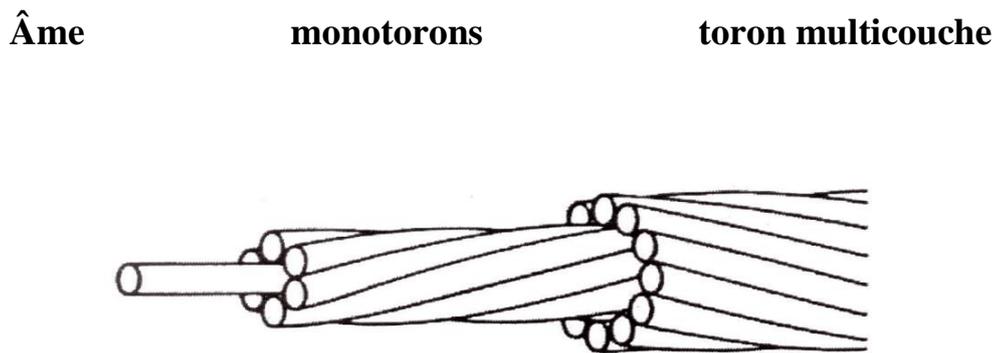


Figure I- 14: Toron ordinaire de 19 (1+6+12) fils

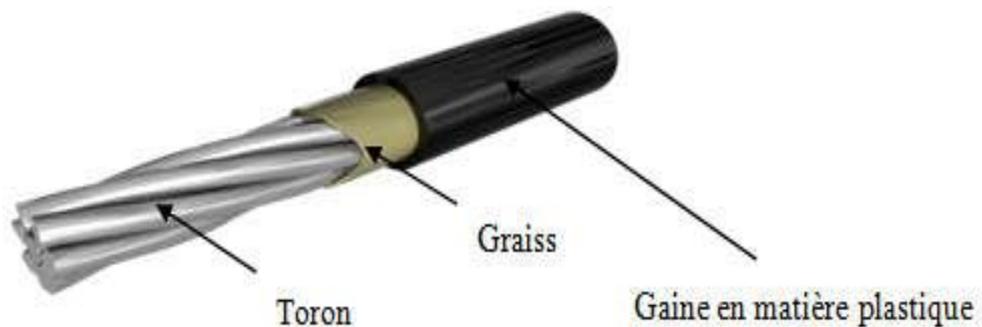


Figure I- 15: Acier actif ou toron pour post-tension

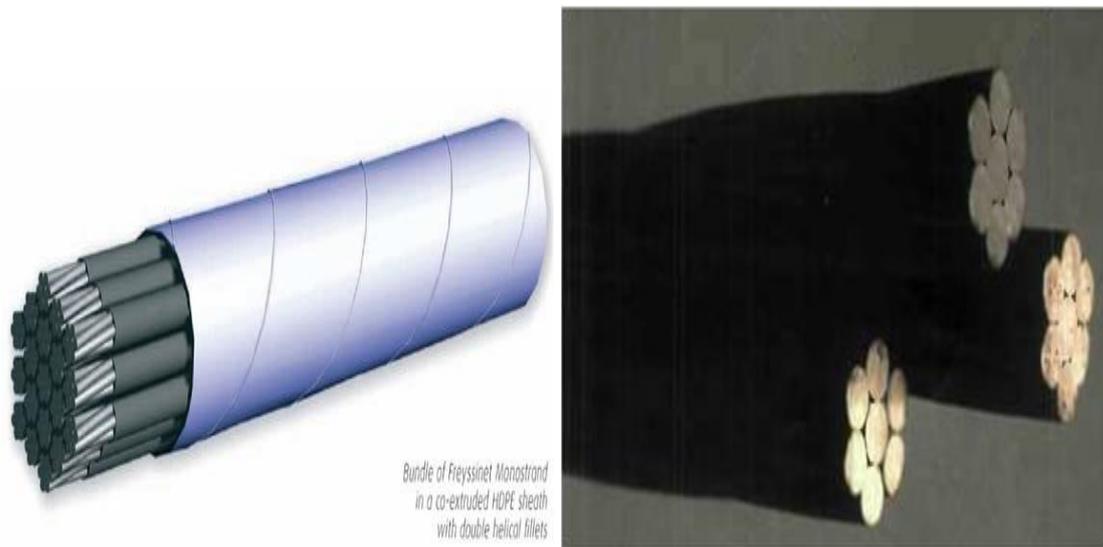


Figure I- 16:Le toron est la réunion de fils d'acier

**6.2.Les files :**

Les fils sont des armatures dont la plus grande dimension transversale est inférieure à 12.5mm, ils sont livrés en couronnes.

Il est à la forme cylindrique à cause de laminages à chaud, le diamètre d'un seul fil généralement compris entre 3 et 6 mm.

Pour la fabrication d'un fil il faut que la section du fil machine est réduite soit par tréfilage à froid, soit par laminage à chaud .Cette opération est suivie d'un refroidissement rapide (trempe) pendant une opération de tréfilage (Brevet, Olivié, Guilbaud, & Raharinaivo, 2004), le tréfilage augmente la résistance mécanique des fils par écrouissage, la réduction de section de l'acier est effectuée progressivement par passage du fil à travers des filières de diamètre décroissant jusqu'à obtenir le diamètre de fil et les caractéristiques mécaniques souhaités. Le tableau suivant donne les caractéristiques mécaniques d'un fil de 5,4 mm de diamètre. Le tableau I-1 représente les caractéristiques mécaniques d'un fil et d'un toron.

	<b>E (MPA)</b>	<b><math>\sigma_R</math> (MPA)</b>	<b><math>\sigma_{Rp0,02}</math> (MPA)</b>	<b><math>\epsilon</math> (%)</b>
<b>fil</b>	202 000	2020	1750	5,5
<b>toron</b>	193 100	1940	1480	5,2

Tableau I- 1:Caractéristiques mécaniques d'un fil et d'un toron.

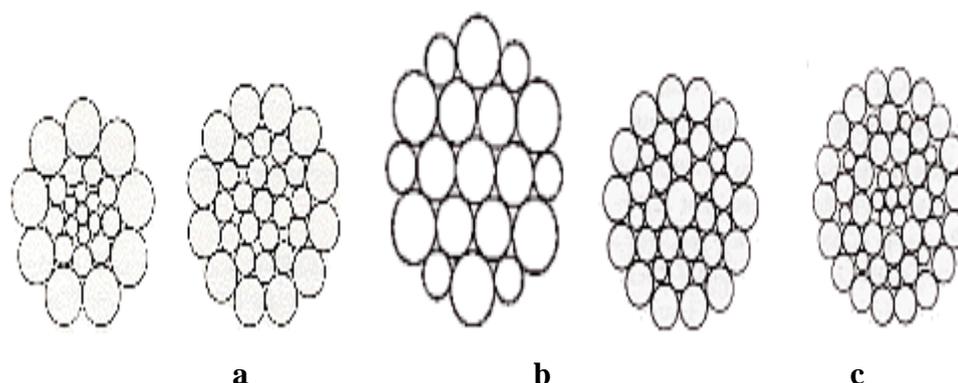


Figure I- 17 : Sections des différents types de torons à fils parallèles

(a) torons Seale de 25 (1+6+9+9) et 31 (1+6+12+12) fils, (b) toron Warrington de 19 (1+6+6,6), (c) torons Warrington-Seale de 36 (1+7+7,7+14) et 52 (1+6+9+9,9+18) fils. (Dienga Lamine, 2009)

### 6.3.Les barres :

Les barres sont définies comme des armatures rondes et lisses de diamètre supérieur à 12.5mm, ou non rondes ou non lisses ne pouvant être livrées en couronnes.

### 6.4.Hauban :

Les câbles de haubans sont constitués de diverses armatures en acier. On peut distinguer trois catégories de haubans en fonction des armatures élémentaires utilisées (fils ou torons). Le tableau I-2 représente catégories des haubans.

Abréviation	Désignation	Armatures en acier revêtu
<b>MTP</b>	Multi-torons parallèles	Torons de précontrainte T15.2 ou T15.7 gainés individuellement et/ou collectivement
<b>MFP</b>	Multi-fils parallèles	Fils ronds boutonnés gainés collectivement
<b>TMC</b>	Toron multi-couches	Fils ronds et/ou fils profilés

Tableau I- 2 : Catégories des haubans

Ces haubans sont constitués de 45 à 91 torons de 150 mm<sup>2</sup> de section. Chaque toron est galvanisé, ciré et protégé individuellement par une gaine en polyéthylène haute

densité. L'ensemble des torons constituant un hauban est en outre protégé par une gaine générale de teinte gris clair. (AHOUANSOU, 2010) La figure I-18 représente configuration des haubans.



Figure I- 18: Configuration des haubans

Il existe plusieurs types de câbles qui dépendent à la fois de la composition des torons utilisés et leur configuration géométrique dans le câble (Nguyen, 1994) (Costello, 1990) Les figures I-19 et I-20 représentent types des câbles.

On distingue :

- Des câbles à torons torsadés de géométrie complexe

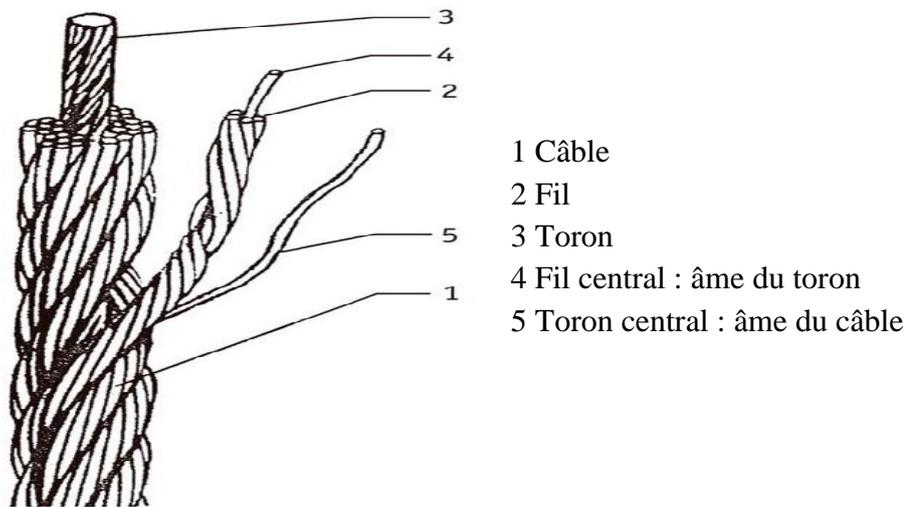


Figure I- 19:Structure d'un câble à torons torsadés.

- Des câbles à torons parallèles

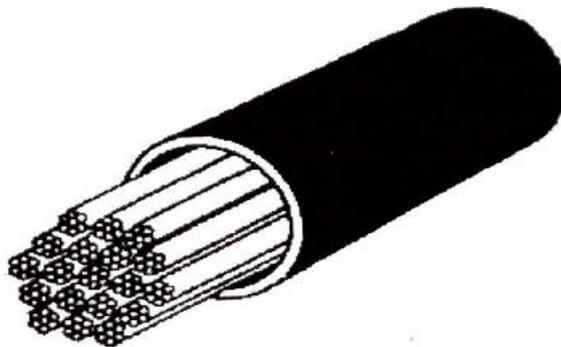


Figure I- 20:Des câbles à fils parallèles.

**a) Réglage des haubans :**

Le réglage agit sur la géométrie de la structure, puisque des charges d'auto-équilibrage sont introduites dans la structure. Lorsque la géométrie de l'ouvrage à réaliser n'est pas exactement conforme à l'objectif, il peut être tentant de "corriger" les défauts de géométrie en ajustant les réglages des haubans. Cette pratique est à éviter pour trois raisons. (SETRA, 2001)

- Les réglages des haubans sont définis lors de la conception de l'ouvrage et il est important de respecter ces règles, faute de quoi des efforts parasites dépassant les contraintes admissibles seront introduits dans l'ouvrage. Ceci

est spécialement vrai pour les structures en béton précontraint, où les parties résistives sont généralement dimensionnées précis

- Même avec une documentation rigoureuse des réglages effectués, les modulations de tension associées aux directives du bureau d'études peuvent rapidement disparaître parmi d'autres causes gênantes liées aux tolérances d'exécution et à la précision des mesures. L'analyse de l'état de l'ouvrage devient rapidement indissociable, rendant encore plus difficiles les actions correctives réfléchies.
- Les imperfections géométriques n'ont aucune conséquence tant qu'elles existent localement. Il est donc inutile de s'immiscer dans le réglage des haubans pour les masquer. (SETRA, 2001).

La figure I-21 représente réparation des haubans du pont de Bourgogne à Chalon sur Saône.



Figure I- 21: Réparation des haubans du pont de Bourgogne à Chalon sur Saône

### 6.5. Les appareils d'appuis :

Ce sont des éléments d'ouvrages de haute technologie qui permettent en fonction de leur nombre des degrés de liberté, de reprendre des efforts verticaux ou horizontaux et d'absorber les déplacements ou la rotation.

Les types des appareils d'appuis utilisés le plus fréquemment aujourd'hui pour la reprise d'efforts verticaux se répartissent en 3 catégories :

- Appuis-pots oscillant ou oscillants-glissants en néoprène.
- Appuis de déformation en élastomère.
- Les appuis oscillants linéaires ou oscillants-glissants linéaires en acier.

Et pour permettre la libre dilatation de la superstructure on utilise des appuis fixes et des appuis mobiles. (Ndoye, Cheikh Ameth Tidiane, 2004) Les figures I-22 et I-23 représentent types des appuis.

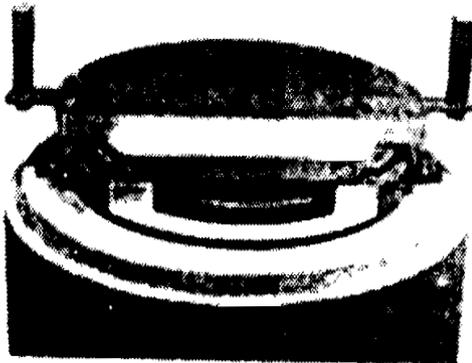


Figure I- 22: Appuis fix

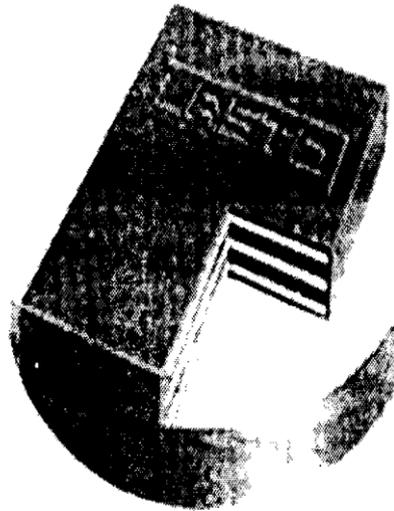


Figure I- 23: Appuis mobile

## 7. Pylône

Les pylônes principalement sous pression sont généralement construits en béton et encastrés dans le fond du corps du pieu ou du tablier du pont. Il y a une option pour articuler la tour métallique au pied. La figure I-24 représente un pylône d'un pont à hauban .

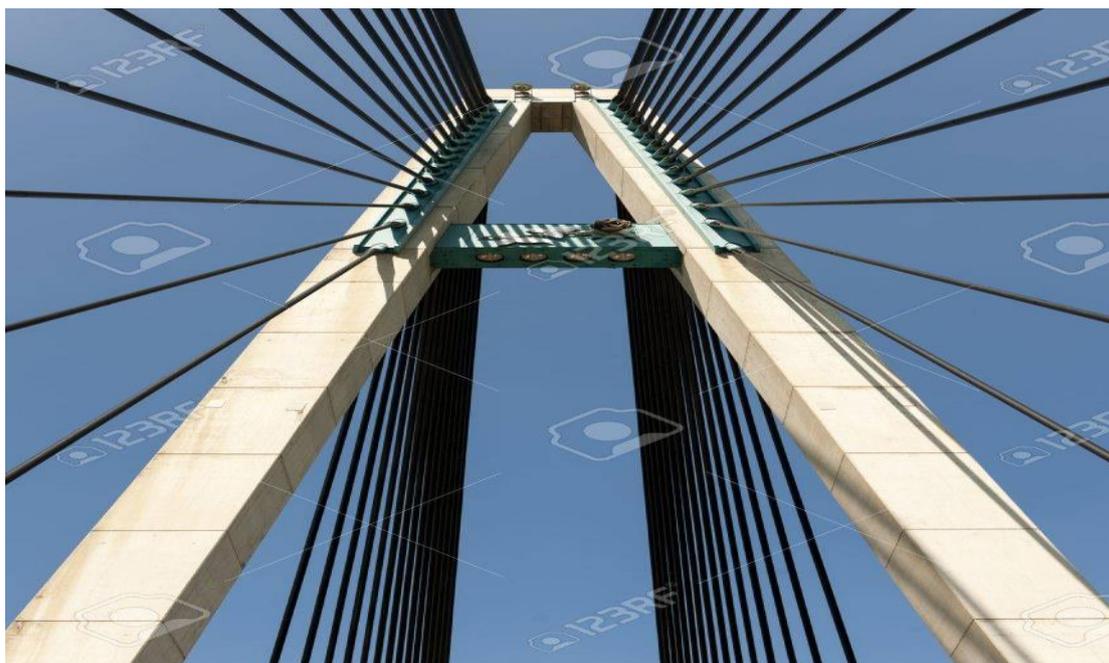


Figure I- 24:Le pylône d'un pont à haubans

Il existe des distinctions entre les tours I, H, V inversé, A et Y inverser. En partie hautes, des pièces métalliques liées au béton du corps de pylône sont souvent disposées pour assurer l'ancrage des haubans et la transmission des efforts.

Les immeubles récents sont généralement équipés d'un dispositif paratonnerre au sommet de la tour. Certaines œuvres plus anciennes en font aussi. (Sétra, 2008).

Les figures I-25 et I-26 représentent quelques vues d'un pylône.



Figure I- 25: Vue Du Pylône En Forme D'arc Du Pont à Haubans Depuis Le Tablier Du Pont

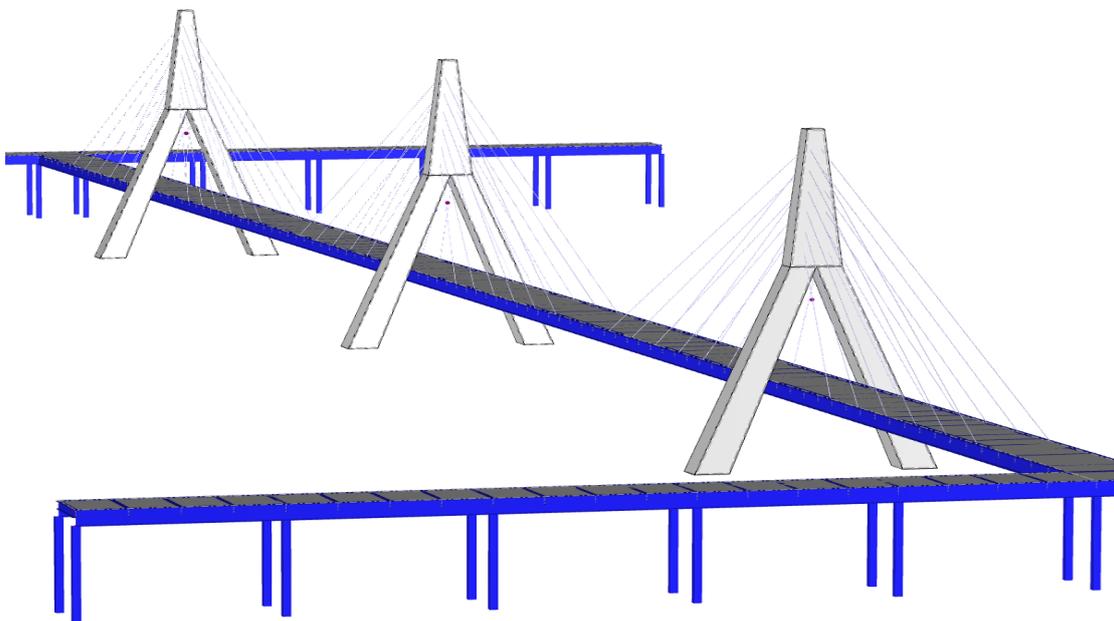


Figure I- 26: Pont à haubans pour piétons et cyclistes surplombant la rivière Pescara, Italie

## 8. Joints d'étanchéité :

L'imperméabilisation des dalles de marche du tablier d'un pont est un facteur clé pour assurer la durabilité structurelle et la facilité d'entretien. La protection de la

surface du tablier par un scellement durable ne peut pratiquement pas être abandonnée, le béton seul pouvant rarement empêcher la pénétration de chlorures dans l'armature (concentration critique de chlorures dans le béton = environ 0,4 % en poids de ciment). Le système d'étanchéité garantir les fonctions suivantes :

- Protection durable des surfaces structurelles en béton contre les influences physiques et chimiques nocives
- Et combler toutes les fissures qui peuvent se développer dans la surface du béton. (Ndoye, Cheikh Ameth Tidiane, 2004)

### **9. Ancrage :**

L'ancrage mécanique est principalement constitué d'une pièce mécanique intermédiaire qui doit être dimensionnée pour retenir les armatures composant les câbles et transmettre leurs efforts à la structure de raccordement. Cette pièce médiane est connue sous le nom de tête d'ancrage pour la catégorie de câble MTP et MFP avec torons ou fils parallèles. Pour les haubans TMC à plusieurs torons, on préfère parler de manchons d'ancrage.

L'armature de base est bloquée individuellement ou collectivement par des dispositifs de blocage spéciaux placés sur la pièce médiane :

- Clé conique ou manchon à sertir pour câbles MTP.
- Les boutons pour câbles MFP peuvent être complétés en calant le faisceau dans le matériau de remplissage.
- Le sertissage des fils de base du câble TMC est serré conjointement dans le trou conique du manchon d'ancrage à travers le matériau de remplissage. L'ensemble des armatures déployées et fixées dans l'emboîture constitue le socle. (SETRA, 2001) les figures I-27 et I-28 représentent un ancrage des haubans.



Figure I- 27: Ancrage bas d'un hauban sur le pont Utsjoki en Finlande - pièce de liaison fixe

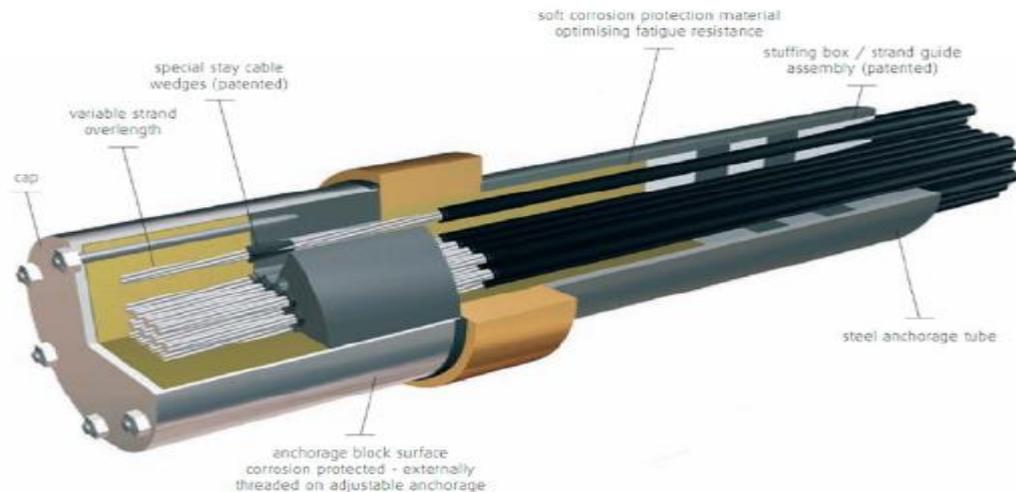


Figure I- 28: L'ancrage des haubans

### 9.1.CLASSIFICATION DES ANCRAGES :

Sur la base du principe de verrouillage de l'armature, on distingue quatre types d'ancrages à haubans généralement sont adaptés à des classes de câbles bien définies comme indiqué dans le tableau ci-dessous, les articles suivants décrivent ces quatre séries en détail. (SETRA, 2001) le tableau I-3 représente la classification des ancrages.

Abréviation	Principe de blocage	Catégorie de câble concernée
-------------	---------------------	------------------------------

<b>C</b>	Clavettes coincées dans la tête d'ancrage	MTP (protégés individuellement ou collectivement)
<b>M</b>	Manchons sertis appuyés sur la tête d'ancrage	MTP (protégés individuellement ou collectivement)
<b>B ou B+R</b>	Boutons appuyés sur une plaque+ coincement conique éventuel par Remplissage à la résine	MFP
<b>F+R</b>	Frisure + coincement conique par Remplissage de la douille	TMC

Tableau I- 3:CLASSIFICATION DES ANCRAGES

De plus, d'autres distinctions peuvent être faites entre les différents types d'ancres :

- Ancrage actif avec tension sur le câble, ancrage passif sans tension.
- Ancrage bas, au niveau du pont, mouillage haut, au pylône. Les ancrages inférieurs des haubans sont particulièrement exposés à l'eau s'écoulant le long du câble, ce qui nécessite des dispositions particulières ;
- Ancrage fixe, dont la tête est fixe par rapport à la structure, ancres réglables, dont la tête peut se déplacer par rapport à la structure selon l'axe du tirant (SETRA, 2001) les figures I-29 et I-30 I-31 représentent les principes d'ancrages.

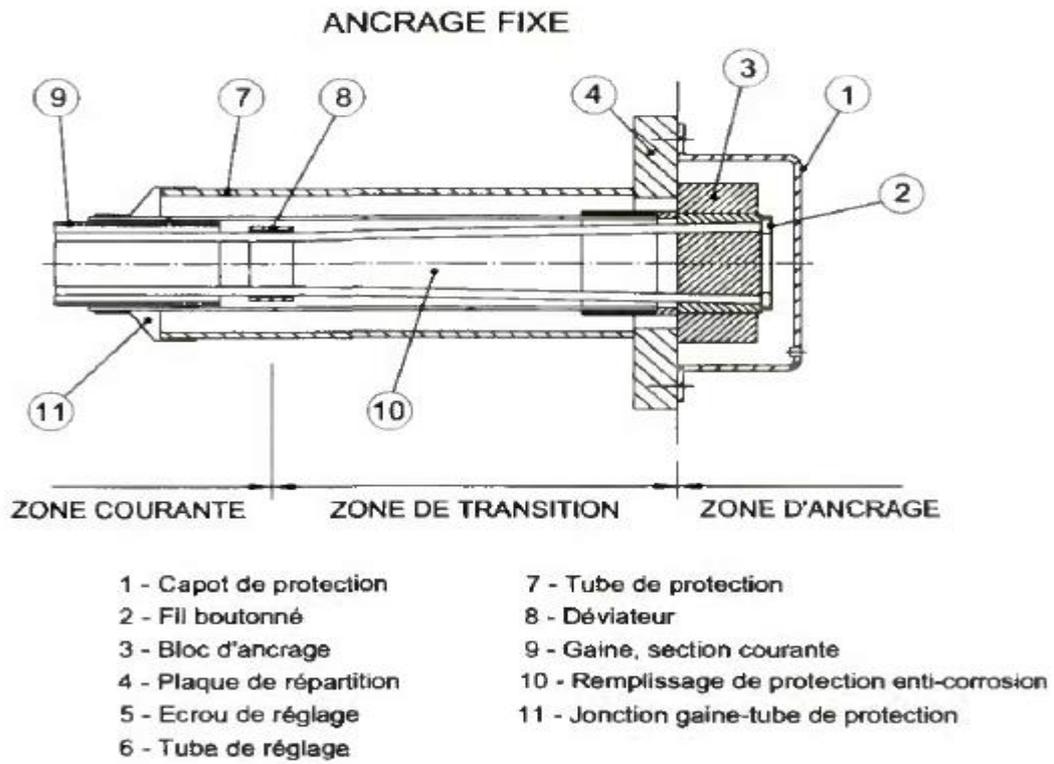


Figure I- 29:Principe d'ancrage fixe.

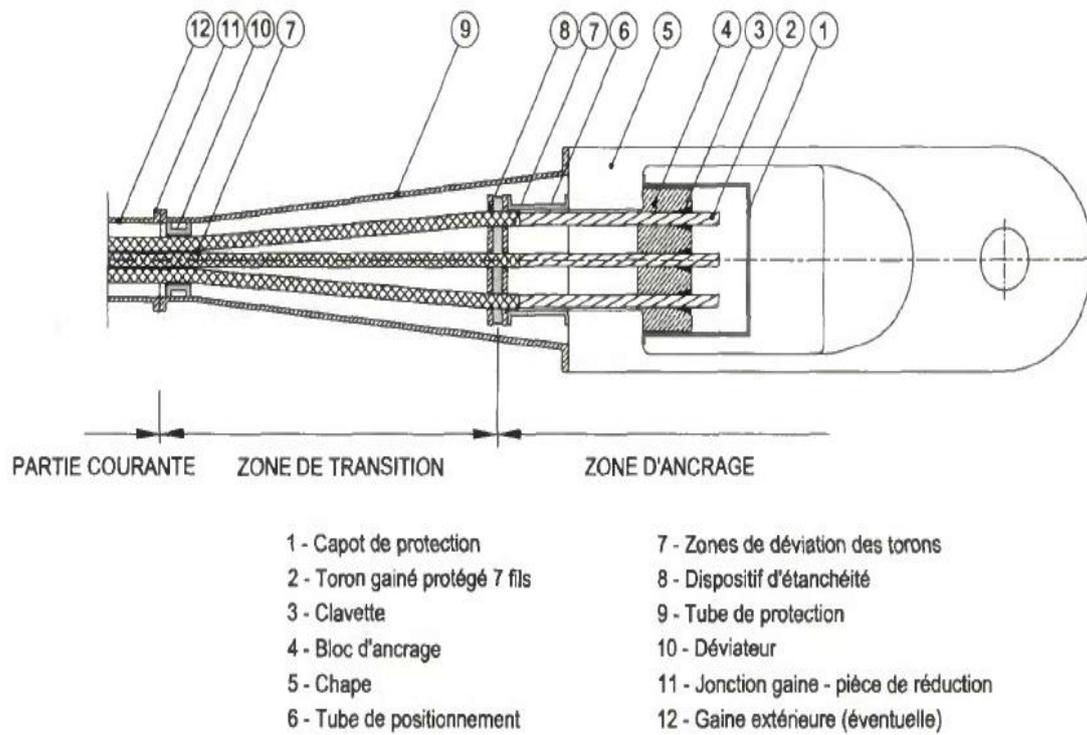


Figure I- 30:Principe d'ancrage C pour torons gainés individuellement (SETRA, 2001)

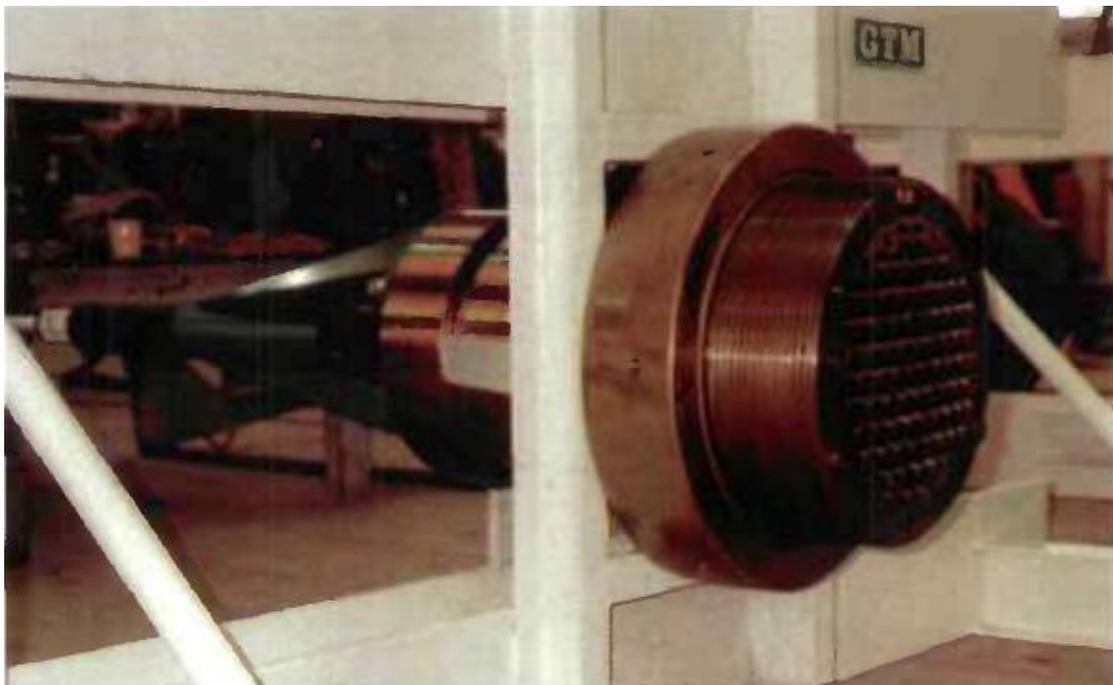


Figure I-31 : Ancrage d'un hauban du stade de France

## 10. Amortisseur

Les haubans ont un amortissement inhérent assez faible, Le moyen le plus classique pour limiter ou éviter les vibrations du hauban est d'augmenter son amortissement avec un amortisseur. Cette pièce est valable pour presque tous les types de vibrations à l'exception des instabilités paramétriques. (SETRA, 2001)

Il existe plusieurs types d'amortisseurs :

- **Amortisseurs externes :**

Généralement il exerçant une force d'amortissement transversalement au câble à proximité des ancrages. Ils peuvent être installés par paires directement sur le hauban. La figure I-32 représente amortisseurs du pont de Brotonne.



Figure I- 31: Amortisseurs du pont de Brotonne

- **Amortisseurs internes :**

De forme annulaire placée entre le câble et le tube métallique collé solidement ancrer à la structure près des ancrages supérieurs ou inférieurs. Ces amortisseurs fonctionnent par déformation du matériau dissipatif ou par frottement visqueux ou par frottement sec entre deux solides, (SETRA, 2001) La figure I-33 représente Vue d'un amortisseur interne situé à la base d'un hauban du pont de Rousski.

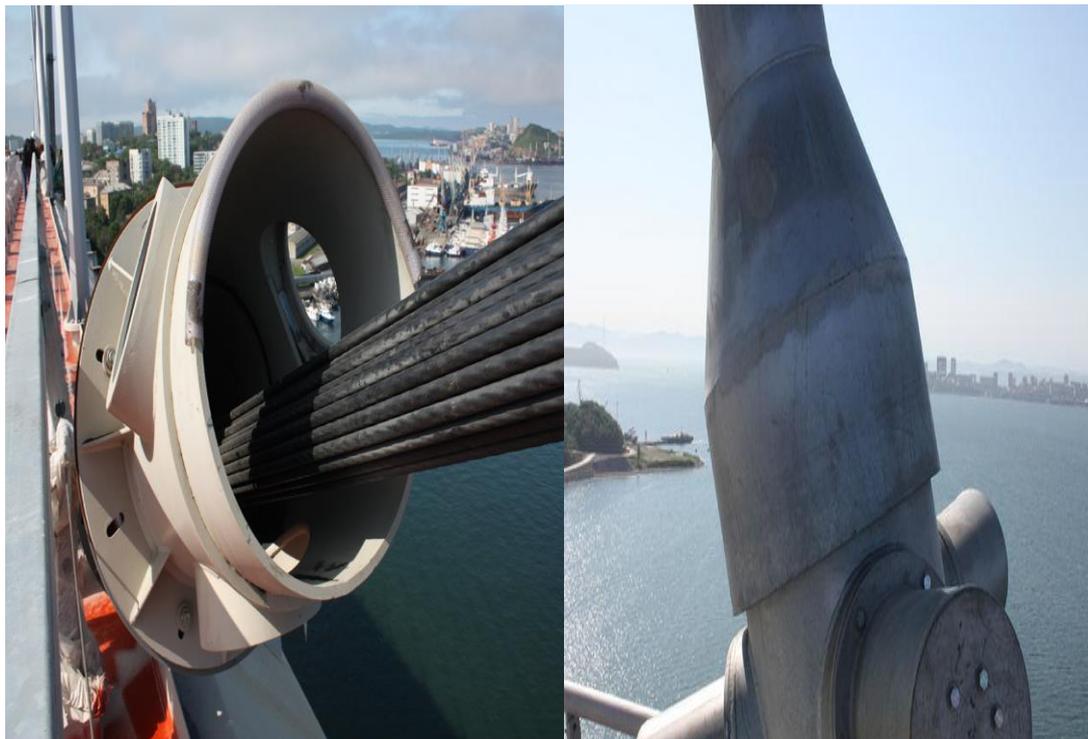


Figure I- 32: Vue d'un amortisseur interne situé à la base d'un hauban du pont de Rouski.

**Chapitre II :**  
**Pathologies des Ponts à Haubans**

### **1. Introduction :**

Une fois en service, tous les types d'ouvrages subissent un processus de vieillissement qui durera tout au long de leur vie. Les ponts en particulier peuvent souffrir d'un certain nombre de causes de gravité variable. Ces conditions qui se produisent aux niveaux matériel et structurel peuvent avoir un impact sur la stabilité et la longévité de la structure. Par conséquent comprendre l'origine de ces conditions permettra une meilleure conception et construction des ponts ainsi que des solutions appropriées pour les réparer (Calgaro & Roger, 2010).

Les structures sont soumises à des contraintes croissantes pour plusieurs raisons. Cela produit une dégradation causée par des charges accrues et divers phénomènes naturels et physico-chimiques qui sont enregistrés et ajoutés au cycle de vieillissement naturel de la structure.

### **2. Définition :**

C'est l'étude des désordres et surtout l'étude statistique, systématique et ordonnée des désordres et des catastrophes est relativement nouvelle.

Les types des pathologies sont :

### **3. Actions Dues Au Trafic :**

Les ponts supportent le trafic qui est l'une des principales causes de vieillissement des ponts qu'il soit dû à des impacts extrêmes ou répétitifs. Les modes de transport et leurs caractéristiques évoluent constamment dans le temps en effet de la vitesse des véhicules a augmenté. Face à cette situation un problème majeur est le calcul des notes d'ouvrages anciens qui n'existent plus. Il est donc parfois difficile de savoir s'ils sont dimensionnés pour supporter le trafic auquel ils sont soumis (Calgaro & Roger, 2010). la figure II-1 représente dégradations causées par le choc.



Figure II- 1: Dégradations causées par le choc

## 4. Dégradation des matériaux :

### 4.1. Altération du béton :

Le béton est soumis à de nombreuses agressions physiques, physico-chimiques et chimiques, et sa résistance est liée à la vitesse à laquelle l'eau peut pénétrer dans son système capillaire. Lorsque des facteurs externes réagissent avec l'hydrate de ciment pour former des composés gonflants ou solubles sa qualité diminue. (Hamlaoui, 2012.).

### 4.2. Dégradation mécanique :

Les phénomènes d'usure et d'érosion se produisent principalement sur des piles en maçonnerie soumises à l'action de l'écoulement de l'eau ou à l'impact de corps flottants. En l'absence de ponts étanches supportant la circulation circulant directement sur le béton de la dalle de couverture un laminage local de ce béton a été observé, conduisant dans les cas les plus sévères à la chute de la dalle en béton et à la formation de trous dans la dalle de couverture.

### 4.3. Dégradation d'origine physico-chimique :

Le retrait est un phénomène physico-chimique et pour ça si toutes les mesures ne sont pas prises pour en limiter les effets, il conduit généralement à la fissuration du béton, (la fissuration directionnelle ou la fissuration multidirectionnelle). Certaines fissures peuvent apparaître une heure ou deux après la mise en place du béton en raison du tassement du béton frais dans le coffrage et des infiltrations d'eau qui en résultent.

D'autres fissures apparaissent immédiatement après pelage formant un réseau espacé de quelques décimètres, elles sont généralement fines et peu profondes, et leur origine se trouve dans le retrait correspondant au retrait « Le Chatelier » (retrait auto-séchant). Après ça les fissures peuvent apparaître des jours ou des mois après le retrait du coffrage. Ces fissures sont causées par le retrait de séchage, également appelé retrait à long terme qui est dû à la perte d'excès d'eau du béton (Calgaro & Roger, 2010). la figure II-2 effet du ressuage du beton



Figure II- 2: Effet du Ressuage du béton

#### 4.4.Dégradation Chimique :

Le tableau II-1 représente dégradations d'origine chimique .

Type	Caractéristique	Risques	Image
<b>Alcali-réaction</b>	La silice de certains granulats réagit avec le ciment (composé alcalin) formant un gel qui gonfle le béton et le fait éclater.	Apparitions de réseaux de fissures profondes qui entraînent des désordres structurels dans les années qui suivent.	

<p><b>Carbonatation</b></p>	<p>La portlandite du ciment réagit petit à petit avec le CO<sub>2</sub> de l'air. Cette réaction réduit donc le pH du béton de 13 à 9. Lorsque le front de carbonatation atteint les armatures, elles corrodent les armatures qui gonflent et éclatent le béton</p>	<p>De gros désordres structurels se présentent. Les aciers perdent beaucoup en résistance et le béton risque de rompre.</p>	
<p>Attaque Des ions chlorures</p>	<p>Les ions chlorures (présents dans l'eau de mer, l'eau des piscines, certains sols et certains granulats) peuvent pénétrer par les fissures ou le réseau poreux du béton pour aller corroder les aciers.</p>	<p>Fissuration du béton. Réduction de la section des aciers résistants. Éclatement local du béton. Apparition de rouille à la surface du béton sous forme de taches non esthétiques.</p>	
<p><b>Réaction sulfatique Interne (RSI)</b></p>	<p>En cas de fortes températures (65 °C et plus) au cœur du béton au jeune âge, le béton refroidit lentement et la formation d'ettringite (minéral composé de soufre, calcium et d'aluminium qui permet de réguler la prise du ciment) est alors retardée. En contact avec des sulfates (venant de l'eau de mer, du sol ou d'engrais), de l'étrangéité expansive se forme alors entraînant un faïençage profond du béton.</p>	<p>Semblables aux risques de l'alcali-réaction</p>	

Tableau II- 1: Dégradations d'origine chimique (Brice, s.d.)

#### 4.5. Corrosion de l'acier:

Sous l'action de facteurs atmosphériques ou d'agents chimiques, l'acier se corrode c'est-à-dire se transforme en oxydes, sulfures, carbonates, etc.... ou en une autre forme plus stable par rapport au milieu environnant. Cela entraîne une dégradation de ses performances. La figure II-3 représente la corrosion des armatures.



Figure II- 3: Corrosions des armatures

Il existe de nombreux facteurs de corrosion. En bref, on peut dire que l'un dépend du métal lui-même et l'autre dépend des réactifs. Le premier facteur se décompose en facteurs métallurgiques (composition, traitement thermique, mécanique et de surface) et en facteurs liés aux conditions de service (conception des pièces et des assemblages, contraintes mécaniques, état de surface). La deuxième est essentiellement : la nature du réactif, concentration, PH, teneur en oxygène, température, pression, présence d'impuretés ou d'inhibiteurs. La figure II-4 représente la rupture du câble par corrosion.



Figure II- 4:Rupture du câble par corrosion

❖ **Corrosion généralisée :**

Elle se manifeste par une réduction de la section des filets jusqu'à leur rupture, L'effet induit est la perte d'étanchéité de la couche de fil affectée.

L'origine de cette corrosion est généralement non renouvelée, la rupture partielle de la protection et vieillissement de la protection interne. et pour il faut utiliser de fil galvanisé retarde l'apparition de ces phénomènes. la figure II-5 représente zone de dissolution sur un multicouche.



Figure II- 5:Zone de dissolution sur un multicouche.

**❖ Corrosion localisée :**

Ce phénomène correspond à plusieurs formes de corrosion, principalement le piquage (ou fissuration), le couplage galvanique et la formation de corrosion sous contrainte. La corrosion causée par des piqures ou des caractéristiques de corrosion a pour effet de localiser fortement les dommages aux câbles, la cinétique de dégradation est d'autant plus rapide que les défauts sont localisés. La figure II-6 représente une zone de corrosion localisée sur un fil.



Figure II- 6: Zone de corrosion localisée sur un fil.

**❖ Corrosion atmosphérique :**

Une pièce d'acier brut laissée à l'air libre sans protection particulière, sera recouverte d'une couche de rouille très adhérente. Habituellement le rôle principal est joué par l'oxygène et l'eau. Certains ingrédients tels que le sulfate d'ammonium, peuvent provoquer et activer la corrosion là où ils se déposent. Ainsi dans les zones urbaines des pays industrialisés, la pollution de l'air est très élevée ce qui contribue à accélérer le processus de corrosion.

La température joue également un rôle clé dans l'accélération de l'oxydation chimique par exemple : une augmentation de température de 10°C double la vitesse de réaction. Une attention particulière doit être portée aux structures

situées dans l'atmosphère marine. la figure II-7 represnte corrosion atmosphérique des ouvrages.



Figure II- 7:Corrosion atmosphérique des ouvrages

### ❖ Corrosion des armatures du béton armé et précontraint :

La corrosion des armatures passives dans un ouvrage en béton résulte d'un processus complexe faisant intervenir à la fois des facteurs chimiques, physiques et mécaniques. Le grand gonflement résultant du passage de l'acier à l'état de rouille entraîne un éclatement du béton de protection, tandis que la section résistante des armatures diminue. Mais c'est surtout leur ductilité et leur résistance à la fatigue qui sont affectés.

L'écran physique que constitue l'enrobage contribue à garantir la durabilité de la structure à condition que son épaisseur soit suffisante mais il faut également qu'il présente une bonne compacité.

Ce qui vient d'être dit s'applique également aux armatures de précontrainte particulièrement vulnérables lorsque leur enrobage ou la qualité de leur injection sont insuffisants. la figure II-8 représente corrosion des armatures dans les structures en béton armé.



Figure II- 8: Corrosion des armatures dans les structures en béton armé

## 5. Moyens de protection :

Les politiques de maintenance structurelle se traduisent par une protection contre l'usure et la corrosion des haubans. Ces protections doivent assurer une durée de vie suffisante au support avant qu'un remplacement ne soit nécessaire.

Les recommandations actuelles contenues dans les lignes directrices émises par le (SETRA, 2001) stipulent que la protection contre la corrosion des torons des haubans doit être assurée de manière redondante au moyen de deux barrières complémentaires

La barrière intérieure de chaque toron doit être protégée individuellement qui est généralement un type de revêtement métallique galvanisé. Le revêtement offre une protection par un effet de barrière physique et agit comme une anode sacrificielle lorsque l'acier en fusion entre en contact. Cette barrière interne également disponible sous forme de gaine HDPE ou de graisse. (Purwar, 1975).

La barrière extérieure de l'ensemble du câble doit être protégée, il comprend la gaine et le milieu intermédiaire. Le boîtier doit être complètement étanche sur toute la

longueur du câble, généralement une gaine en plastique (par exemple en PEHD) sur les structures existantes, il peut s'agir d'une barrière de type peinture qui nécessite un entretien régulier pour compenser les dommages environnementaux (UV, eau...). Le milieu intermédiaire doit empêcher la circulation d'humidité ou d'eau au contact de la première barrière, ce milieu peut être un produit de remplissage de type cire, graisse, résine, ou un flux d'air à humidité contrôlée en permanence autour des torons. la figure II-9 représente morphologie typique du revêtement de zinc sur acier.

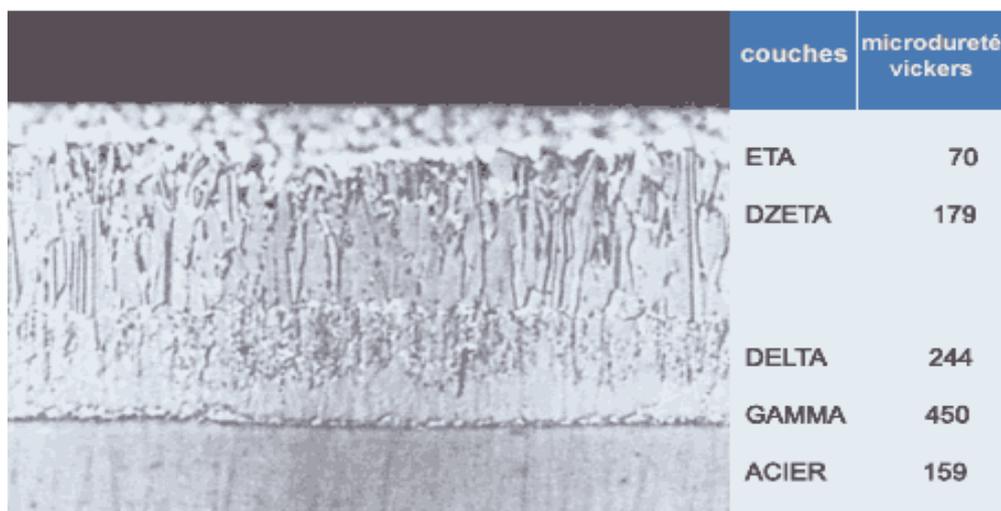


Figure II- 9:Morphologie typique du revêtement de zinc sur acier

## 6. Défauts de soudage :

Il existe plusieurs types de défauts de soudure et différentes manières de les prévenir et de les corriger. Cette ressource expose les défauts les plus courants selon le métal usiné ou le procédé de soudage utilisé.

- Les fissures. (Chaud et froid)
- Les soufflures.
- La pollution ferreuse.
- Les inclusions.
- Les retassures et criques de solidification.

Les figures II-10 et II-11 et II-12 représentent quelques défauts de soudage.

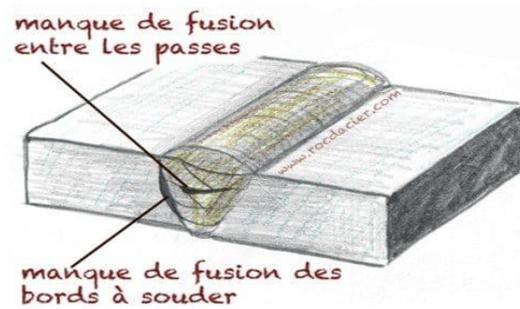


Figure II- 10:Défauts des soudures

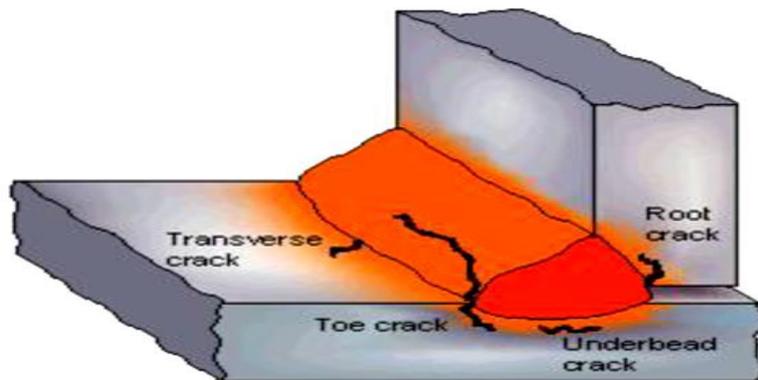


Figure II- 11:Fissuration à chaud

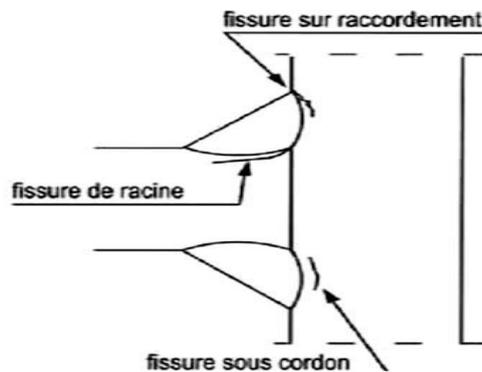


Figure II- 12:Fissuration à froid.

### 7. Défauts des assemblages boulonnés :

Le comportement de ces ensembles est difficile à garantir. Il est particulièrement affecté par la rupture de contact des plaques et la déformation en flexion des plaques sous charge. Ces facteurs peuvent exacerber des problèmes tels que la fatigue, la perte de précontrainte et la corrosion. Les figures II-13 et II-14 représentent défauts des assemblages boulonnés.

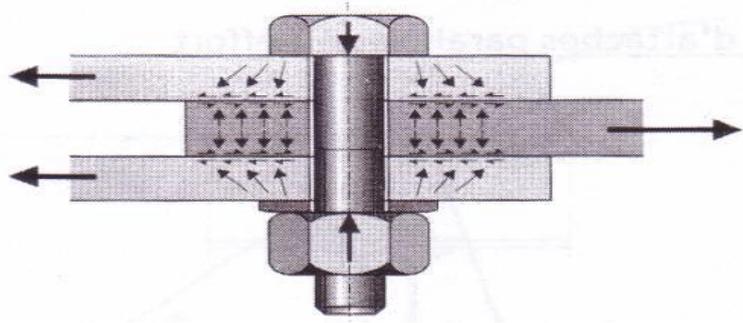


Figure II- 13:Assemblage par boulons HR.

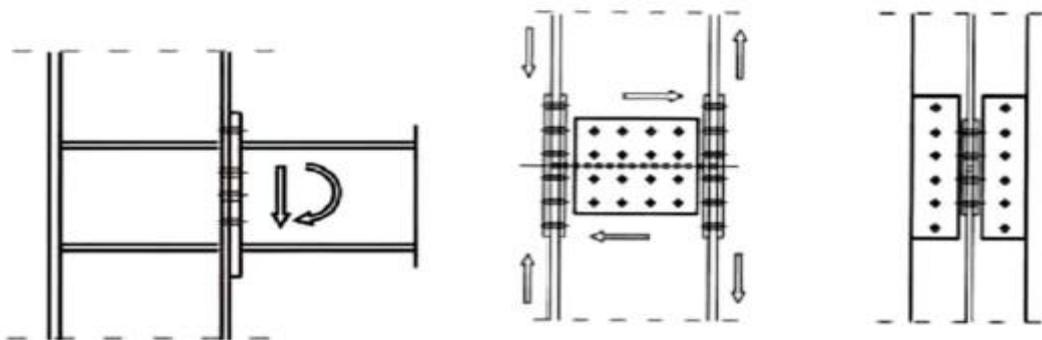


Figure II- 14:Efforts qui exercent dans un assemblage

Dans des conditions extrêmes, un glissement des pièces dû au dépassement de la résistance des composants sur les assemblages précontraints peut se produire. L'ensemble n'est pas réparable partiellement et doit être restauré en remplaçant le couvre-joint, en supprimant l'ovalisation des trous des tôles à assembler et en utilisant des boulons de plus grands diamètres. (BOUMECHRA, 2011) la figure II-15 représente un ovalisation du trou lors du glissement de la pièce.



Figure II- 15:Ovalisation du trou lors du glissement de la pièce

**Chapitre III :**

**Analyse de l'ouvrage  
OUED DIB A MILA**

## 1. Introduction :

Ce chapitre est consacré au développement d'un modèle numérique du pont à hauban de l'oued Dib dans la région de Mila. L'objectif est de faire une première estimation à l'aide d'un modèle « D des propriétés dynamiques de l'ouvrage. Dans une première phase, et bien sur le modèle numérique de l'ouvrage sera développé,

Analyse modale de ce modèle nous permet de déterminer les forces et les efforts tranchants qui ont un effet sur les appareils d'appuis, ces premiers résultats nous aideront pour trouver la cause de tassement d'appareil d'appui. La figure III-1 représente le pont Oued Dib Mila.



Figure III- 1: Pont Oued Dib Mila

## 2. Description de l'ouvrage :

, le pont à hauban d'Oued Dib est le premier pont de ce type en l'Algérie, il relie entre les deux villes Mila et Jijel. Il traverse le lac Béni-Haroun le plus grand barrage d'Algérie. La figure III-2 représente coordonnées satellites : [36° 30' 40.77 N 6° 18' 9.47] (Google Earth) Ce pont autoroutier a été mis en service en 2001.

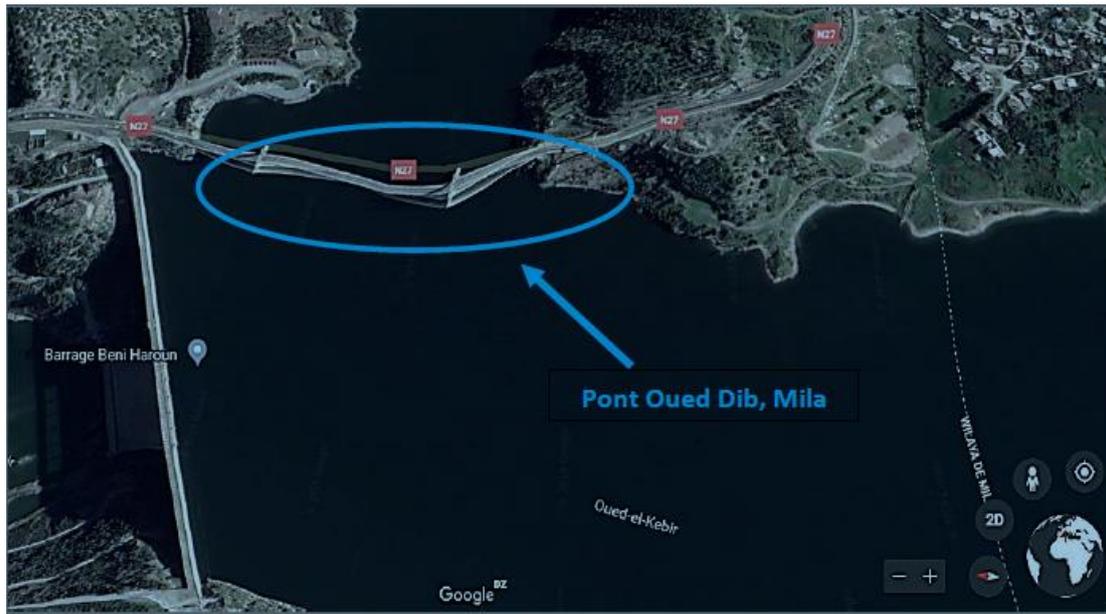


Figure III- 2: Vue satellite du pont Oued dib Mila

### ➤ Données géotechniques:

Les cartes géologiques de la zone montrent que les strates sédimentaires sont constituées principalement d'argile et de grès du Smendou, avec plus ou moins d'argile schisteuse, de grès noir, fin jaune et de marne. L'ensemble est riche en gypse.

Géologiquement, la vallée de l'Oued Dib est constituée de sols de nature argilo-sédimentaire au centre et de roches sur les flancs qui ont une épaisseur de 80 m par rapport au fond de la vallée elle-même.

Les flancs de cette vallée sont formés par des formations de marnes en forme de fissures. Le pendage des formations marno-calcaires est d'environ  $45^\circ$  NW sur le versant sud de la vallée et  $35^\circ$  SE sur le versant nord. La partie centrale est constituée d'alluvions en surface et alternativement de couches plus ou moins structurales en profondeur.

Les relevés géotechniques au sol sont les paramètres de base et nécessaires pour définir l'emplacement de l'ouvrage, ainsi que les propositions de fondation envisagées pour le support et les travaux liés au choix d'un bon emplacement pour de bonnes performances mécaniques.

Quant aux paramètres mécaniques de ces couches, ils augmentent avec la profondeur jusqu'à atteindre des valeurs pour la roche compactée.

Le terrain sur lequel repose la structure est essentiellement constitué de calcaire, marno-calcaire, marne, argile et filler. Le calcaire n'a pas été atteint lors de l'investigation géotechnique. Les marnes sont généralement argileuses et ont également un aspect schisteux à faible profondeur et deviennent noires denses à très denses (calcaires de Mano) et durcissent en profondeur. La figure III-3 représente coupe lithologique du site au droit du sondage.

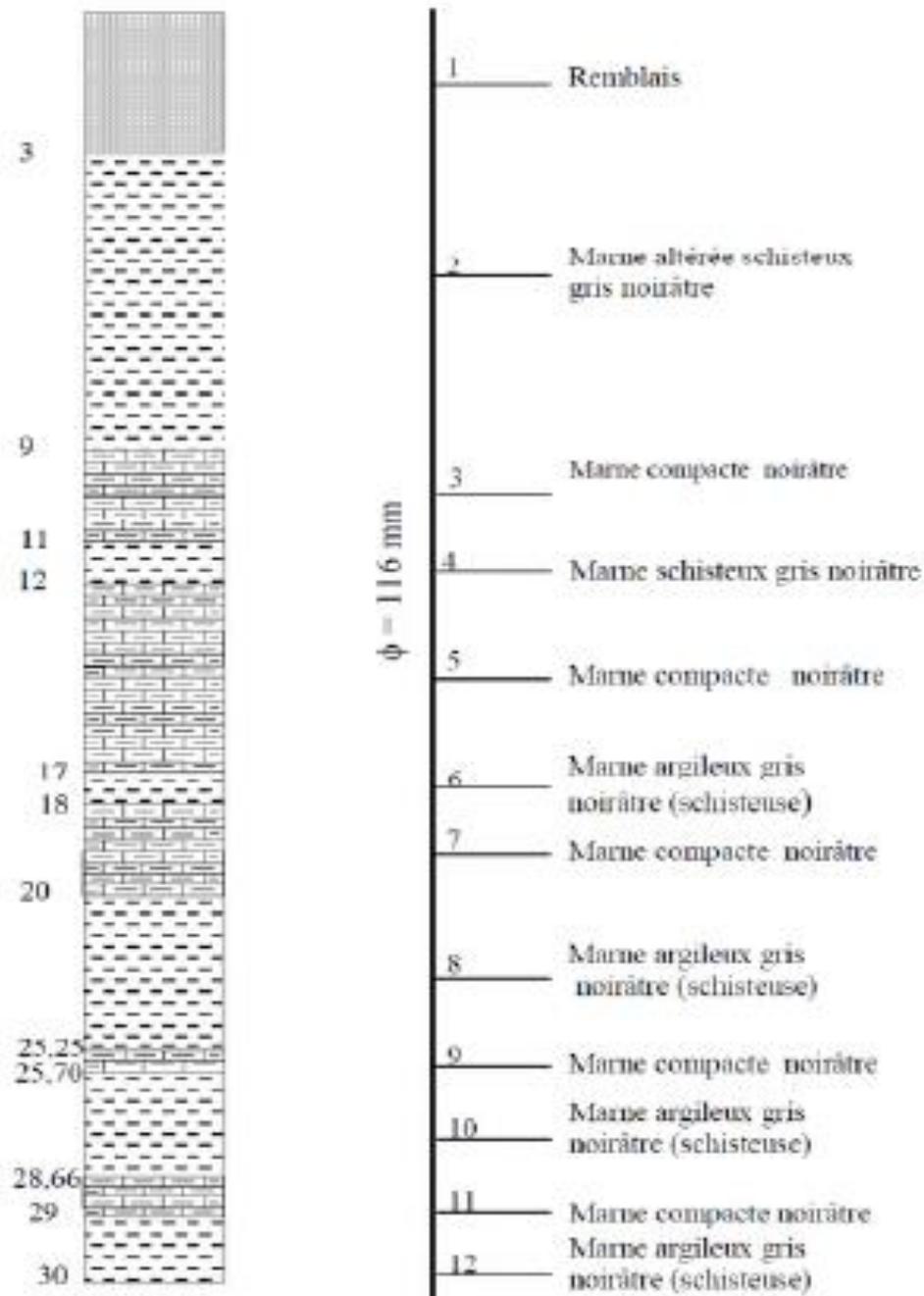


Figure III- 3:Coupe lithologique du site au droit du sondage.

L'ouvrage étudié est pont à haubans constitué de trois travées de 111 m, 280 m, d'une longueur totale de 502 m. il est répertorié comme un projet stratégique dans la province de Mila. Le trafic poids lourds vers le port de Djendjen est très important, il peut desservir la zone voisine. Le tablier est composé de deux allées en béton précontraintes d'une largeur totale 13,30 m (10,5m goudronnés plus deux passerelles de 1,05m et deux vires de 0,35m). il traverse la vallée qui fait partie du réservoir du barrage de béni Haroun lorsque le réservoir est plein, le niveau d'eau sera 25 mètres sous le tablier. La figure III-4 représente vue en élévation du pont à haubans sur l'Oued Dib à Mila.

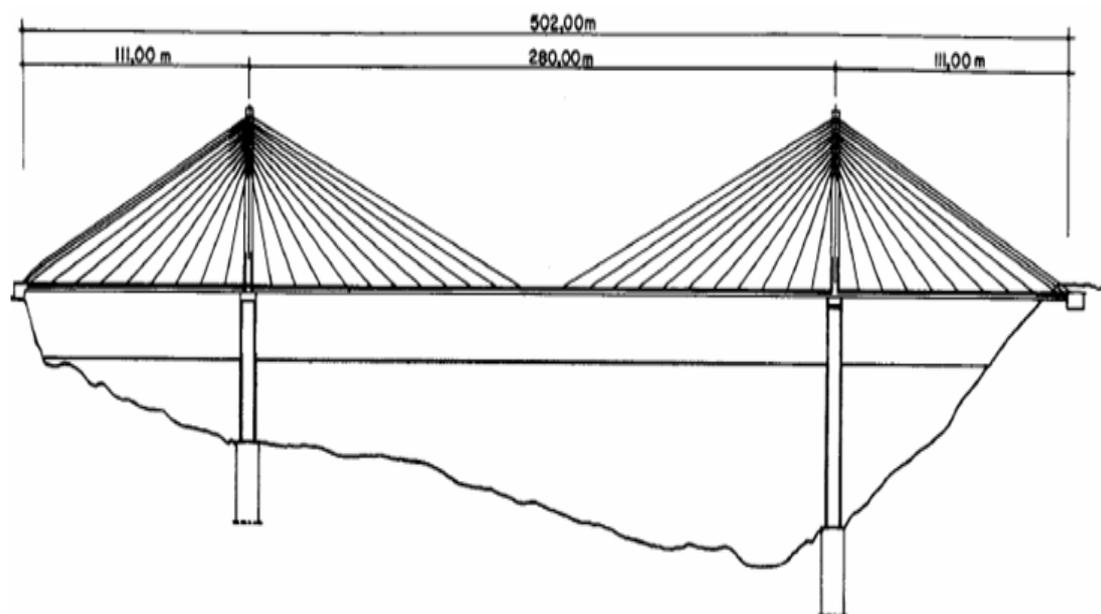


Figure III- 4: Vue en élévation du pont à haubans sur l'Oued Dib à Mila

Il est constitué d'une plaque de 20 cm d'épaisseur (la partie supérieure de la cale) renforcée par trois nervures de 2 m de haut et 0,22 m de large. Il est environ 60 m de haut au-dessus du tablier. La figure III-5 représente une section transversale du tablier du pont à haubans sur l'Oued Dib à Mila.

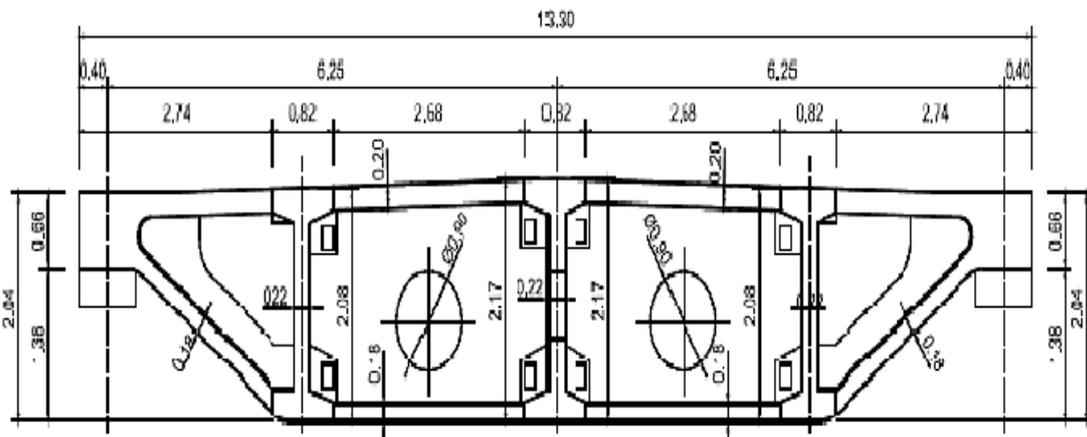


Figure III- 5: Section transversale du tablier du pont à haubans sur l'Oued Dib à Mila

Les pylônes sont en forme de H et chaque pylône se compose de deux puits cylindriques verticaux dans la partie inférieure (piles) sous le pont et le sommet se compose d'un puits rectangulaire vertical (mat) au-dessus du pont ces arbres sont soutenus près du sommet du mat et sous le pont. Les fondations sont constituées de puits reliés par une semelle.

Les haubans du tablier du pont sont des haubans transversaux semi éventail, avec un total de 88 câbles, 44 supportant la travée médiane et 22 travées latérales. Trois paires d'entretoises fixes relient chacun tête des pylônes à la culée adjacente. Les haubans sont constitués des barres d'aciers d'un diamètre de 7 mm et de sections varient entre 22,5 et 55,5 cm<sup>2</sup>.

Chaque pylône est constitué de deux mâts en béton armé e dimensions transversales variables .la première poutre inférieure reliée à la tête du fut et supporté par un élastomère laminé pour supporter le pont, et la deuxième poutre supérieure est reliée à la tête du mat.

Les figures III-6 et III-7 et III-8 représentent une coupe longitudinale et vue du pylône du pont de Mila.

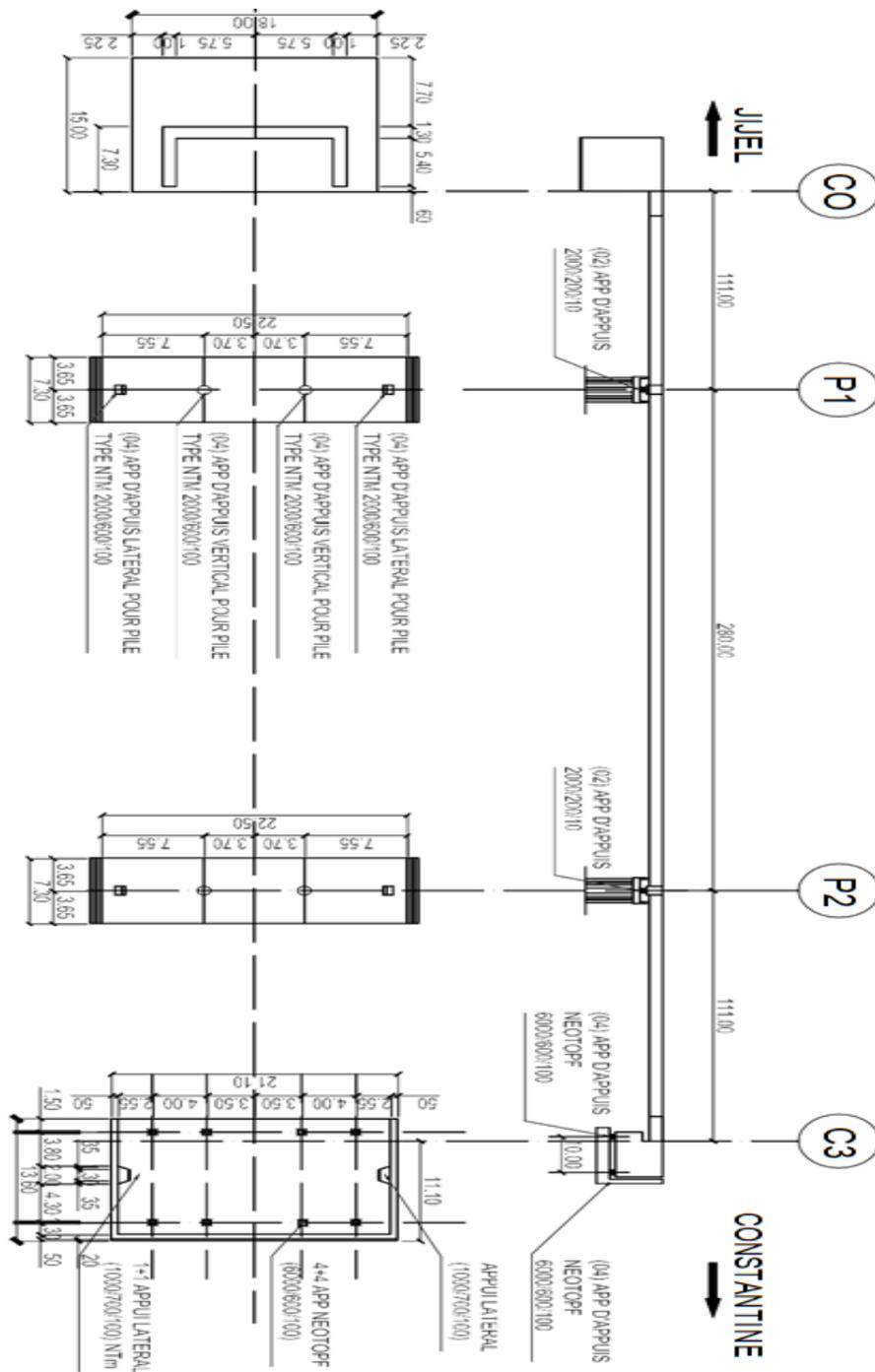


Figure III- 6: Coupe longitudinale et vue en plan du pont de Mila

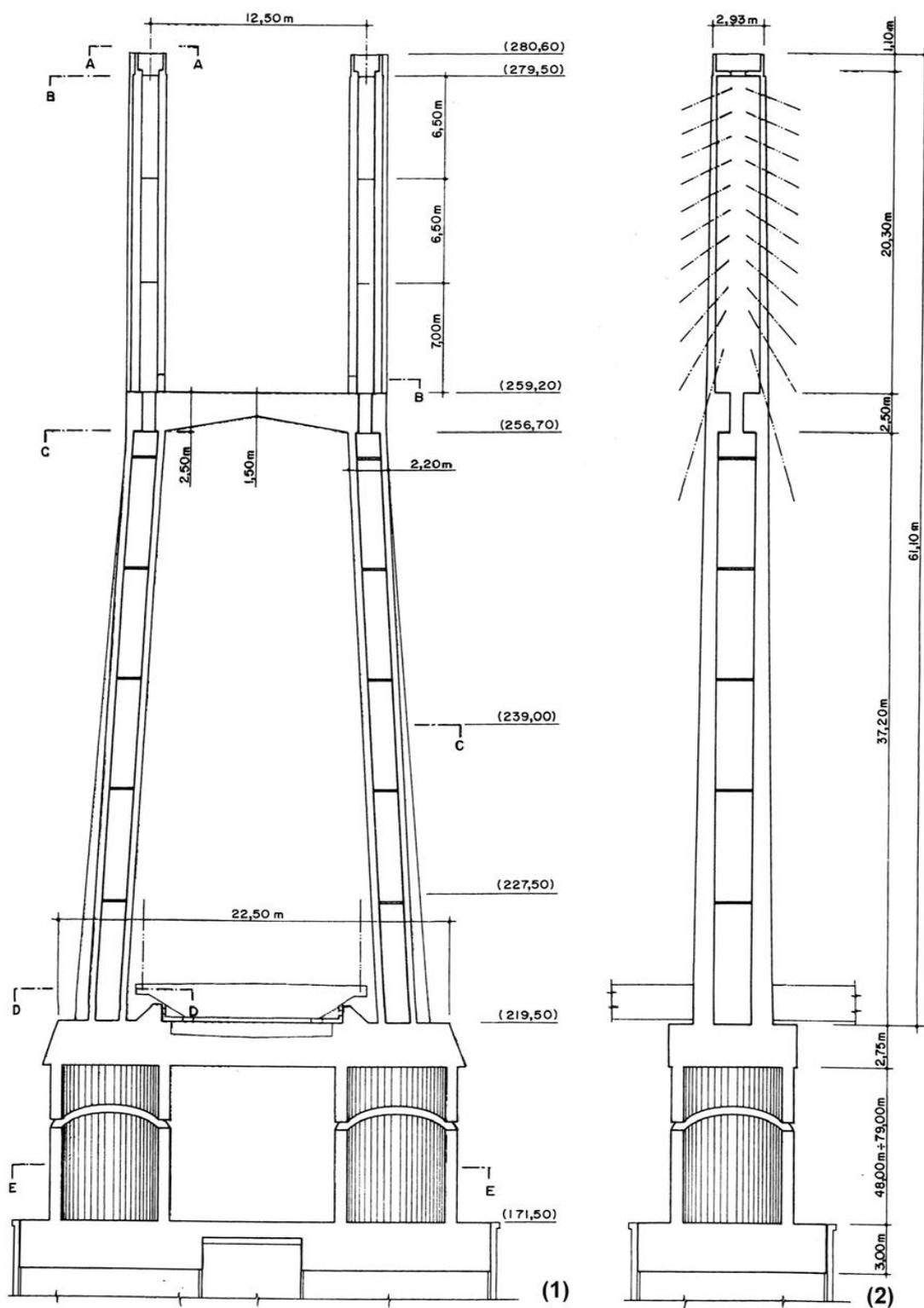


Figure III- 7: Vue en élévation du pylône du pont à haubans sur l'Oued Dib à Mila.

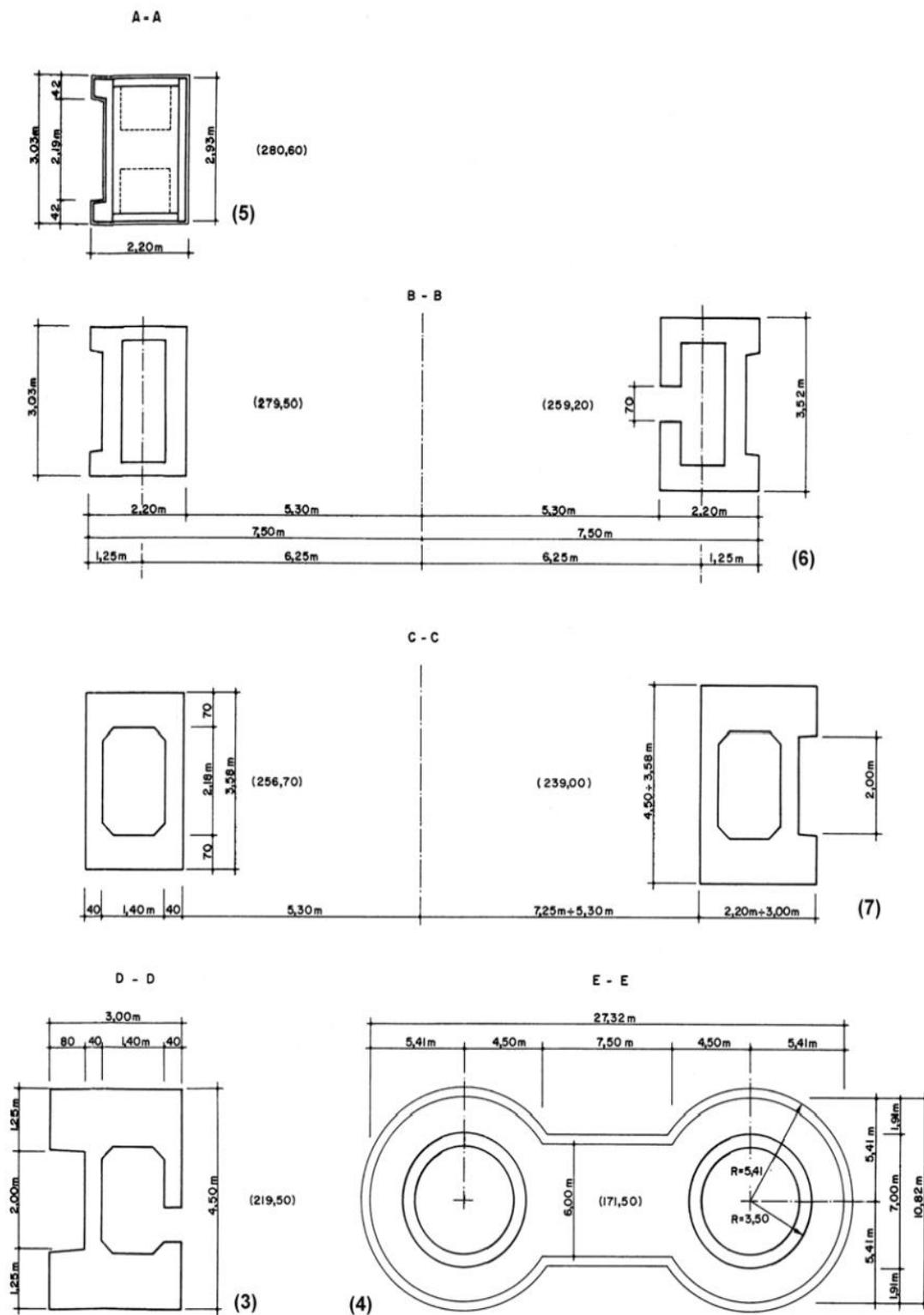


Figure III- 8: Coupes transversales au niveau du pylône du pont de Mila

- 3) Coupe horizontale à la base du mât : dimensions ;
- (4) Coupe horizontale des piles, composée de deux fûts circulaires creux : dimensions
- (5-6-7) Coupes horizontales des mâts : dimensions.

### 3. Modélisation de l'ouvrage :

La modélisation est une partie essentielle de l'étude des structures, dont le but est de développer un modèle qui décrit plus ou moins comment une structure se comportera dans différentes conditions.

Dans notre cas la structure du pont Mila a été modélisée par le logiciel Sap 2000 version 14.

Le tablier a été modélisé par 5584 éléments de type (poutre) (Shell élément).

Nombre total de degré de liberté 7140.

Les haubans par 88 éléments de type (câble).

Les appareils d'appui par 12 éléments de type (links).

Tension de câble entre 11,946 KN et 28,75 KN.

Le modèle comprend 1198 nœuds.

- ❖ **Le tablier** : modélisé par les éléments du type « **Shell** ».
- ❖ **Les piles et les mats**: modélisés par les éléments de type « **Frame** ».
- ❖ **Les haubans** : modélisés par les éléments du type « **Câble** ».
- ❖ **Les appareils d'appuis** : modélisé par les éléments du type « **Links** ».

Les pylônes sont supposés encastrer au niveau du sol faisant abstraction de toute

Interaction avec le sol et du fluide avec les piles. La liaison tablier / pylônes a été modélisée comme une liaison fixe.

Les figures III-9 et III-10 représentent quelques vues du pont.

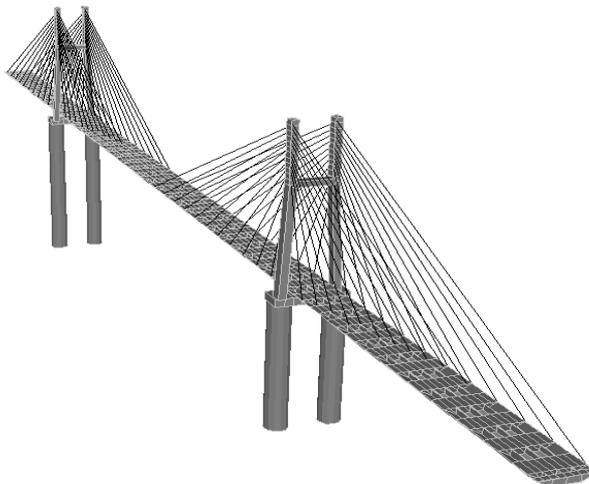


Figure III- 9: vue générale du pont

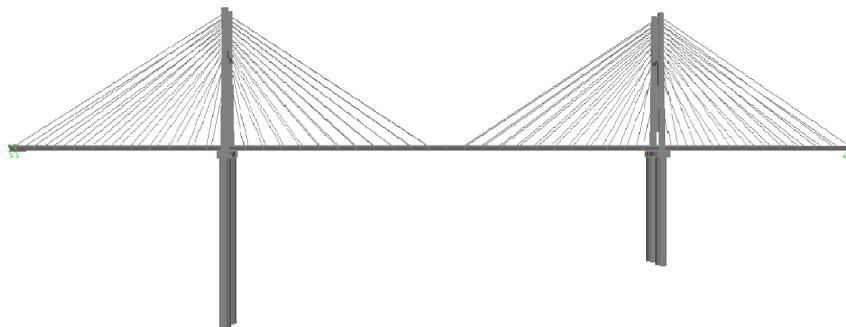


Figure III- 10: vue face du pont

Les caractéristiques mécaniques suivantes ont été utilisées :

**Le tablier :**

Les propriétés des matériaux du tablier ont été prises des données fournies par la Direction des Travaux Publics (DTP) de la wilaya de Mila.

Module d'élasticité du béton précontraint:  $E = 39 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$

Coefficient de Poisson :  $\nu = 0.2$

Poids volumique :  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$

**Les haubans :**

Les haubans ont été modélisés en éléments de type câble, avec une rigidité qui dépend seulement du module d'élasticité du câble  $E_c$ , de la section transversale  $A_{net}$ , et de la longueur  $L$  (i.e.  $E_c A_{net} / L$ ). la figure III-11 représente modélisation pratique des câbles.

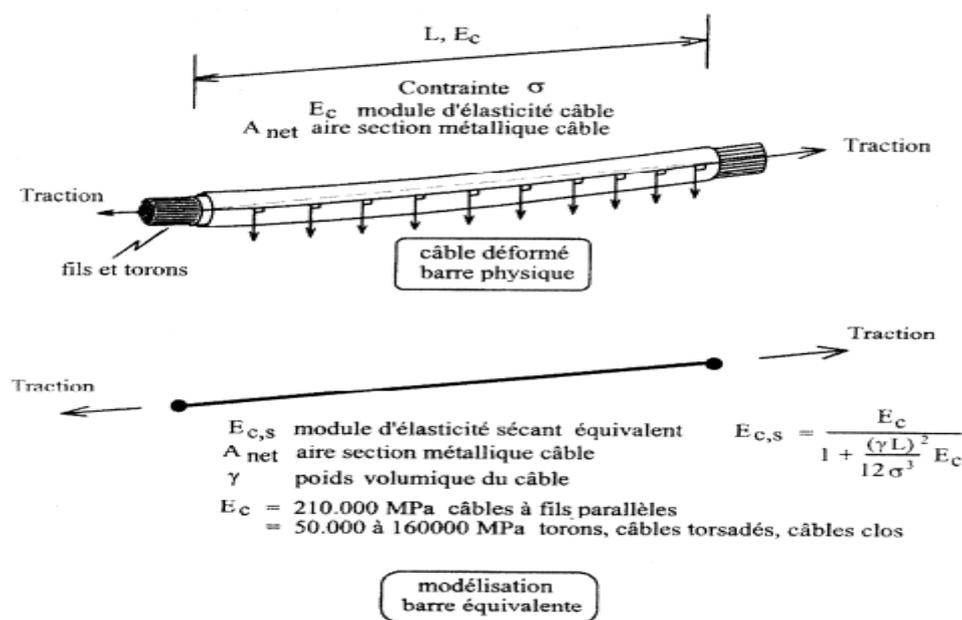


Figure III- 11:Modélisation pratique des câbles

Les caractéristiques mécaniques utilisées pour les haubans ont été fournies par la Direction des Travaux Publics (DTP) de la wilaya de Mila.

Module d'élasticité :  $E_c, s = 190 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$ .

Coefficient de Poisson :  $\nu = 0.3$

Poids volumique :  $\gamma = 80 \text{ kN/m}^3$

Le tableau III-1 représente les sections transversales des haubans et leurs distances de fixation :

Numéro de Hauban	Distance ancrage bas (m)	Distance ancrage haut (m)	Aire de la section de hauban (m <sup>2</sup> )
1	132	57	0.00550
2	120	55	0.00525
3	108	53	0.00495
4	96	51	0.00465
5	84	49	0.00435
6	72	47	0.00405
7	60	45	0.00360
8	48	43	0.00330
9	36	41	0.00300
10	24	39	0.00255
11	12	37	0.00225

Tableau III- 1:Sections et distances d'ancrages des haubans.

**Les pylônes (mats+pile) :**

Le module de Young, le poids volumique, et le coefficient de poisson des pylônes ont été pris comme suit :

$$E = 39 \times 10^6 \text{ KN/m}^2$$

$$\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$$

$$\nu = 0.2$$

**Conditions d'appuis :**

- Pieds de pylônes : encastrés dans le sol.
- Culée C1 (Côté Jijel) : appui fixe.
- Culée C2 (Côté Constantine) : appui mobile ( $U_x, U_y, R_z$ ) : bloqués, ( $U_z, R_x, R_y$ ) : libres.

**Le câble : mode de déformation et calcul :**

Le câble est un élément caténaire avec deux caractéristiques principales.

- ✓ Rigidité axiale uniquement.
- ✓ Non linéaire.

En forces axiales les éléments ont une rigidité axiale uniquement et aucune rigidité en flexion et ces deux forces hautement non linéaires dans l'objet ne dépendent de sa forme pour illustrer ces deux traits.

Si on étend le câble sur une distance on va remarquer qu'il y a un affaissement, bien qu'il y ait une différence relativement petite dans les longueurs non déformées il y a une différence significative dans les forces axiales.

Dans les câbles lorsqu'il soumit à leur propre poids, le câble dans le haut tendu plus que le câble inférieur.

Le câble est proche de l'horizontale, plus la force axiale doit être grande pour supporter le poids vertical car la forme de câble qui vient d'être endiguée à un impact énorme sur les forces du câble est important de déterminer avec une précision le drapé.

La tension aux deux extrémités est déférente en raison du fait que les extrémités ne sont pas aux mêmes élévations.

L'affaissement de câble dépend des caractéristiques du câble, cela montre à quel point la détermination de la forme correcte essentielle à la précision du modèle global pour réitérer.

Utilisation de câble haubané dans un objet, ces objets être soumise à une charge morte et a une charge de vent.

La résistance d'un objet haubané dépend aussi de la géométrie des câbles « par exemple les angles entre les câbles ».

La formulation de l'objet câble inclut des effets géométries non linéaires par conséquent les câbles du coté sous le vent sont moins chargés tandis que ceux plus proches de vent.

Le calcul des câbles implique généralement l'utilisation de formules mathématiques et de modèles de comportement des matériaux pour déterminer la déformation attendue d'un câble donné sous une charge spécifique. Les ingénieurs utilisent des méthodes telles que la méthode des nœuds, la méthode des éléments finis et d'autres techniques de calcul pour analyser et concevoir des câbles en fonction des exigences spécifiques du projet.

#### **4. L'analyse modèle :**

Nous avons exporté le modèle vers le logiciel **SAP2000 v14** pour analyser, et on à fait une étude de la variation des efforts tranchants et les forces axiales par rapport le pourcentage de la masse des câbles pour savoir où il est le problème.

Nous allons présenter quelques résultats dans certains points de l'ouvrage qui est fait par 88 simulations. Et a résumé cette étude par des hypothèses cela nous aidera à trouver le câble endommagé :

- ✓ Hypothèse 1 (tous les haubans).
- ✓ Hypothèse 2 (Les haubans de Pylônes centrale).
- ✓ Hypothèse 3 (Les haubans des deux culées de rive).
- ✓ Hypothèse 4 (Les haubans de culée Gauche).
- ✓ Hypothèse 5 (Les haubans de culée droite).
- ✓ Hypothèse 6 (Relâchement des câbles).

#### **5. Résultats du l'analyse :**

Pour obtenir ça on a présenté les réactions (les pylônes et culées) par des graphes qui contiennent des courbes comme le montrent les figures suivantes :

- **Hypothèse 1 (tous les haubans) :**

On a supposé que la masse des câbles varie par rapport les efforts exercés.

Les figures III-12 et III-13 représentent réaction d'appui pour tous les haubans.

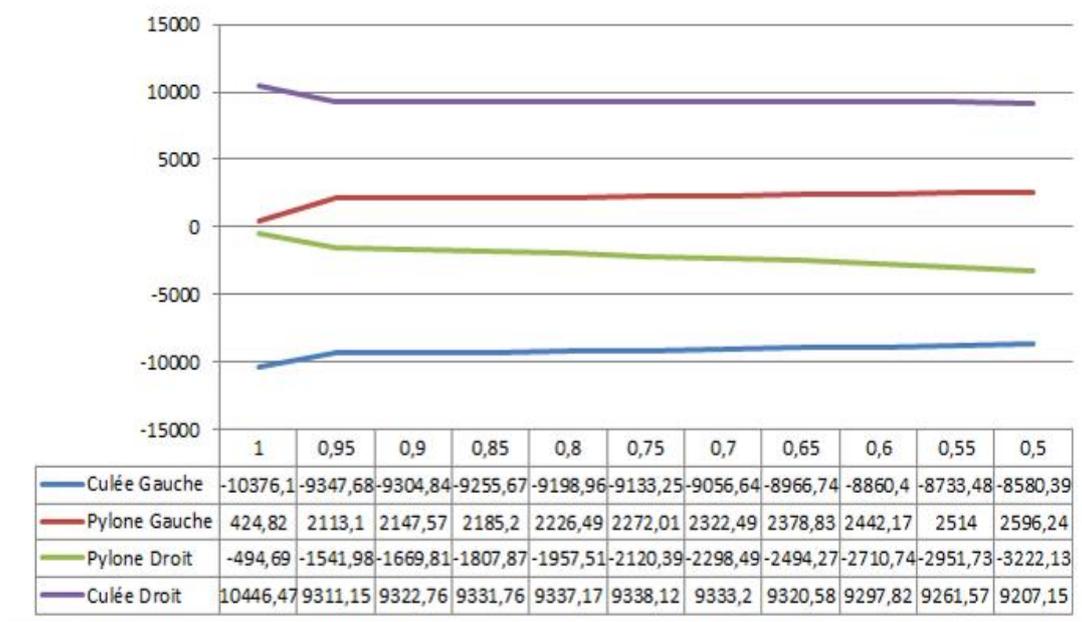


Figure III- 12: Réaction d'appui pour tous les haubans (shear 3-3 Vmax (kn))

On a constaté que les efforts diminuent (1% jusqu'à 0,95%) mais avec une manière petite pour le pylône droit et culé droit après ça les forces restent constantes de (0,95% jusqu'à 0,5%), par contre pour le culé gauche et pylône gauche ou les efforts augmentent de (1% à 0,95) puis elles restent constantes de (0,95% à 0,5%) donc dans ce cas les efforts tranchants n'ont pas un grand effet sur les appuis.

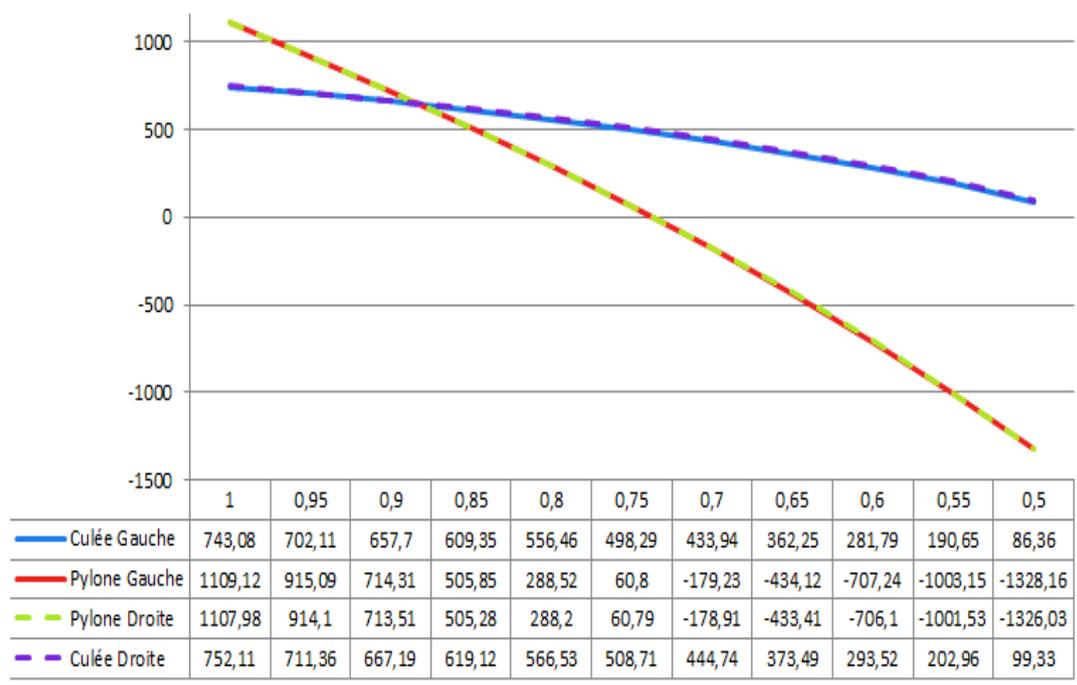


Figure III- 13: Réaction d'appui pour tous les haubans (Axial force N (kn))

On remarque que les forces diminuent avec une manière rapide et avec une valeur grande (de traction à la compression) pour les deux pylônes par contre pour les culés les efforts diminuent mais lentement avec une valeur petite, donc nous concluons que les efforts axiaux à un effet important surtout sur les deux pylônes.

- **Hypothèse 2 (Pylône centrale) :**

On a supposé que la masse des câbles varie juste pylône central.

Les figures III-13 et III-14 représentent réaction d'appui pour pylône centrale.

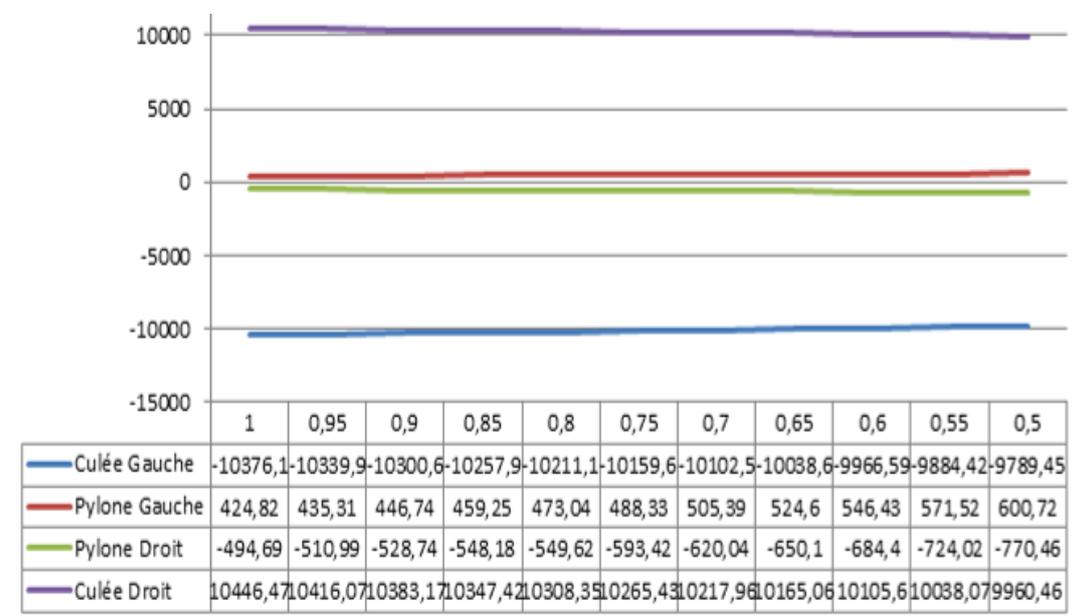


Figure III- 14: Réaction d'appui pour Pylône centrale (shear 3-3 Vmax (kn))

Les efforts tranchants sont presque constants sur tous les culés et les pylônes de 1% jusqu'à 0,95%. Donc elles n'ont pas un effet sur les appuis.

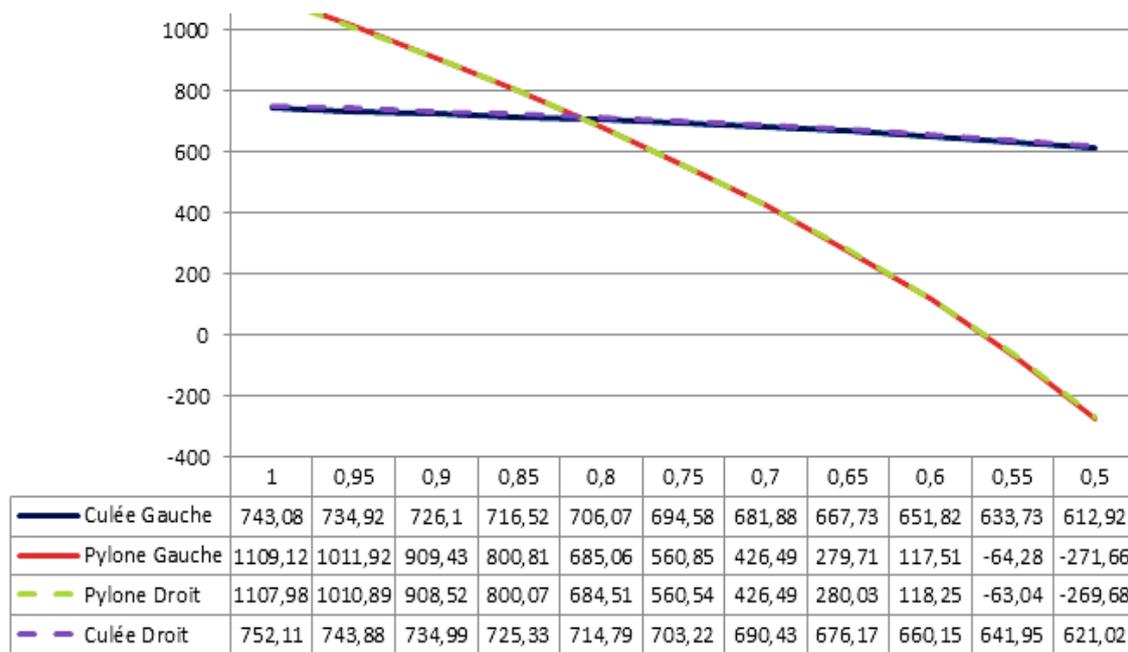


Figure III- 15: Réaction d'appui pour Pylône centrale (Axial force N (kn))

De (1% à 0,5%) : Les forces axiales diminuent à partir mais lentement pour les culées avec une valeur petite, par contre pour les pylônes ou les efforts axiaux diminuent (de traction à la compression) avec une manière rapide et grande, donc les efforts axiaux dans ce cas (travée centrale) a un effet important sur les pylônes.

• **Hypothèse 3 (les deux culées de rive) :**

On a supposé que la masse des câbles varie juste les deux culées de rive.

Les figures III-16 et III-17 représentent réaction d'appui pour les deux culées de rive.

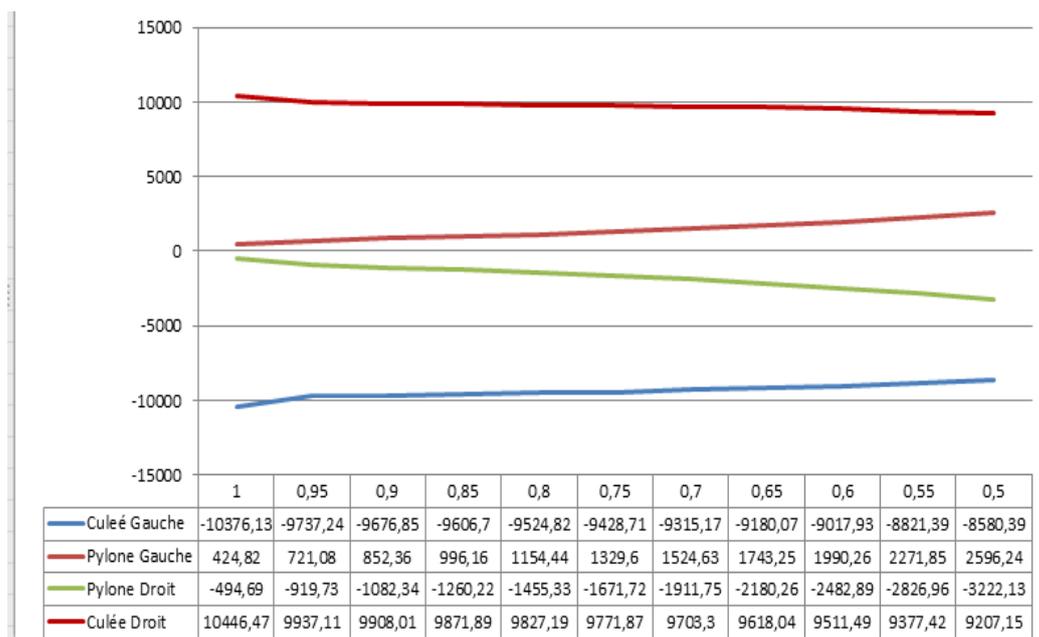


Figure III- 16: Réaction d'appui pour Les deux culée (shear 3-3 Vmax (kn))

Ces efforts toujours positifs pour pylône gauche et culé droit par contre le pylône droit et la culée gauche sont toujours comprimés, donc il est n'y a pas une variation importante des efforts qui affectera sur les appuis.

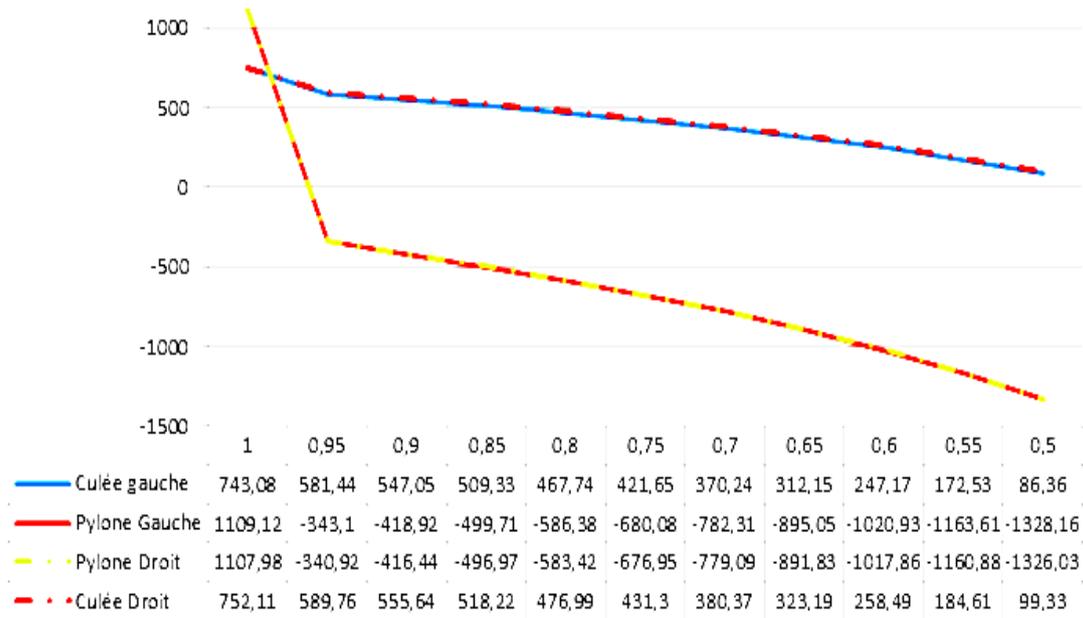


Figure III- 17: Réaction d'appui pour Les deux culées (axial force N (kn))

Pour les deux pylônes :

-1% à 0,95% les forces diminuent avec une manière rapide et une valeur importante (de traction à compression), après ça elles continuent de diminuer avec des valeurs petites que les premières jusqu'à 0,5%

Pour les culés : les forces diminuent mais elles restent toujours positives (traction).

Donc ont conclu dans ce cas que les forces axiales ont un rôle pour que les appuis des deux pylônes soient comprimés.

• **Hypothèse 4 (Culée Gauche) :**

On a supposé que la masse des câbles varie juste culée gauche.

Les figures III-18 et III-19 représentent réaction d'appui pour culée gauche.

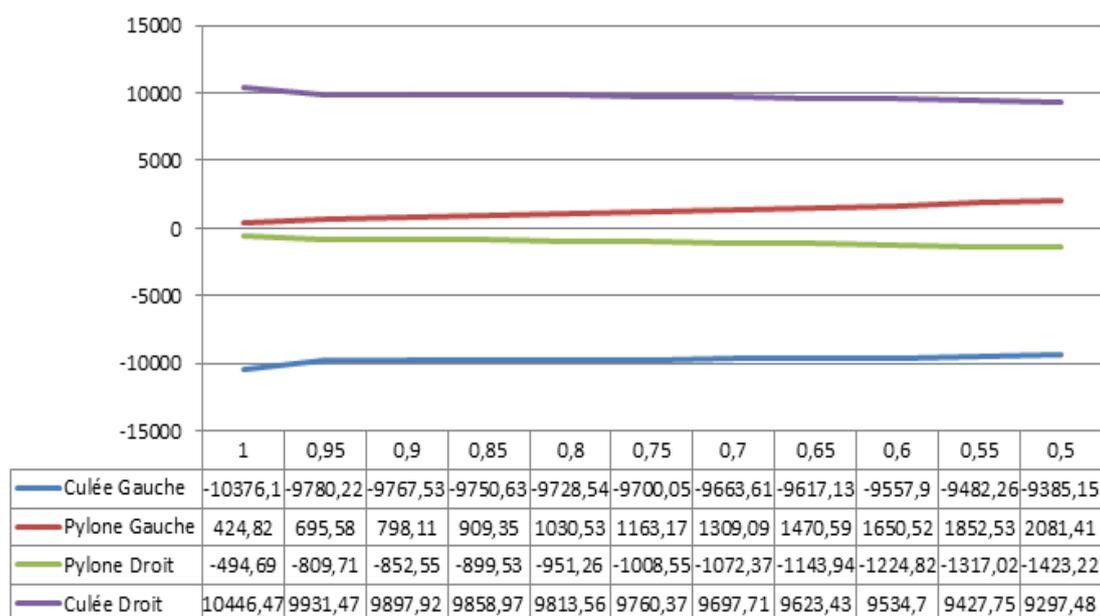


Figure III- 18: Réaction d'appui pour culée gauche (shear 3-3 Vmax (kn))

On observe pour ce cas que les valeurs des efforts tranchants restent presque constantes pour tous les appuis, et on en déduit que les efforts tranchants n'ont pas un effet important sur les appuis.

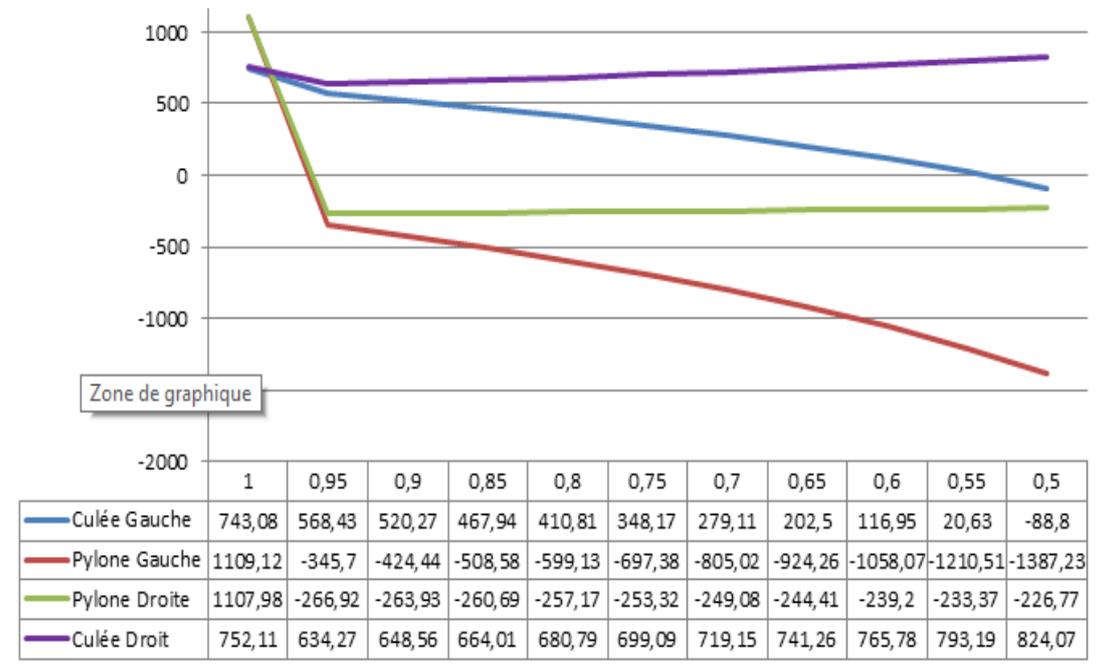


Figure III- 19: Réaction d'appui pour culée gauche (axial force N (kn))

Cas 1 pour les pylônes :

1% jusqu'à 0,95% : les appuis sont réagis (pour les pylônes) de traction à la compression, après ça de 0,95% à 0,5% les valeurs des forces restent constantes pour pylône droit et ça continue de diminuer pour le pylône gauche.

Cas 2 pour les culés :

1% à 0,95% les forces diminuent pour les deux culés

0,95% à 0,5% les valeurs des forces seront augmentées pour la culée droit toujours reste en traction par contre pour la culée gauche qui prendra une valeur négative (compression) en 0,5%.

- **Hypothèse 5 (culée droite) :**

On a supposé que la masse des câbles varie juste culée droit.

Les figures III-20 et III-21 représentent réaction d'appui pour culée droite.

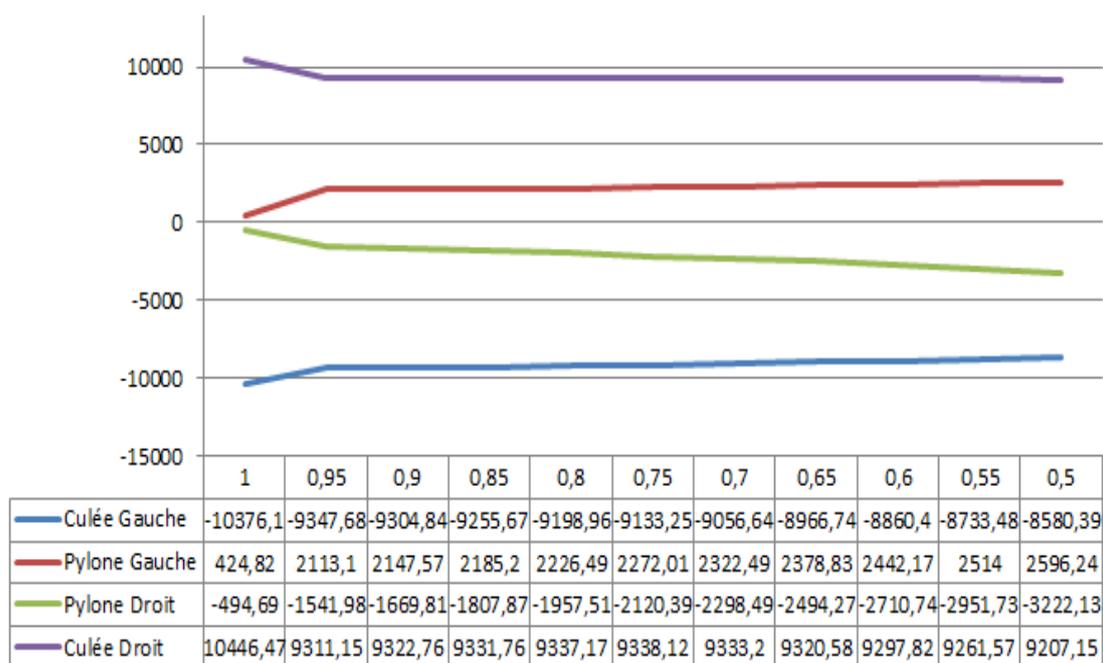


Figure III- 20: Réaction d'appui pour culée droite (shear 3-3 Vmax (kn))

On observe que les valeurs des efforts tranchants restent toujours positives pour la culée gauche et pylône gauche, par contre pour la culée droit et pylônes qui ont des valeurs négatives.

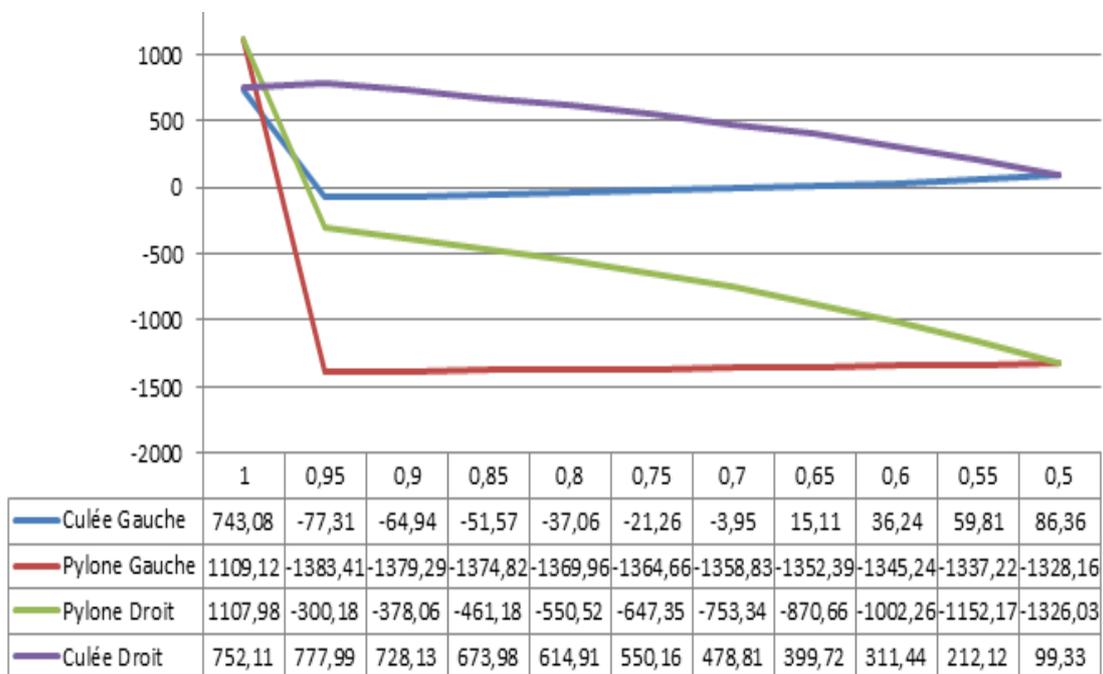


Figure III- 21: Réaction d'appui pour culée droite (axial force N (kn))

Pour la culée droite à partir de 0, 95 la force diminue lentement, pour la culée gauche les forces augmentent jusqu'à 0,5 et doivent être prises la même valeur de la culée droite.

Les pylônes : de 1 jusqu'à 0,95 les forces diminuent, et de 0,95 jusqu'à 0,5 la force presque fixe pour pylône gauche contrairement que le pylône droit qui continue de décliner.

• **Hypothèse 6 (Relâchement des câbles) :**

Dans ce on n'a supposé que chaque fois les câbles plus proches des pylônes relâchés les forces exercées sur les appareils d'appuis augmente

✓ **Freyssinet**

$\varnothing=880\text{mm}$

$T_e=309\text{mm}$

$N_{rd}=8713\text{Kn}$

La figures III-22 représente la variation de  $N_{app}$  par rapport le nombre des câbles relâchés

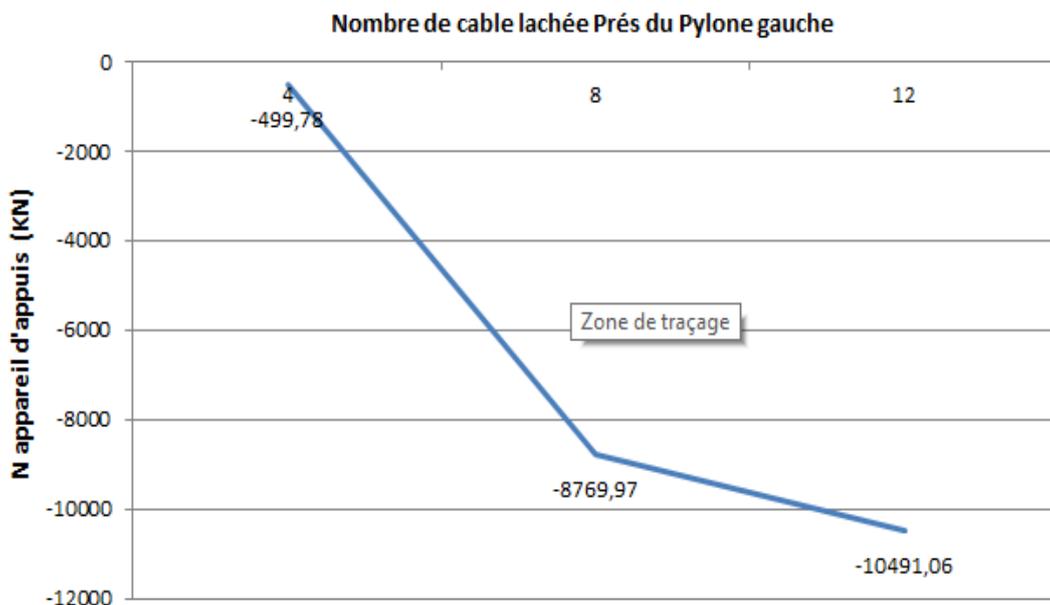


Figure III- 22: la variation de  $N_{app}$  par rapport le nombre des câbles relâchés

On remarque chaque fois que le nombre de câbles les plus proches de pylônes retirés ou relâchés augmente la force de la compression exerce sur appareil d'appui augmente, cette force qui conduit à l'écrasement des appareils d'appuis.

Autres résultats :

Flèche de travée

Pt objet : 1094

Pt Elm :1094

U1=-0,0005

U2=-0,011

U3=-0,4469

R1=-0,00396

R2=-0,00105

R3=0,0057

Pylône droite

Pt objet : 524

Pt Elm :524

U1=0,0052

U2=0,0571

U3=-0,0176

R1=-0,00166

R2=0,0003

R3=0,0000007193

Flèche de travée :

Pt objet : -486

Pt Elm :486

U1=0,0048

U2=-0,0911

U3=-0,0178

R1=-0,00192

R2=0,00027

R3=-0,0000003952

On a remarqué que le déplacement est équilibré entre les deux pylônes dont les haubans, attachés au tablier, sont soumis à la traction.

## 6. Les solutions et les réparations endommagements des ponts à haubans :

### 6.1. Pour les câbles :

Voici une liste plus détaillée des solutions et réparations possibles pour les pathologies des câbles dans les ponts à haubans :

- **Remplacement complet des câbles** : Si les câbles sont gravement endommagés ou présentent des défauts structurels majeurs, il peut être nécessaire de les remplacer entièrement. Cela implique le retrait des anciens câbles et l'installation de nouveaux câbles conformes aux spécifications requises.
- **Remplacement partiel des câbles** : Si les dommages ne concernent qu'une partie des câbles, il peut être possible de ne remplacer que les sections endommagées plutôt que l'ensemble des câbles. Cela peut permettre de réduire les coûts et les perturbations causées par le remplacement complet.
- **Réparation par greffage de fils** : Lorsque les dommages sont localisés et limités, il est possible de procéder à des réparations en greffant de nouveaux fils dans les zones endommagées. Cette technique consiste à découper la zone affectée, à retirer les fils défectueux et à insérer de nouveaux fils en les soudant ou en les ligaturant aux fils existants.
- **Réparation par enroulement de fils** : Pour les dommages mineurs tels que des fils individuels cassés ou corrodés, il est possible d'enrouler de nouveaux fils autour des fils existants pour renforcer la structure. Cette technique est souvent utilisée pour les dommages de surface et nécessite une expertise et des compétences spécialisées.
- **Injection de résine** : L'injection de résine est une méthode de réparation qui consiste à injecter une résine spéciale à l'intérieur des câbles pour renforcer leur structure. Cette technique peut être utilisée pour les câbles présentant des

fissures ou des vides internes, améliorant ainsi leur résistance et leur durabilité.

- **Protection anticorrosion** : La corrosion est l'un des problèmes les plus courants dans les ponts à haubans. Il est important d'appliquer des revêtements anticorrosion appropriés sur les câbles pour les protéger contre les effets néfastes de l'environnement. Cela peut inclure l'application de peintures anticorrosion, l'utilisation de revêtements protecteurs ou la mise en place de systèmes de protection cathodique.
- **Renforcement structurel** : Si les câbles ont subi une fatigue excessive ou ont été soumis à des charges supérieures à leur capacité nominale, il peut être nécessaire de renforcer structurellement les câbles. Cela peut être réalisé en ajoutant des câbles supplémentaires pour répartir la charge, en utilisant des câbles précontraints ou en renforçant les connexions avec les pylônes et le tablier du pont.
- **Surveillance continue** : Mettez en place un système de surveillance continue des câbles pour détecter les signes de dégradation ou de dommages. Cela peut comprendre l'utilisation de capteurs de contrainte, de détection de vibrations, de déformation ou d'autres paramètres pertinents. Une surveillance régulière permet une détection précoce des problèmes et facilite les interventions rapides.

### **6.2. Pour les appareils d'appuis :**

Les pathologies des appareils d'appuis dans les ponts à haubans peuvent être causées par différents facteurs tels que l'usure, la dégradation des matériaux, la surcharge, les mouvements différentiels, les défauts de conception ou de construction, et d'autres conditions environnementales. Voici quelques solutions et réparations possibles pour traiter ces pathologies : la figure III-23 représente la fonction d'un appareil d'appui.

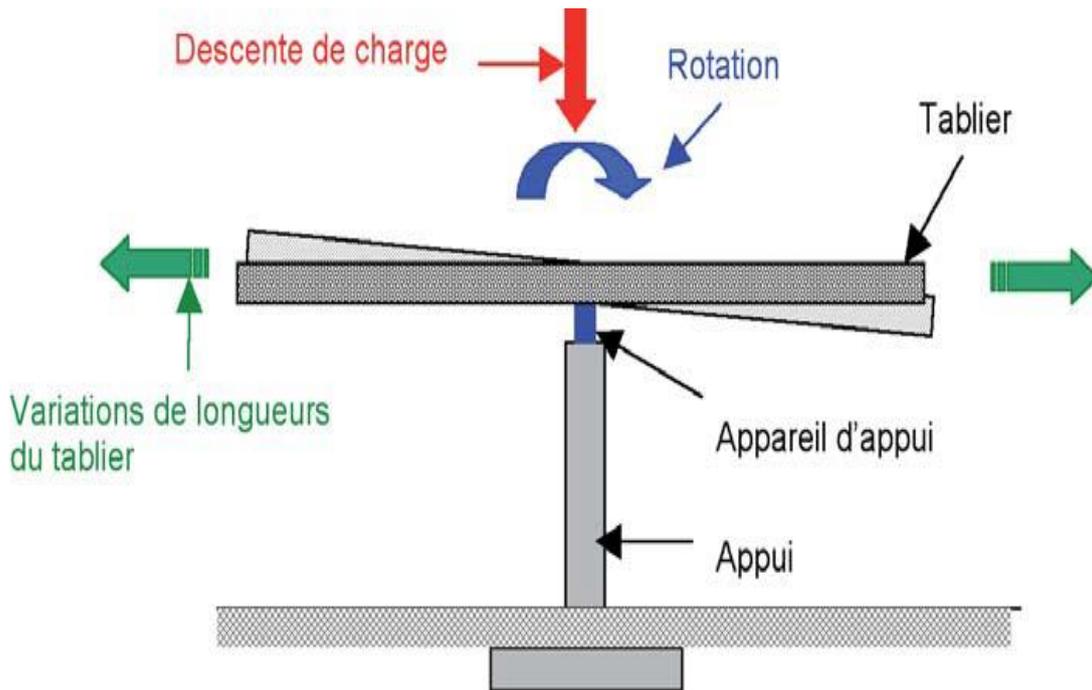


Figure III- 23:Fonction d'un appareil d'appui.

- **Remplacement des appareils d'appuis** : Si les appareils d'appuis sont gravement endommagés ou présentent des défauts structurels majeurs, il peut être nécessaire de les remplacer entièrement. Cela implique le retrait des anciens appareils d'appuis et l'installation de nouveaux appareils d'appuis conformes aux spécifications requises.
- **Réparation des appareils d'appuis** : Dans certains cas, il est possible de réparer les appareils d'appuis endommagés. Cela peut impliquer des travaux de soudure, de remplacement de pièces défectueuses, de renforcement structural, ou d'autres techniques de réparation spécifiques. Les réparations doivent être effectuées par des professionnels qualifiés et conformément aux normes de sécurité.
- **Renforcement des appareils d'appuis** : Si les appareils d'appuis sont affaiblis ou insuffisamment résistants, il peut être nécessaire de renforcer leur structure. Cela peut être fait en ajoutant des plaques d'acier supplémentaires, en utilisant des systèmes de renforcement internes tels que des câbles précontraints, ou en renforçant les connexions avec les éléments adjacents de la structure du pont.
- **Lubrification et entretien** : Les appareils d'appuis doivent être régulièrement lubrifiés pour assurer leur bon fonctionnement et réduire l'usure. Un

programme d'entretien préventif doit être mis en place pour surveiller et entretenir les appareils d'appuis, en tenant compte des conditions environnementales et des charges appliquées.

- **Surveillance continue** : Mettez en place un système de surveillance continue des appareils d'appuis pour détecter les signes de dégradation ou de dommages. Cela peut inclure l'utilisation de capteurs de déformation, de surveillance des mouvements différentiels, de contrôle de la pression des fluides de friction, ou d'autres techniques de surveillance appropriées. Une surveillance régulière permet une détection précoce des problèmes et facilite les interventions rapides.
- **Amélioration du drainage** : Si les appareils d'appuis sont exposés à des conditions environnementales défavorables, tels que l'accumulation d'eau ou l'exposition à des agents corrosifs, il est important d'améliorer le drainage autour des appareils d'appuis. Cela peut impliquer l'installation de systèmes de drainage appropriés pour éliminer l'eau et prévenir la corrosion.
- **Évaluation structurelle et calculs de charges** : Il est recommandé de procéder à des évaluations régulières de la structure du pont, en tenant compte des charges appliquées sur les appareils d'appuis. Cela permet de s'assurer que les appareils d'appuis sont conçus et dimensionnés correctement pour résister aux charges prévues et aux conditions environnementales.

## **7. Conclusion :**

La modélisation avec SAP2000 v 14 a été un outil précieux pour analyser la pathologie du pont à haubans Oued Dib à Mila. Les recommandations formulées dans le cadre de cette étude fournissent des orientations claires pour la réparation, le renforcement et la maintenance continue de l'ouvrage. Il est essentiel que ces recommandations soient mises en œuvre par les autorités compétentes afin d'assurer la sécurité des usagers et la durabilité à long terme du pont à haubans Oued Dib à Mila.

Depuis la modélisation et les résultats qui ont été trouvés, on remarque que les efforts tranchants et les efforts de traction n'ont pas un grand effet sur les appareils d'appuis.

Il montre nous que les appareils d'appuis sont écrasés par les efforts de compression causés par le relâchement des câbles les plus proches de pylône.

Il est possible que les efforts de compression ne soient pas correctement répartis, ce qui peut entraîner des déformations excessives ou des dommages structurels. Il est

donc essentiel de surveiller et d'entretenir régulièrement ces appareils afin de s'assurer de leur bon fonctionnement et de leur capacité à supporter les charges prévues.

# Conclusion Générale

L'étude des ponts dépend des facteurs physiques et fonctionnels liés à la construction. Les outils informatiques nous apportent des solutions pour sélectionner et étudier des modèles adaptés de ponts réels.

Dans le travail conclu avec cette étude, nous avons effectué le plus d'analyses possible sur les ponts à haubans situés à l'EST de L'Algérie dans la province de Mila. Pour cela, une méthode de travail a été suivie, qui était un cheminement logique défini par notre encadreur pour appréhender le problème (Etude du Pathologie d'un pont haubans : cas du pont de oued Dib A Mila, utilisation d'outils informatiques, en l'occurrence le logiciel SAP2000, analyse dynamique, ...) et être en mesure de répondre par des solutions adaptées tout en mettant en pratique les connaissances acquises dans nos cursus universitaires.

Nous avons fait des généralités sur les ponts, leur analyse, etc..., Nous avons aussi fait une étude sur notre pont ainsi que les différentes pathologies. Il s'agit du pont à haubans reliant les deux Wilaya: (Jijel et Mila) qui a été construit dans la fin des années 90. En ayant quelques informations sur la géométrie, les matériaux, nous avons essayé d'analyser cette structure dans une première partie et de fournir tous les résultats pour une suite éventuelle d'analyse et de vérification.

L'absence d'un programme d'entretien régulier et la négligence dans la surveillance de l'état du pont ont conduit à une détérioration accélérée de sa structure.

À travers des résultats de cette étude nous avons conclu que les appareils d'appui peut-être sont écrasés à cause des forces de compression résultant de l'achement de l'un des câbles.

L'achèvement d'un câble sur un pont à haubans a un impact significatif sur sa stabilité et sa résistance structurelle. Cela peut entraîner des déformations excessives, une redistribution des charges, des déséquilibres structurels et une augmentation des contraintes sur les autres éléments du pont.

L'écrasement de l'appareil d'appui perturbe la stabilité globale du pont à haubans et affecte la répartition des charges.

Ce problème compromet la durabilité à long terme du pont à haubans et peut représenter un risque pour la sécurité des utilisateurs. Il est essentiel de remédier à ce problème pour éviter des défaillances structurelles graves et garantir la sécurité des personnes qui empruntent le pont.

Sur la base des conclusions de l'étude, il est impératif de prendre des mesures correctives pour réparer ou remplacer le câble défaillant ou l'appareil d'appui écrasé. Cela peut nécessiter des travaux de réhabilitation spécifiques, tels que le remplacement du câble or l'appareil d'appui, le renforcement des ancrages ou d'autres

## **Conclusion General**

---

actions visant à rétablir la stabilité et la sécurité du pont, aussi faire une surveillance à chaque période pour confirmer notre opinion qui a été discuté dans ce projet fin étude.

Il est recommandé de mettre en place un programme d'entretien préventif pour assurer la durabilité et la sécurité du pont à haubans à long terme. Cela impliquerait des inspections régulières, des réparations opportunes, la mise en place de systèmes de surveillance et la sensibilisation des autorités locales et des utilisateurs à l'importance de l'entretien.

## Bibliographie

- AHOUANSO, S. (2010). *conception et etude d'un pont suspendu sur la lagune de porto-novo*. thèse , these d'ingenieur de conception, Benin.
- BOUMECHRA, N. (2011). Control des constructions métalliques. Tlemcen, génie civil, algerie.
- Brevet, P., Olivié, F., Guilbaud, J. P., & Raharinaivo, A. (2004). Microstructure et propriété mécanique des aciers pour cable, I.plasticité et endommagement. (249), 35-48. Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées.
- Brice, C. (s.d.). *guide beton*. Consulté le mars 07, 2023, sur [guidebeton.com](http://www.guidebeton.com):  
<http://www.guidebeton.com/pathologies-beton>
- Calgaro, J.-A., & Roger, L. (2010, Mai 2010). Pathologies et évaluation des ponts existants- Principaux de sordres. Réf. C.7402, Techniques de l'ingénieur, france.
- Costello, G. A. (1990). Théorie of wirre rope,. Springer Verlag.
- Dienga Lamine, V. P. (2009). Mecanique & Industries. *Mécanismes de dégradation et moyens de protection des cables*, 10, 33–42. france.
- Gimsing, N. (1983). cable supported Bridges. Weley,New York.
- Hamlaoui, S. (2012.). *Maintenance, entretien et réparation des ponts*. Blscra: Université Mohamed Khider.
- Kamel, B. (2015, octobre Lundi 5 octobre). PONT DE OUED DIB (MILA) - L'ouvrage est bel et bien penché. *El Watan*.
- KIBBOUA, A. (2006, mai 14). *ANALYSE DYNAMIQUE SOUS VIBRATIONS AMBIANTES D'UN PONT A HAUBANS SUR L'OUED DIB A MILA*. these, these de magister.
- L, FAH-CHEN W et DUAN. (2000). Bridge Engineering Handbook, Cable Stayed. Washington D.C: CRC Press.
- Leonhardt, A. e. (2000, avril 19). Consulté le février 10, 2023, sur [wikipedia](https://fr.wikipedia.org/wiki/Pont_%C3%A0_haubans):  
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Pont\\_%C3%A0\\_haubans](https://fr.wikipedia.org/wiki/Pont_%C3%A0_haubans)
- Ndoye, Cheikh Ameth Tidiane. (2004). Analyse structurale et predimensionnement d'un pont Haubane. 103, 50-51. Dakar, SENEGAL.
- Nguyen, X. H. (1994). Sur une modélisation du comportement mécanique d'un cable soumis à des sollicitations combinées de tration et de torsion, Thèse de doctorat,. Grenoble: Université Joseph Fourier.
- Purwar. (1975). Neurohistological and histochemical observations on the lung of Rattus rattus rufescens (Indian black rat). 93(3), 321-327.
- SETRA. (2001, novembre). *Pont hauban Recommandations de la commission interministérielle de la précontrainte* (Vol. 190). Bagneux, France.

Sétra. (2008, septembre). Surveillance et entretien des ouvrages d'art. 46, 15. Bagneux Cedex, France.

Walton, J. M. (1996). Developments in steel cables, *J. Constructional Steel Res.* 39, 3-29.

wilson, J., & Liu, T. (1991). Ambient vibration measurements on a cable-stayed bridge, *Earthquake eng. struct.dyn.* 55(0), 103-111.