

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen
Faculté de Technologie
Département de Génie Civil



Mémoire pour l'Obtention du Diplôme
De Master en Génie Civil
Spécialité : Construction Métallique

Thème

:

**ETUDE DU RENFORCEMENT D'UN PONT METALLIQUE
CAS DU PONT BIAIS 10M A OULED MIMOUN**

Soutenu en Juin 2019 par :

Mr. BEKKAI Nabil

Mr. BENAMEUR Nasreddine

Devant le Jury composé de :

Dr SAIL Latefa

Mr IGLOULI Sid Ali

Pr BOUMECHRA Nadir

Président

Examineur

Encadrant

Année universitaire : 2018-2019

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail spécialement à :
Ceux qui m'ont amené au monde, mes chers parents,
source d'amour, de tendresse et de soutien.
Mes très chers frères : Redha, Chokri et Sid Ali
Ma petite sœur : Amina kawther
Toute ma famille ; Tantes, oncles, cousines et cousins,
A toute la famille Benameur
Mes adorables amis
A mon binôme Nabil et toute sa famille
A toutes les personnes qui me connaissent sans oublier
la promotion Master 2018/2019.

Benameur Nasreddine

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail spécialement à :
Ceux qui m'ont amené au monde, mes chers parents,
source d'amour, de tendresse et de soutien.
Mes très chers frères : Moncef, Djamel et Anes
Ma sœur : Sihem
Toute ma famille ; Tantes, oncles, cousines et cousins,
A toute la famille Bekkai
Mes adorables amis
A mon binôme Nasreddine et toute sa famille
A toutes les personnes qui me connaissent sans oublier
la promotion Master 2018/2019.

Bekkai Nabil

Remerciements

Nous tournons nos premières pensées vers Dieu, le tout puissant, le miséricordieux que nous remercions pour nous avoir donné le courage et la force d'avoir pu concrétiser ce travail.

Nous exprimons nos remerciements à Madame Sail Latefa pour nous avoir fait l'honneur de présider cette soutenance.

Nous tenons également à remercier Monsieur Iglouli Sid Ali pour l'intérêt qu'il a manifesté à l'égard de ce travail et d'avoir accepté de le juger en qualité d'examineur.

C'est avec un grand plaisir que nous adressons nos sincères remerciements à notre encadrant, Prof. Nadir Boumechra, pour avoir largement contribué à notre formation en nous donnant l'occasion de profiter de son savoir et grande expérience et nous avoir fait partager le fruit de ses connaissances tout au long de notre travail. Nous le remercions particulièrement pour ses remarques pertinentes qui nous ont permis de progresser ainsi que pour ses précieux conseils et sages orientations pour mener à bien ce projet. Nous lui exprimons ici notre profonde gratitude.

Nous réservons une pensée spéciale à tous les enseignants du département de Génie Civil de la faculté de Tlemcen qui ont su nous dispenser une formation didactique et appréciable durant tout notre cursus.

Nous ne terminerons pas sans avoir exprimé nos sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin, chacun à sa manière, à la réalisation de ce projet.

Résumé :

Les ponts ferroviaires datant du 19ème siècle sont devenue un patrimoine ferroviaire national. Mais pour leurs préservations, une étude est nécessaire.

Notre projet consiste de faire une évaluation de résistance d'un pont métallique ferroviaire a treillis construit a 1889 a OULED MIMOUN. Wilaya de Tlemcen, Le projet porte sur plusieurs partie, une partie d'historique des chemins de fer algériens et des généralités sur la typologie des ponts, ainsi que des exemple de pont métallique ferroviaire du 19eme siècle a travers le monde, une autre partie d'expertise du pont, la troisième partie sera consacré a la détermination de la résistance du pont, on clôtura notre projet par un programme de renforcement du pont.

Mots clés : Ponts métalliques, résistance, ferroviaire, renforcement.

ملخص:

جسور السكك الحديدية التي تعود الى القرن 19 اصبحت تراثا وطنيا ولكن لحمايتها لا بد من دراسة دقيقة يتركز المشروع على تقويم مقاومة جسر حديدي يعود سنة 1889 بأولاد ميمون ولاية تلمسان المشروع يضم عدة اجزاء جزء تاريخ الجسور الحديدية الجزائرية و عموميات عن اصناف الجسور ايضا امثلة لجسور معدنية لسكك الحديدية للقرن 19 عبر العالم جزء اخر لتقييم حالة الجسر الجزء الثالث لدراسة مقاومة الجسر و اخيرا ننتهي ببرنامج تقوية الجسر

كلمات مفتاحية: جسور معدنية, مقاومة, سكة حديدية, تقوية

Abstarct :

Railway bridges dating back to the 19th century have become a national railway heritage.

But for their preservation, a study is necessary, Our project consists of a resistance evaluation Of a railroad truss bridge built in 1889 in OULED MIMOUN, Wilaya of tlemcen, The project covers several parts, part of the history of the Algerien railways and generalities on the typology of bridge, as well as examples of a 19th century railway metal bridge around the world, another part of expertise of the bridge, we closed our project b a program of reinforcement of the bridge

Key words: Metallic Bridge, strength, railway, reinforcement

Tables des matières

Dédicaces

Remerciements

Résumé

abstract

الملخص

Tables des matiere

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre 1 Historique du chemin de fer en Algérie

1.1 Introduction.....	1
1.2 Définition et origine des chemins de fer.....	1
1.3 Description de la voie ferrée.....	2
1.4 Programmes de réalisation des réseaux en période coloniale	2
1.4.1 Programme de 1857.....	2
1.4.2 Programmes 1879.....	3
1.4.3 Programmes de 1907	4
Conclusion	6

Chapitre 2 Typologie des pont ferroviaire du XIX e siècle..... 7

2.1 Introduction	7
2.2 Définitions et généralités	7
2.2.1 Pont	7
2.2.2 Les diverses parties d'un pont	8
i .Tablier : platelage et poutraison.....	8
ii. Système porteur.....	8
2.3 Grandes catégories des structures	9
a) Les ponts à poutres	9

b) Les ponts en arc	9
c) Les ponts à câbles	9
d) Les ponts suspendus	10
e) Les ponts à haubans	10
2.4 Pont et viaduc du XIX e siècle	10
2.4.1 pont ferroviaire de Kehl (1861).....	10
2.4.2 Pont ferroviaire sur le río Toltén, Cautín , Araucanie , Chili (1897).....	12
2.4.3 Pont Dom Luis I, Porto. Portugal (1886).....	12
2.4.4 Viaduc de Grandfey (Ligne Ferroviaire Berne-Fribourg), Suisse (1862).....	13
2.4.5 Viaduc d’Ormaiztegi. Pays Basque. Espagne (1863).....	14
2.4.6 Pont de Sabra, Tlemcen. Algérie (1889).....	15
2.4.7 Pont d’El Ourit, Tlemcen. Algérie (1889).....	16
Conclusion	16
Chapitre 3 relevé pathologique du pont métalliques 10m « ouled mimoune »	17
3.1 Introduction	17
3.2 Historique des matériaux métalliques en bâtiments et ouvrages d’art	17
3.2.2 Fer puddlé.....	18
3.3 Les pathologies du pont 10m biaise « ouled mimoun ».....	19
3.3.1 Relevée Pathologique.....	21
a) Détail 1 : (Fibre inférieur du 5eme panneau).....	22
b) Détail 2 : (Fibre inférieur du 6eme panneau).....	23
c) Détail 3 : (Fibre inférieur du 7eme panneau)	23
d) Détail 4 : (poutrelle courante du milieu du pont)	24
e) Détail 5: (cornière du 7eme panneau de contreventement).....	25
f) Détail 6 : (cornière du 6eme panneau de contreventement)	25
g) Les rivets :	26
h) Tablier :	27

i) Poutre principale côté Nord (vers Ouled Mimoun)	28
Conclusion.....	29
CHAPITRE 4 étude de pont d Ouled Mimoune.....	30
4.2 Présentation de l'ouvrage	30
4.2.1 Repère historique.....	30
4.2.2 Repère géographique.....	31
4.2.3Présentation géométrique de l'ouvrage.....	31
A- Les poutres.....	32
B- Les pièces de pont	32
C- Les poutrelles biaises	33
D- Les longerons courants	33
E- Les longerons en porte à faux	34
F- Les contreventements	34
G- Les montants.....	35
H- Le tablier	37
I- Les appuis	37
• Les culées.....	37
• Les appareils d'appuis.....	38
J Les matériaux.....	38
4.3 Vérification de la structure du pont	39
4.3.1 Modélisation.....	39
4.3.2 Evaluation des charges et surcharges.....	40
4.3.3 Vérification de la flèche.....	40
4.3.4 Calculs et vérifications du pont à l'état limite de service.....	41
a. La charge mobile du train (UIC71).....	41
b. La charge sismique.....	42

b.1	Données et règlement de calcul.....	42
	– Classification du pont.....	42
	– Classification de la zone.....	42
	– Coefficient d'accélération de la zone	42
	–Classification du site.....	42
b.2	Détermination des actions sismiques.....	43
b.3	Spectre de réponse élastique.....	43
	Composante verticale.....	43
4.3.5-	Combinaisons des composantes de l'action sismique	45
4.3.6-	Vérification de la résistance.....	45
-	Combinaisons des actions de calcul.....	45
➤	Observations.....	49
	Conclusion.....	51
	Chapitre 5 renforcement du pont.....	52
5.1	Introduction.....	52
5.2	Projet de réparation.....	52
a.	Arrêter la circulation des voitures routières sous le pont :.....	53
b.	Etayer la structure	53
c.	Eliminer les éléments endommagés et déformés	55
i.	Membrure inférieure :.....	55
ii.	Couvre Joint :.....	55
•	Résistance au cisaillement des boulons	56
•	Vérification de la pression diamétrale	56

iii .Cornières de contreventement.....	57
iv Vérification des rivets	57
b. Traitement de surface	58
• Sablage	58
• Peinture	58

CONCLUSION GNERALE

Liste des Tableaux

Tableau 1.1 : Lignes réalisée par les compagnies	2
Tableau 1.2 : Les tronçons réalisé avec les longueurs.....	3
Tableau.3.1 : taux d'endommagement des détails du pont.....	29
Tableau.4.1 Valeurs caractéristiques du site meuble de l'ouvrage.....	44
Tableau.4.2 Tableau des contraintes.....	47
Tableau.4.2 (Suite).....	48
Tableau.4.2 (Suite).....	49
Tableau.5.1 Caractéristiques du HEA240.....	53

Liste des Figures

Fig.1.1 Le développement des chemins de fer algériens en 1870 à 1880.....	3
Fig.1.2 Le développement des chemins de fer algériens en 1890 à 1900.....	4
Fig1.3 : Développement de chemin de fer en 1910	4
Fig1.4 : Développement de chemin de fer en 1920.....	5
Fig.1.5 Développement des chemins de fer algériens en 1930.....	6
Fig.3.1 Historique des matériaux utilisés	17
Fig.3.2 Chronologique des différents matériaux et des modes d'assemblage.....	18
Fig.3.3 Différents détails de relevée pathologique	22
Fig.4.1 Plan de masse du pont.....	30
Fig.4.2 Vue plus rapprochée du pont.....	30
Fig.4.3 Schéma tridimensionnel du pont et ses composants.....	31
Fig.4.4 coupe longitudinale et dimensions du pont.....	32
Fig.4.5 Détails géométriques de la poutre principale	32
Fig.4.6 Pièce de pont.....	33
Fig.4.6 détails géométriques de laPoutrelle biaise.....	33
Fig.4.8 détails géométriques des longerons courants.....	34
Fig.4.9 détails géométriques des longerons en porte a faux.....	34
Fig.4.10 Détails géométriques du contreventement.....	35
Fig.4.11 Détails géométriques du contreventement.....	35
Fig.4.12 Détails géométriques des montants des extrémités.....	35
Fig.4.13 Détails géométriques des montants au-dessus des poutrelles.....	36

Fig.4.14	Détails géométriques des montants au-dessous des quels il n'y a pas de poutrelles..	36
Fig.4.15	Détails géométriques des montants inclinés.....	36
Fig. 4.16	Elévation de la culée.....	37
Fig.4.17	Coupe transversale de la culée.....	37
Fig.4.18	Détails géométriques de l'appareil d'appui double.....	38
Fig.4.19	Détails géométriques de l'appareil d'appui simple.....	38
Fig.4.20	Modélisation du pont métallique en éléments finis 3D.....	40
Fig.4.21	Modélisation du pont métallique en éléments finis 3D.....	40
Fig.4.22	Chargement du pont.....	40
Fig.4.23	Flèche du pont a l'ELS.....	41
Fig.4.24	Charge mobile sur la longueur du pont (UIC71).....	42
Fig.4.25	Spectre de réponse élastique (composante verticale).....	44
Fig.5.1	Géométrie de l'ouvrage.....	52
Fig.5.2	Etayage de la structure du pont.....	53
Fig.5.3	Assemblage bout a bout par couvre joint (vu de dessus).....	56
Fig.5.4	Assemblage bout a bout par couvre joint (vu de face).....	56
Fig.5.5	Boulon HR de type courant	57
Fig.5.6	Données Certifiées par l'ACQPA.....	59
Fig.5.7	Valeurs Spécifiées par l'ACQPA.....	59
Fig.5.8	Identification des éléments endommagés du pont.....	60

Liste des Photos

Photo1.1 : La Station de Hussein-Dey sur la ligne d'Alger à Blida en Aout1862.....	1
Photot.2.1 Pont ferroviaire de Kehl.....	10
Photo2.2. Pont reconstruit en 1956.....	11
Photo.2.3 Le nouveau pont, à droite 2010.....	11
Photo.2.4 Pont sur le Río Toltén	12
Photo.2.5 Pont Dom Luis I.....	12
Photo.2.6 Viaduc de Grandfey1862.....	13
Photo.2.7 Viaduc de Grandfey réhabilité	14
Photo.2.8 Viaduc d'Ormaiztegi.....	14
Photo.2.9 Viaduc d'Ormaiztegi (29 aout 2017).....	15
Photo.2.10 Pont de SABRA.....	15
Photo.2.11 Pont d'El Ourit, Tlemcen	16
Photo.3.1 Pont ouled mimoun.....	19
Photo.3.2 Pont biais vers ouled mimoun.....	20
Photo.3.3 Coté SEBDOU vue de droite	20
Photo.3.4 Coté SEBDOU vue de gauche.....	20
Photo.3.5 Vue de dessous du pont.....	21
Photo.3.6 Etat de la poutre principale coté SEBDOU.....	21
Photo.3.7 Semelle de la membrure inférieure du 5 eme panneau vu de différents angles.....	22
Photo.3.8 Vu d'en face 6eme panneau coté SEBDOU	23
Photo.3.9 Semelle inférieure du 6em panneau (coté SEBDOU) vu d'en haut	23
Photo.3.10 Poutre principale coté SEBDOU vu d'en bas.....	23
Photo.3.11 Trou au niveau de l'ame	24

Photo.3.12 Trou d'âme vue de derrière	24
Photo.3.13 Semelle endommagée.....	24
Photo.3.14 Poutre courante du milieu du pont.....	24
Photo.3.15 Intersection poutre-longeron	24
Photo.3.16 Propagation de la corrosion.....	25
Photo.3.17 Cornière extérieure 7eme panneau.....	25
Photo.3.18 Aile de cornière déformée	25
Photo.3.19 6ème panneau coté SEBDOU.....	26
Photo.3.20 6ème panneau coté SEBDOU.....	26
Photo.3.21 rivets d'assemblage âme-semelle	26
Photo.3.22 Tête de rivet.....	26
Photo.3.23 Tête de rivet.....	27
Photo.3.24 Trou de rivet sur semelle.....	27
Photo.3.25 Ame poutre principale coté SEBDOU.....	27
Photo.3.26 Tôle striée déformée au niveau du Montant	27
Photo.3.27 Tôle striée déformée du tablier.....	27
Photo.3.28 Déchirure de la tôle	28
Photo.3.29 Poutre principale coté nord	28
Photo.3.30 Semelle inférieure	28
Photo.3.31 Petite déformation de la semelle	28
Photo.4.1 Vue de l'emplacement du pont (Google Maps).....	31
Photo.4.2 Tablier du pont.....	37

Notations

G : Charges permanentes

Q : Charges d'exploitation

F : Flèche maximale

L : La longueur de la poutre

I : Le moment d'inertie

E : Le module d'élasticité du fer puddlé

S : Coefficient de site

A : Coefficient d'accélération

η : Facteur de correction de l'amortissement

ξ : Taux d'amortissement

α : Coefficient qui tient compte de l'importance en zone sismique

T : Période

T_1, T_2 : Périodes caractéristiques associées à la catégorie de site

S_{ae}^H : Composante du spectre horizontale

S_{ae}^V : Composante du spectre verticale

g : Accélération de la pesanteur

E_x : Action sismique suivant l'axe X

E_y : Action sismique suivant l'axe Y

E_z : Action sismique suivant l'axe Z

M : moment max de l'élément

N : effort normal correspondants

A : la section de l'élément

I : moment d'inertie

Y : distance de centre de gravité

σ_a : déformation relative des contraintes

E : La charge sismique

M max : Moment maximum

N corés : L'effort normal correspond à M max

f_y : Limite d'élasticité.

h : Hauteur d'une pièce.

l : Longueur d'une pièce (Poutre, Poteau).

l_f : Longueur de flambement.

t : Épaisseur d'une pièce.

t_f : Épaisseur d'une semelle de poutre.

t_w : Épaisseur de l'âme de poutre.

χ : coefficient de réduction pour le mode de flambement approprié.

β : Facteur de corrélation.

γ_M : Coefficient de sécurité.

λ : Élancement.

$\bar{\lambda}$: Élancement réduit.

α : Facteur d'imperfection.

Introduction générale

Les ponts ferroviaires historiques en Algérie datant du 19^{ème} et 20^{ème} siècle, ayant conservé leur intégrité structurale et demeurant en service se font de plus en plus rares. Ces ouvrages d'art d'une autre époque sont constitués à base de fer ou d'acier ancien. Leur capacité portante souvent peu connue et maîtrisée de nos jours est dépassée par le chargement croissant et l'augmentation du trafic ; ce qui complique des opérations de maintenance et d'interventions d'entretien préventif ou curatif. Dans un contexte économique et patrimonial, la remise à niveau de ces ouvrages est intéressante, d'autant plus que les coûts de réhabilitation ou de renforcement d'un ouvrage ancien peuvent s'avérer moins onéreux qu'une reconstruction neuve.

La plupart des ponts métallique existants et faisant partie du système ferroviaire sont à poutres triangulées en acier.

Sur la ligne de chemin de fer Tabia-Tlemcen, et exactement dans la commune de Ouled Mimoun, un pont en biais de 10 m d'envergure est sujet à des endommagements accidentels causés par plusieurs collisions et chocs de véhicules lourds sur une partie de la membrure inférieure de la poutre côté sud. La ligne est toujours en service avec une fréquence moyenne de passages trains journalier ; de ce fait, il est important d'ausculter et évaluer la portance actuelle du pont ainsi que de renforcer la partie endommagée.

Afin de mener ce projet à bien, il est important de prendre en compte les caractéristiques particulières de la structure afin de préserver toute son intégrité.

Au niveau des calculs justificatifs, l'aptitude au service de la structure est en relation avec les états limites de service, tandis que la sécurité structurale est en relation avec les états limites ultimes.

Le travail élaboré de notre mémoire de projet de fin d'études a été organisé comme suit :

Dans le premier chapitre, nous présenterons un historique du chemin de fer en Algérie en période coloniale en détaillant les trois programmes de développement,

Dans le deuxième chapitre, nous présenterons des généralités sur les types de ponts rencontrés en génie civil et nous évoquerons surtout quelques ponts métalliques distingués du 19^{ème} siècle, les plus connus à travers le monde,

Dans le troisième chapitre, nous présenterons un relevé pathologique de la structure en détaillant les différentes avaries sur les éléments,

Dans le quatrième chapitre, nous vérifions à l'état limite de service la résistance du pont, ceci dans son état sain et aussi endommagé pour comparer l'évolution des contraintes internes,

Le cinquième chapitre fera le point sur un projet de maintenance et réparation du pont et les différentes étapes à suivre lors de l'intervention,

On terminera notre mémoire par une conclusion générale.

CHAPITRE 1 HISTORIQUE DES CHEMINS DE FER EN ALGERIE

1.1 Introduction

L'histoire des chemins de fer en Algérie commence avec le Décret Impérial (**Napoléon III**) du **8 Avril 1857** qui autorise la construction de 1357 km de chemins de fer dans la colonie d'Algérie, une dorsale parallèle à la côte et se situant entre 50 à 80 Km de la mer.

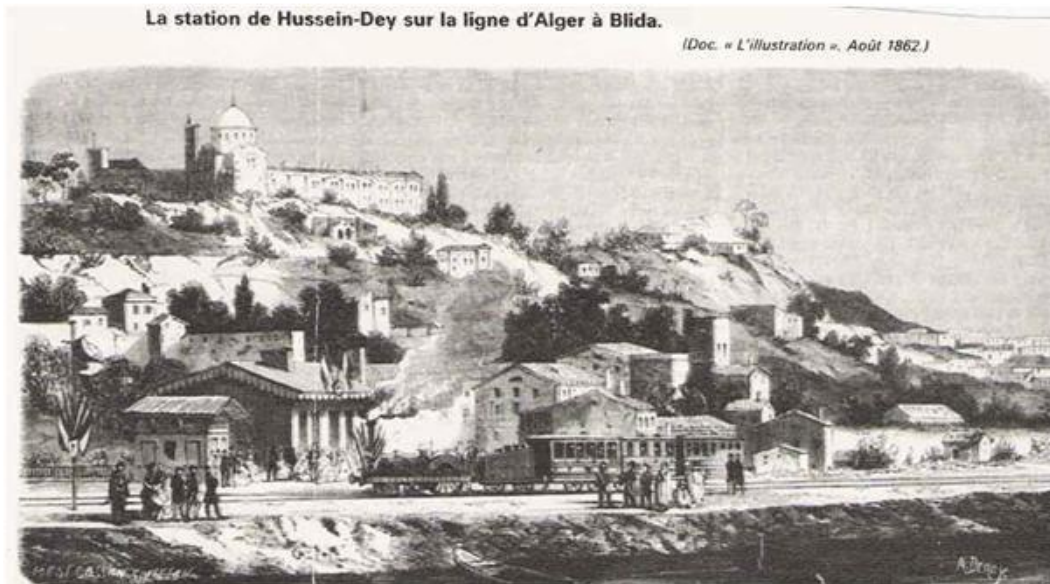


Photo1.1 : La Station de Hussein-Dey sur la ligne d'Alger à Blida en Aout 1862.

1.2 Définition et origine des chemins de fer

C'est un Chemin constitué de barres d'acier (rails) fixées bout à bout, selon deux ligne parallèles sur des traverses reposant elle-même sur un ballast, ou circulent des wagons remorqués par une locomotive.

Ce sont les britanniques à avoir exploité le premier chemin de fer au XIX siècle quand la première locomotive a été construite par l'ingénieur Georges Stephenson, puis produisit à grande échelle après le concours de Liverpool en 1829.

Elle pesait 4 T et pouvait remorquer en palier une charge de 23 T à la vitesse de 22 km/h et atteindre sans charge la vitesse de 45 km/h qui était considérable à cette époque.

1.3 Description de la voie ferrée

Une voie ferrée est formée de deux lignes de rails parallèles de manière à ce que leur écartement soit constant et reposant sur le sol par l'intermédiaire de supports qui répartissent la pression sur le ballast.

Le rail peut être fixé à la traverse soit directement, soit par l'intermédiaire d'un coussinet. Le premier type est le rail Vignole, à base plate ; le second est le rail à Coussinet.

1.4 Programmes de réalisation des réseaux en période coloniale

Durant la période coloniale, trois programmes ont été initiés :

1.4.1 Programme de 1857

Le 8 Avril 1857, la force d'occupation française autorise la construction de 1357 km de lignes. Le 12 Décembre 1859, le chantier de la ligne Alger-Blida fût ouvert. Une entreprise de statut privé, appelée "Compagnie des chemins de fer Algériens" est créée. Cette compagnie obtient en plus de la réalisation de la ligne Alger-Blida, une concession pour la réalisation des lignes Oran-Sig et Constantine-Skikda, qui n'ont pas été réalisées faute de financement. Et qui ont été transférée a la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée [PLM]. Seule la ligne Alger-Blida a pu être réalisée et ouverte au service voyageur le 8 Septembre 1862. (2)

La poursuite des travaux pour les autres lignes est assurée par cinq (5) compagnies :

N°	Compagnies	Lignes réalisée	Distances
1	Compagnie de l'Est Algérien	-Constantine-Sétif (1879- 1881)	156 km
2	Compagnie de l'Ouest Algérien.	-Blida-Saint Denis du Sig (1868-1871)	
3	Compagnie Franco-Algérienne	-Arzew-Saïda-Aïn Sefra (1879-1887) -Mostaganem- Tiaret	
4	Société de Construction des Batignolles	-la ligne Bône-Guelma	89 km
5	Compagnie de Bône à Guelma	-d'autres tronçons du réseau Est -des lignes en Tunisie.	

Tableau 1.1 : Lignes réalisée par les compagnies.



Fig.1.1 Le développement des chemins de fer algériens en 1870 à 1880.

1.4.2 Programmes 1879

Le 18 juillet 1879 avec comme objectif d'ajouter 1 747 km au réseau existant, la réalisation de vingt nouveaux tronçons a été lancée. Les lignes classées d'intérêt général peuvent être financées par l'état pour leur réalisation, les lignes dites « d'intérêt local » est laissée à la charge des investisseurs privés et des collectivités locales, La Compagnie de l'Ouest Algérien effectuera les travaux à l'Ouest (Sidi-Bel-Abbès et Crampel) et la Compagnie Franco Algérienne réalisera la voie étroite de Mostaganem-Tiaret. La Compagnie de l'Est Algérien assurera, de Sétif à Ménerville, La Compagnie de l'Est Algérien complétera le réseau principal à l'Est, ainsi que la desserte du Sud à voie étroite, Biskra (1882) et Khenchela (1905).

Les tronçons les plus remarquables étaient :

- * Ménerville - Bourj-Bouirra – jusqu'à Sétif 247KM
- * Mostaganem - Ain-Tédélès – Rélizane jusqu'à Tiaret 179KM

N°	Tronçons	Longueurs
1	Ménerville - Bourj-Bouirra – jusqu'à Sétif	247 KM
2	Mostaganem - Ain-Tédélès – Rélizane jusqu'à Tiaret	179 KM
3	Tlemcen à la Sénia (Oran), par Ain-Temouchent	145 KM
4	Tébessa à Souk-Ahras	126 KM
5	Batna à Biskra	115 KM
6	Béni-Mansour à Bougie	97 KM
7	Mouzaia ville à Berrouaghia, par Haouch-Moghzen	96 KM
8	l'Oued Tikster vers Bougie, par les vallées de Bou Sellamet de l'Oued Amassim	85 KM
9	Ain-Beida au réseau de la province de Constantine	80 KM
10	D'El-Guerrah à Batna	80 KM

Tableau 1.2 : Les tronçons réalisés avec les longueurs. (3)

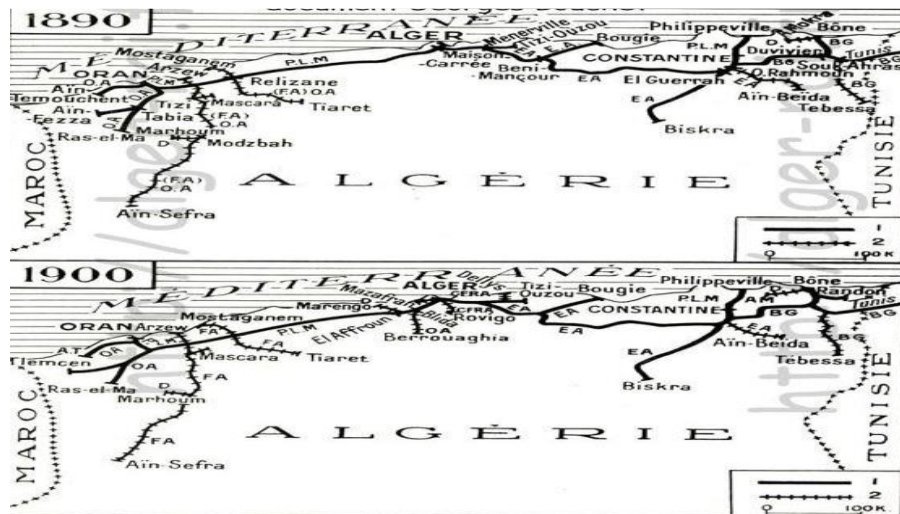


Fig.1.2 le développement des chemins de fer algériens en 1890 à 1900.

1.4.3 Programmes de 1907

En 1907, un troisième programme de nouvelles lignes portant sur 1256 km est établi et vient s'ajouter au réseau existant.

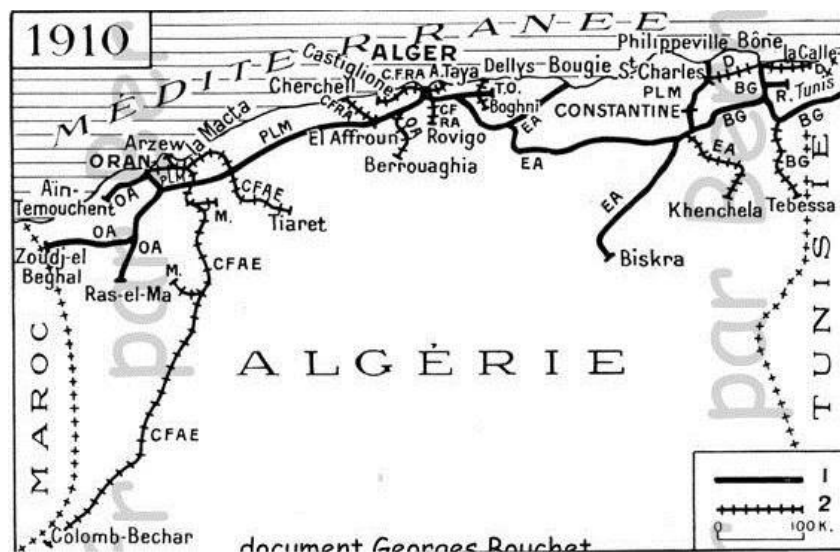


Fig1.3 : Développement de chemin de fer en 1910.

Au cours de la période 1907-1946, les lignes ou tronçons de lignes suivants, totalisant une longueur de 1614 km, ont été réalisés : Ain Beida-Tébessa, El Milia-Jijel, Biskra-Tougourt avec embranchements vers Tolga et El Oued (cette ligne classée secondaire d'une longueur de 387 km a été réalisée en plus du programme de 1256 km), Constantine-Oued Athmania,

Berrouaghia-Djelfa, Tiaret-Mahdia-CI.Bouguerra, Mascara-Mecheria avec embranchements vers Relizane, Sidi Bel Abbès-Tizi, Tlemcen-Beni-Saf, Mostaganem-La Macta.

Après les déficits des compagnies concessionnaires, l'Etat a racheté les concessions des compagnies Franco-Algérienne, Est Algérien, Bône-Guelma et Ouest Algérien en 1900, 1908, 1905 et 1920 respectivement.

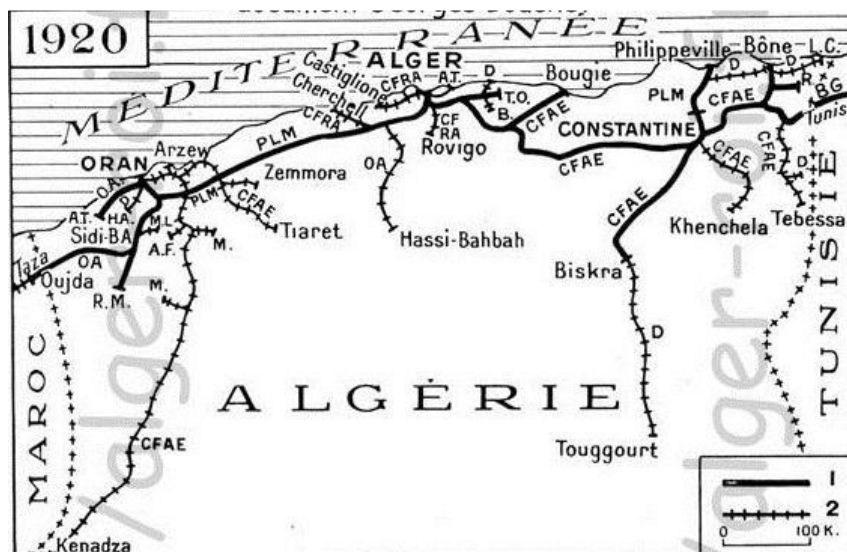


Fig1.4 : Développement de chemin de fer en 1920.

Le 27 Septembre 1912 est créée la Compagnie des Chemins de Fer Algériens de l'Etat (CFAE) qui prend le relais de l'exploitation des réseaux des concessionnaires à l'exception du réseau PLM.

Le 30 Mai 1938, les lignes CFAE et PLM d'intérêt général sont rattachées à la SNCF récemment constituée, et le réseau algérien en devient une région. Le 1er Janvier 1939, est institué un Office des Chemins de fer Algériens (Office CFA).

En 1946, le réseau algérien comprend 5014 km de lignes en exploitation sans compter les embranchements miniers et les lignes de chemin de fer sur routes (CFRA).

Le 30 Juin 1959 est établie la Convention entre l'Etat et l'Office CFA. Le 1er Janvier 1960, est créée une Société des Chemins de Fer Français en Algérie qui sera régie par la Convention de Juin 1959 jusqu'au 16 Juin 1963, date à laquelle sera créée la Société Nationale des Chemins de Fer Algériens (SNCF). (2)

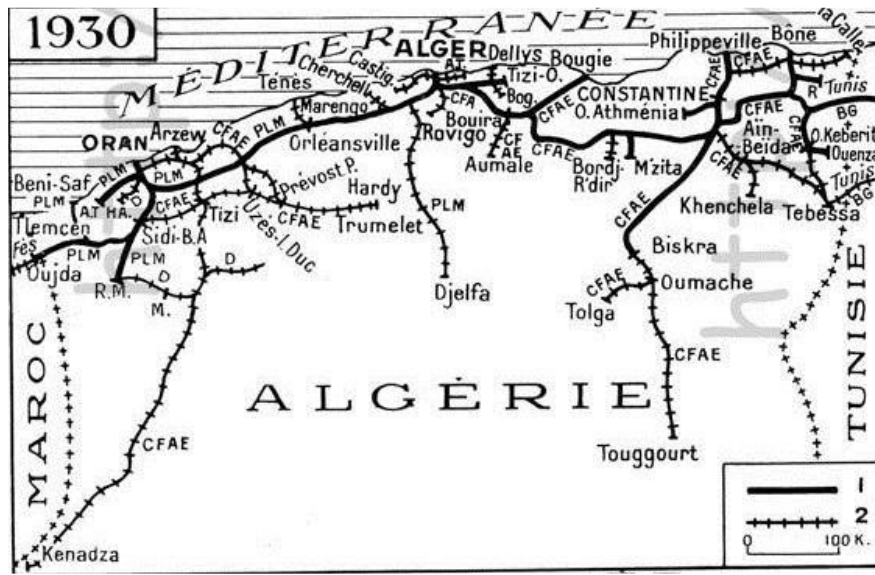


Fig.1.5 Développement des chemins de fer algériens en 1930.

Conclusion

Le chemin de fer Algérien a beaucoup évolué en passant par plusieurs phases de développement depuis la période coloniale dont il a été très utilisé au cours des opérations en Afrique du nord. Ces divers périodes d'évolution ont participé à l'établissement du réseau ferroviaire existant actuellement avec tous ces remarquables ouvrages d'art.

CHAPITRE2 TYPLOGIE DES PONT FERROVIAIRE DU XIX^{ème} SIECLE

2.1 Introduction

La conception d'un pont est un long travail d'études visant à réunir les diverses contraintes dont l'importance et l'ordre de prédominance varient selon les projets parmi ces contraintes :

Les données naturelles du franchissement,

- Les données fonctionnelles de la voie portée,
- Les procédés de construction,
- L'insertion dans l'environnement,
- Les coûts,
- Les délais...

Les solutions propres aux ouvrages d'art métalliques s'articulent à partir des trois composantes principales définissant la structure d'un pont :

- Le système porteur (poutre, arc, suspension à câbles) ;
- La poutraison (âme pleine, caisson, treillis) ;
- Le platelage (béton, acier, mixte).

2.2 Définitions et généralités

2.2.1 Pont

Un pont est un ouvrage d'art permettant à une ou plusieurs voies de communication de franchir un accident du relief appelé brèche ou d'autres voies de communication

Selon la voie portée — route, rail, voie piétonnière ou canal — le pont sera dénommé, pont-route, pont-rail, passerelle piétonnière ou pont-canal.

Les ouvrages peuvent avoir des formes extérieures semblables, mais se différencient et se caractérisent surtout par la nature particulière du trafic qu'ils ont à supporter.

La conception architecturale générale d'un ouvrage de franchissement fait appel aux trois modes fondamentaux de fonctionnement mécanique des structures (flexion, compression et traction) pour donner trois types de ponts fixes :

- le pont à poutre, image de la simplicité, limité à la flexion seule ;
- le pont en arc, qui associe la compression à la flexion ; son architecture s'enrichit ;
- les ponts à câbles, de type haubané et suspendu, combinent la traction, la compression et la flexion dans un fonctionnement plus complexe ouvrant sur un large éventail de solutions techniques et architecturales.

2.2.2 Les diverses parties d'un pont

Pour remplir sa fonction, le pont est constitué d'une structure résistante capable de porter la voie et ses charges d'exploitation. Il possède par ailleurs des équipements spécifiques concourant à son bon fonctionnement, à la sécurité des usagers et à la durabilité de l'ouvrage.

Les structures du pont doivent répondre aux données du projet. De formes multiples et variées, elles se réduisent finalement toujours à un tablier et un système porteur composé d'appuis et de suspensions éventuellement.

Les équipements respectent des standards propres à chaque type de voie concernée (route ou rail) et à son exploitation. Les équipements englobent :

- la structure de roulement qui est constituée par la chaussée pour la route et par le ballast et la voie pour le ferroviaire
- les appareils d'appui, les joints de chaussée,
- les organes de sécurité (garde-corps, glissières de sécurité, barrières),
- les évacuations des eaux, l'étanchéité, la corniche, les circulations de visite, les matériels de voies (caténaires, poteaux, signalisation).

i. Tablier : platelage et poutraison

Le tablier est la partie d'ouvrage qui porte directement la voie (route ou rail) et en assure la continuité parfaite. Il comprend un platelage et une poutraison.

Le platelage, porteur de la chaussée ou du ballast, est le premier élément de résistance du pont. Il travaille en dalle sous les surcharges de circulation de la voie et participe à la flexion d'ensemble du tablier. La dalle est le plus souvent en béton armé, dans certains cas en acier ; mais elle peut également être mixte.

La poutraison métallique porte le platelage auquel elle est connectée (dalle en béton) ou soudée (dalle en acier) et se compose de :

- poutres longitudinales principales, complétées parfois par des poutres secondaires appelées longerons ;
- structures d'entretoisement disposées transversalement aux poutres pour les liasonner entre elles et supporter éventuellement la dalle.

ii. Système porteur

Le système porteur désigne l'ensemble des parties d'ouvrage qui supportent le tablier.

Les culées marquent les origines du pont à chaque extrémité du tablier et assurent la transition entre la voie sur terre et la voie sur pont.

Entre les culées, le tablier est porté, selon les cas :

- « par le dessous » sur des piles ;
- « par le dessus » au moyen de câbles et pylônes.

Les différentes variations sur ces deux modes de « portage » donnent les ponts à poutres, les ponts en arc, les ponts haubanés et les ponts suspendus. (4)

2.3 Grandes catégories de structures

Les ponts peuvent être classés suivant différents critères : les matériaux utilisés, le procédé de construction, ou le fonctionnement mécanique. C'est ce dernier critère qui est retenu dans la présentation qui suit. On distingue ainsi :

a) Les ponts à poutres

Sous le terme de ponts à poutres, on regroupe tous les ouvrages dont la structure porteuse reprend les charges, essentiellement par son aptitude à résister directement à la flexion, les réactions d'appui étant verticales ou quasi verticales. Le tablier est, généralement, une structure linéaire dont les travées peuvent être indépendantes, continues, ou exceptionnellement posséder des parties en console. Cette structure linéaire est réalisée à l'aide de poutres principales, parallèles à l'axe du pont, reliées transversalement par des entretoises d'about et, éventuellement, des poutres transversales (entretoises intermédiaires, pièces de pont, etc.). Elles portent, ou intègrent, la couverture recevant directement la charge d'exploitation.

b) Les ponts en arc

Pour ces ouvrages, dont la structure porteuse fonctionne essentiellement en compression, les réactions d'appui sont inclinées ; la composante horizontale de la réaction s'appelle la « poussée ». De telles structures ne sont envisageables que si elles peuvent prendre appui sur un rocher résistant. Sous cette condition, le domaine de portée des ponts en arc est très étendu (jusqu'à 500 m, avec une ossature porteuse à base de tubes métalliques remplis de béton). Les arcs modernes sont généralement dotés d'articulations à leurs naissances.

On distingue :

- o Les arcs à tablier supérieur, pour lesquels le tablier est au-dessus de l'arc ;
- o Les arcs à tablier intermédiaire ou inférieur, lorsque le tablier est situé dans la hauteur ou au-dessous de l'arc.

c) Les ponts à câbles

Entrent dans cette catégorie tous les ouvrages pour lesquels le tablier est supporté par des câbles. Ce sont des structures généralement souples, adaptées au franchissement des

grandes portées. On distingue deux types d'ouvrages dont le fonctionnement mécanique diffère fondamentalement.

d) Les ponts suspendus

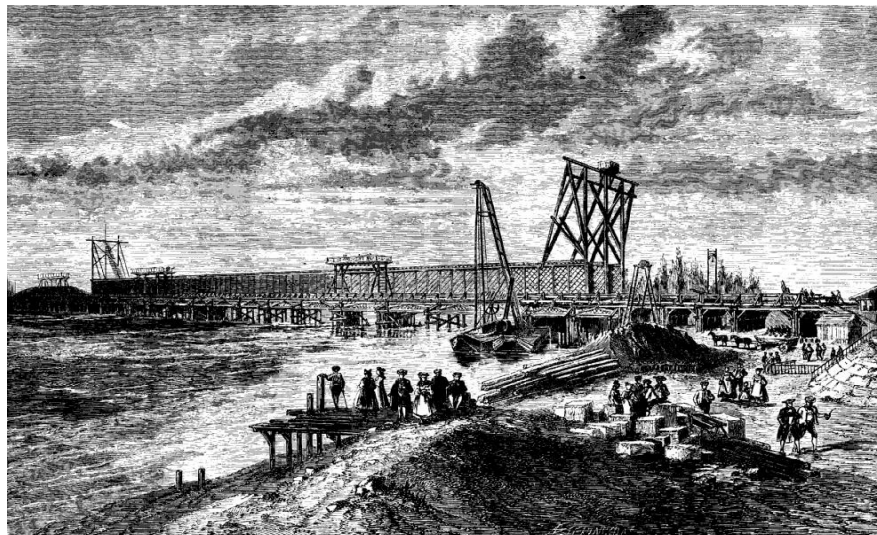
Sont des ponts dont les éléments porteurs principaux sont des câbles auxquels les réactions du tablier sont transmises par des suspentes. Ces câbles porteurs métalliques passent au sommet de pylônes et sont ancrés dans des culées de dimensions imposantes. Ces ouvrages sont le plus souvent à trois travées ; les travées latérales sont généralement des travées suspendues, quelquefois des travées indépendantes.

e) Les ponts à haubans

Sont des ponts dont les éléments porteurs principaux sont des poutres soutenues par des câbles obliques rectilignes appelés « haubans ». Ces câbles sont placés, soit en une seule nappe dans l'axe du pont, soit en deux nappes latérales et sont disposés en harpe (haubans parallèles), ou en éventail (haubans convergents). Les réactions d'appui sont verticales et l'ouvrage fonctionne comme ceux de la catégorie des ponts à poutres soumis à la flexion composée du fait de la composante horizontale de la tension des haubans. Le domaine d'emploi des ponts à haubans tend actuellement à s'étendre en faisant reculer celui des ponts suspendus qui restent le seul type de structure encore envisageable pour les très grandes portées (au-delà de 1 500 m). (10)

2.4 Pont et viaduc du XIX e siècle

2.4.1 Pont ferroviaire de Kehl (1861)



Photot.2.1 Pont ferroviaire de Kehl.(5)

Le pont de Kehl sur le Rhin entre la France et l'Allemagne, ouvert en 1861, est un ouvrage de 230 m de long comprenant une partie centrale en poutres à treillis métallique de 177 m de long et de 6m de haut avec trois ouvertures. Cette structure comprenait à chacune de ses extrémités, sur les deux rives, un pont tournant en treillis long de 26 m.. La construction de l'ouvrage a commencé en 1858 par des fondations exceptionnelles sous la responsabilité de Hildevert Hersent, réalisées en caissons métalliques foncés à l'air comprimé jusqu'à 18 m sous le niveau du fleuve. Les travaux, innovants à l'époque, ont été réalisés par la Compagnie des chemins de fer de l'Est où cette technique avait été développée par les ingénieurs Joyant, Wuignier, Fléau. A la suite de cette réalisation, Hildevert Hersent et ses deux fils créeront des entreprises très engagées dans les travaux maritimes.

Reconstruit en 1956 à voie unique, fut un pont de la ligne de Strasbourg-Ville à Strasbourg-Port-du-Rhin enjambant le Rhin et par la même occasion franchissant la frontière entre la France et l'Allemagne.

Il est depuis le 10 octobre 2010 (première mise en circulation) remplacé par un pont à double voie nouvellement construit afin de permettre un passage plus rapide des trains (à 160 km/h maximum). (5)



Photo2.2. Pont reconstruit en 1956.(5)



Photo.2.3 Le nouveau pont, à droite 2010.(5)

2.4.2 Pont ferroviaire sur le río Toltén, Cautín, Araucanie, Chili (1897)



Photo.2.4 Pont sur le Río Toltén.(5)

l'un des ponts les plus longs de la ligne de chemin de fer Valparaiso-Santiago-Osorno dont Tous les ouvrages ont été construits par Schneider et Cie (Chalon-sur-Saône), Le pont de Tolten, au sud de Temuco est un Pont suspendu à travées multiples (9 travées) qui mesure 450m de long avec voie unique

C'est a l'origine un ouvrage a poutres droite en treillis métallique.

Les pylônes, les câbles et les suspentes ont du être ajoutés pour faire face a l'accroissement du trafic

2.4.3 Pont Dom Luis I, Porto. Portugal (1886)



Photo.2.5 Pont Dom Luis I.(5)

Conçu par : Théophile Seyrig (auteur de l'arc du viaduc Maria-Pia)

Réalisé par : la Société belge Willebroeck

Cet ouvrage construit sur le Douro relie Porto et Vila Nova de Gaia.

Il se situe à l'emplacement historique du franchissement du Douro : d'abord un pont de bateau jusqu'en 1843 lorsque fut construit le « Ponte Pensil » (pont suspendu) de l'ingénieur Stanislas Bigot, remplacé à son tour par ce Pont Dom Luis I.

Construit en fer forgée d'une longueur totale de 385 m il comporte un arc de 172 m de portée. Il est composé deux tabliers de 8 m de largeur chacun : le tablier supérieur supporte le trafic du métro, l'autre inférieur, suspendu aux poutres du tablier supérieur, reçoit le trafic routier et la circulation des piétons sur une longueur de 174 m.

2.4.4 Viaduc de Grandfey (Ligne Ferroviaire Berne-Fribourg), Suisse (1862)

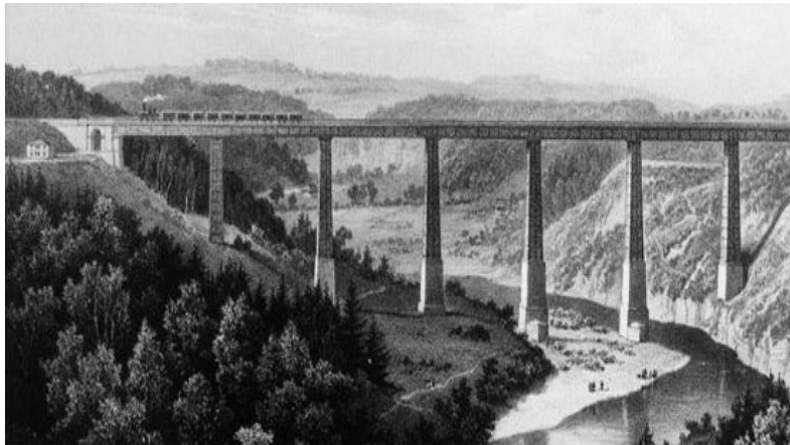


Photo.2.6 Viaduc de Grandfey1862.(5)

C'est un ouvrage à poutres treillis en fer forgé construit par Schneider et Cie. Il mesure 334 m de long, avec 6 travées .La plus haute pile mesure 82 m de haut

Le tablier métallique avec des parois grillagées formées d'un treillis, combinées des fers plats et des fers profilés en U, ont la propriété, en termes techniques, d'être rigides au flambage, a été mis en place par poussage sur six minces piliers. (Ingénieur M. Mathieu).

Après l'incident du pont ferroviaire construit par G.EIFFEL qui s'est écroulé sous l'excès de charge du train, la Suisse a effectuée des inspections sur tous ses ponts ferroviaires, ayant découvert des fissures (6)

Le Viaduc de Grandfey à été renforcé en 1927. En conservant la structure métallique, les piles ont été recouvertes de béton armé ; des arcs en béton armé et des voûtes lettes construites entre les piles assurent la liaison avec le tablier.



Photo.2.7 Viaduc de Grandfey réhabilité.

2.4.5 Viaduc d'Ormaiztegi. Pays Basque. Espagne (1863)

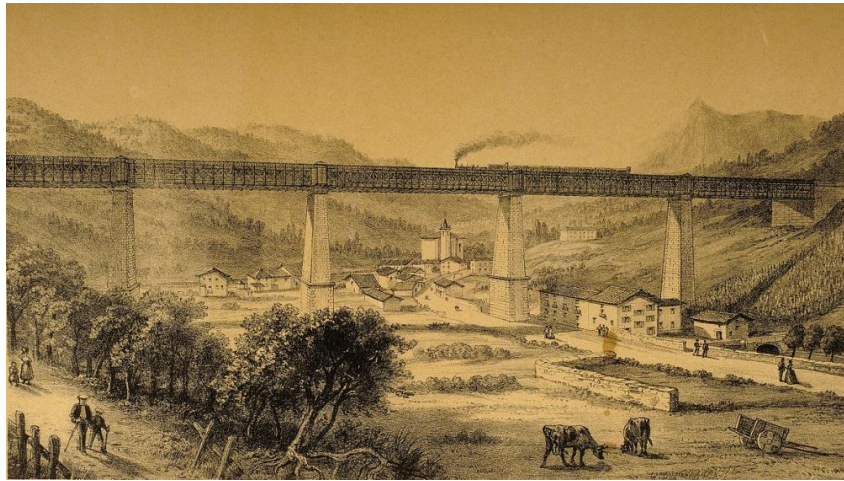


Photo.2.8 Viaduc d'Ormaiztegi.

Construit par la Société de Construction des Batignolles (Ernest Gouin), sous la direction de l'ingénieur Alexander Lavaley. Cet ouvrage métallique qui mesure 289 m de long. comporte 5 travées et s'élève 30 m au-dessus de la vallée, a été Endommagé en 1936 pendant la guerre civile espagnole, il fut restauré à l'identique en 1941, avec notamment le renforcement des quatre piliers en béton armé.

En 1996 il a cessé d'être utilisé car désuet et pour éviter sa démolition on a construit un viaduc ferroviaire moderne à côté adapté au nouveau trafic ferroviaire.

Le Viaduc d'Ormaiztegui a été déclaré monument historique, puisque durant ses plus de 130 années d'histoire il s'était transformé en symbole d'Ormaiztegui. (5)



Photo.2.9 Viaduc d'Ormaiztegui (29 aout 2017).

2.4.6 Pont de Sabra, Tlemcen. Algérie (1889)



Photo.2.10 Pont de SABRA.(7)

L'ouvrage a été construit en 1889 et se situe dans la région de Sabra Wilaya de Tlemcen. Avec 3 travées de 23,29 et 23 m, la portée de l'ouvrage est de 76,45 m contenant une seule voie de 3 m de largeur et reposant sur 4 appuis dont 2 culées et 2 piles. Sa fonction est d'assurer le passage des trains allant de Tlemcen vers Maghnia (7)

2.4.7 Pont d'El Ourit, Tlemcen. Algérie (1889)

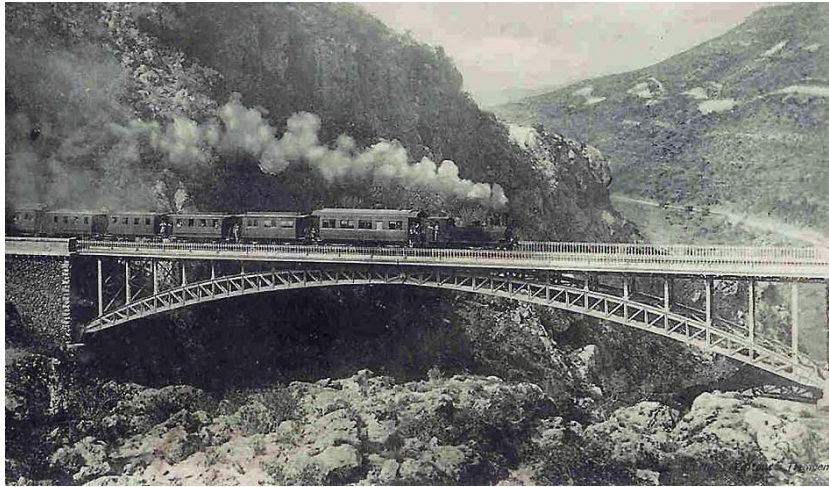


Photo.2.11 Pont d'El Ourit, Tlemcen.(5)

Ce pont est un chef d'œuvre architecturale, par sa conception en arc et son emplacement sur El Ourit. Sa portée est de 68,00 m avec une hauteur de 8m, l'élément principal est la poutre Archée en treillis d'épaisseur variable. Le pont construit en fer puddlé a été réalisé par l'ingénieur Gustave Alexandre Eiffel.

Conclusion

Nous avons découvert la typologie des ponts, ainsi que quelques exemples des ponts ferroviaires du XIXème siècle au début de leurs innovation qui ne cesse à nos jours, La réussite des ingénieurs au mépris des contrainte et de la nos disponibilité des outils modernes a poussé ces ouvrages à devenir des symboles et monument nationaux dans leur pays malgré qu'il y'en a plusieurs en service jusqu'aujourd'hui.

Chapitre 3 RELEVÉ PATHOLOGIQUE DU PONT METALIQUE 10M « OULED MIMOUN »

3.1 Introduction

Après la maçonnerie et le bois, les matériaux métalliques ont été employés pour la construction des ouvrages dès la fin du 18^{ème} siècle. C'est en 1779 avec la construction du pont sur la Severn, à Coalbrookdale en Angleterre que débute l'histoire des ponts métalliques. Trois alliages à base de fer, la fonte, le fer puddlé et l'acier, constitueront les principales périodes de construction des ouvrages métalliques.

3.2 Historique des matériaux métalliques en bâtiments et ouvrages d'art

A la fin du 18^{ème} siècle, les Modes industrielles de fabrication des alliages de fer permettaient enfin l'élaboration de fonte, alliage comportant une teneur en carbone de l'ordre de 3 %, de caractéristiques médiocres, ce qui favorisa la réalisation de structures fonctionnant en compression.

A partir de 1820, le développement de techniques industrielles d'élaboration du fer sous forme de fer puddlé, présentant une meilleure résistance en traction, permet la construction d'ouvrages à poutres. La seconde moitié du 19^{ème} siècle va être marquée par l'apparition des procédés d'élaboration de l'acier ; les procédés Bessemer (1856), puis Siemens-Martin (1865) et Thomas (1877), vont permettre la production de ce matériau en grande quantité. Grâce à ses caractéristiques mécaniques, et principalement sa **résistance élevée**, l'acier va totalement remplacer, au début 20^{ème} siècle, la fonte et le fer dans la fabrication de ponts. (8)

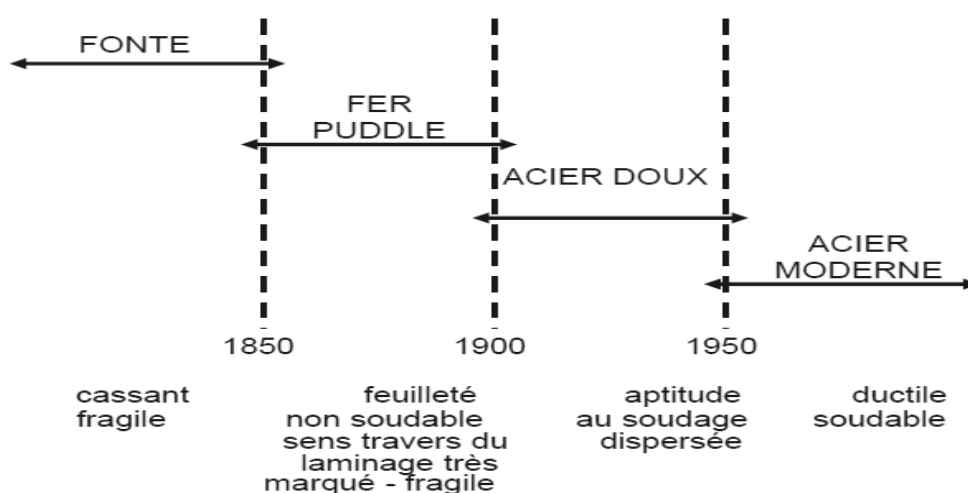


Fig.3.1 Historique des matériaux utilisés.

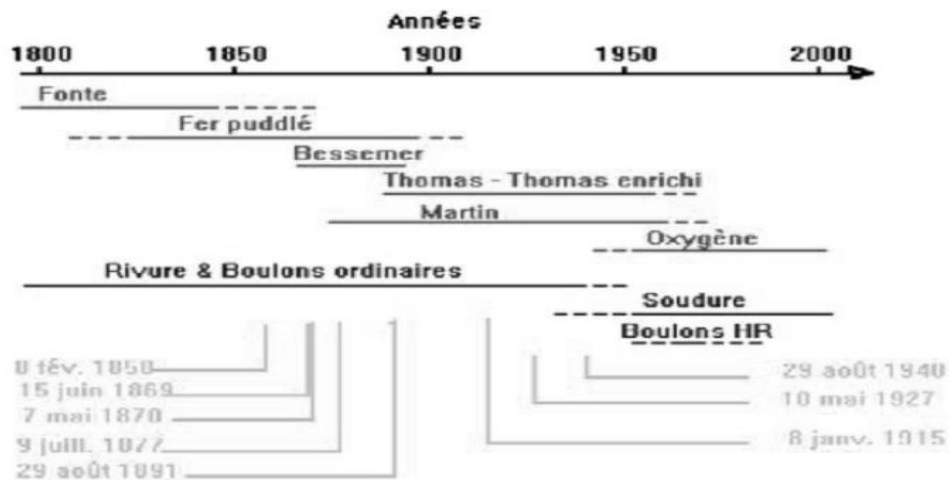


Fig.3.2 Chronologie des différents matériaux et des modes d'assemblage.

Le schéma présente de façon chronologique l'évolution, en fonction du temps, des différents matériaux métalliques et des modes d'assemblage (jusqu'en 1940) pour ouvrages d'art.

3.2.2 Fer puddlé

Au cours du XIX^{ème} siècle l'utilisation du fer s'est développée parallèlement à celle de la fonte. Trois grands types de ponts étaient construits avec ce matériau :

- Les ponts suspendus,
- Les ponts à poutres,
- Les ponts en arc.

Le fer était obtenu par puddlage (to puddle signifie brasser) à partir de fonte liquide introduite dans un four et mélangée à des additions oxydantes. Après fusion, le métal était épuré : c'était l'opération de puddlage par brassage du bain au moyen d'un ringard ; celle-ci était suivie d'une phase de décarburation en atmosphère oxydante à une température inférieure à la température de fusion du fer.

Le fer puddlé ainsi obtenu présentait, selon diverses bibliographies de l'époque, une composition chimique approchée :

- Carbone : 0,01 %,
- Manganèse : 0,02 %,
- phosphore : 0,2 %,
- soufre : 0,05 %,
- Silicium : 0,2 %.

Les analyses réalisées sur de nombreux échantillons en provenance d'ouvrages répartis sur l'ensemble du réseau Français donnent des fourchettes plus larges, principalement en ce

qui concerne le phosphore : la teneur fréquemment rencontrée atteint 0,5% (notamment pour les produits obtenus à partir de minerai Lorrain) et quelques fois dépasse 1%. Le fer puddlé se caractérise par une structure métallographique de type ferritique présentant une densité variable d'inclusions parallèles au sens du laminage. Ces inclusions, constituées d'oxydes de fer, de silicium et de phosphore, entraînent des discontinuités dans la matrice ferritique et lui confèrent un aspect lamellaire.

Les caractéristiques mécaniques de ces fers sont hétérogènes avec les valeurs

suivantes :

- limite d'élasticité (E) : 230 à 300 N/mm² (mesures sur ouvrages, la bibliographie donne des valeurs plus basses à 170 N/mm²),
- charge de rupture (R) : 260 à 400 N/mm²,
- Allongement (A) : 10 à 20 % (dans le sens de laminage) : sensiblement nul (en sens travers).

3.3 Les pathologies du pont 10m biaise « ouled mimoune »



Photo.3.1 Pont Ouled Mimoun.



Photo.3.2 Pont biais vers Ouled Mimoun.



Photo.3.3 Coté SEBDOU vue De droite.



Photo.3.4 Coté SEBDOU vue de gauche.



Photo.3.5 Vue de dessous du pont.

Du côté sud, (côté de SEBDOU) la semelle de la membrure inférieure est déformée à cause du choc et un endommagement tout le long de la largeur de la semelle inférieure du 5eme panneau a été relevé. Ces dégâts sont surtout concentrés Au milieu, plus précisément sous les panneaux 5 à 7 en allant de la gauche, On remarque aussi de la corrosion sur à peu près tout le long de la semelle inférieure des deux poutres.



Photo.3.6 Etat de la poutre principale coté SEBDOU.

Le désordre sur la photo, est apparu suite aux chocs répétés de véhicules poids lourds, dépassant la hauteur du gabarit indiquée depuis plusieurs années

3.3.1 Relevée Pathologique

Après la visite faite sur site, un relevé pathologique a été fait sur les différents endommagements constatés sur l'ouvrage.

Pour cela une présentation des différents détails est présentée comme suite :

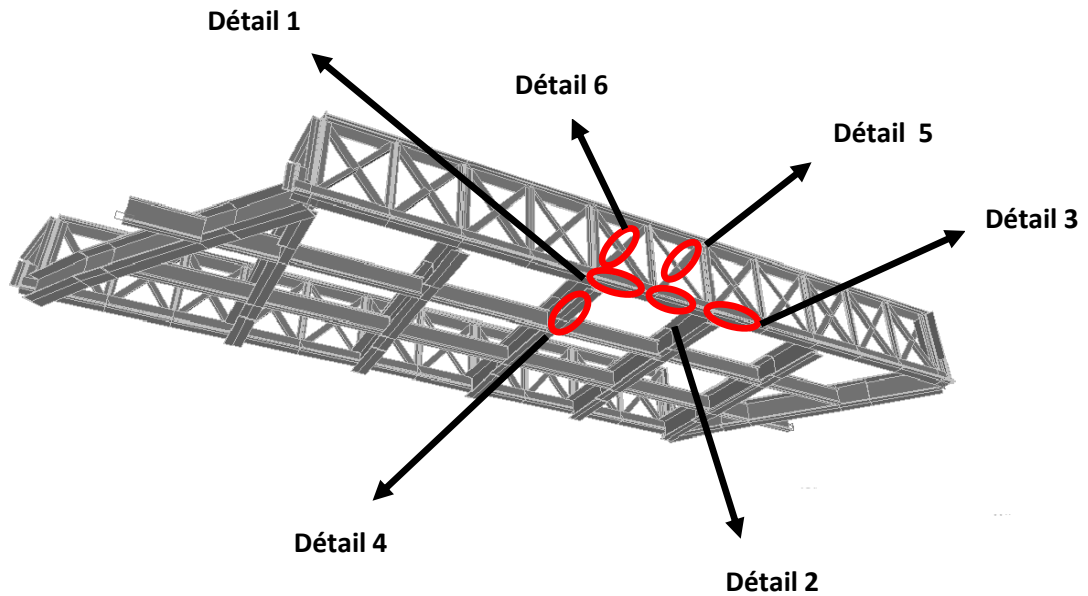


Fig.3.3 Différents détails du relevé pathologique.

a) Détail 1 : (Fibre inférieur du 5eme panneau)

Déformation plastique et rupture de la semelle avec un état avancée de corrosion, Propagation de la fissure au niveau du rivet qui a conduit a une déchirure de la semelle, Flèche de l'âme suite au choc du camion hors gabarit



Photo.3.7 Semelle de la membrure inférieure du 5 eme panneau vu de différents angles.

b) Détail 2 : (Fibre inférieur du 6eme panneau)

Semelle déchirée, déformation plastique suite aux accidents, on remarque aussi une corrosion foisonnante aux extrémités de la partie déformée



Photo.3.8 Vu d'en face 6eme panneau coté SEBDU.



Photo.3.9 Semelle inférieure du 6em panneau (coté SEBDU) vu d'en haut.



Photo.3.10 Poutre principale coté SEBDU vu d'en bas.

c) Détail 3 : (Fibre inférieur du 7eme panneau)

Diminution de la section transversale (diminution d'inertie) a cause de la disparition du fer pudelée sous choc d'accident et corrosion au niveau de la semelle.

Trou au niveau de l'ame de la fibre inférieur du 7ème panneau



Photo.3.11 Trou au niveau de l'ame.



Photo.3.12 Trou d'ame vue de derrière.



Photo.3.13 Semelle endommagée.

d) Détail 4 : (poutrelle courante du milieu du pont)

Déformation et réduction de la semelle au niveau de la poutre courante la plus sollicitée en accident, rupture par cisaillement des têtes des rivets



Photo.3.14 Poutrelle courante du milieu du pont.



Photo.3.15 Intersection poutre-longeron.

e) Détail 5 (cornière du 7eme panneau de contreventement)

Corrosion des zones déformée après effritement de la peinture, Déchirure et déformation au niveau de la cornière extérieure



Photo.3.16 Propagation de la corrosion.



Photo.3.17 Cornière extérieure 7eme panneau.



Photo.3.18 Aile de cornière déformée.

f) Détail 6 : (cornière du 6eme panneau de contreventement)

De même que le 7ème panneau Les zones frappées par le choc d'accident sont corrodée après effritement de la peinture surtout sur la cornière extérieure



Photo.3.19 6ème panneau coté SEBDOU.



Photo.3.20 6ème panneau coté SEBDOU.

g) Les rivets

On a repéré plusieurs têtes de rivet en corrosion, et la partie autour sur la semelle.

Les têtes des rivets sous choc sont presque tous en état de corrosion.

Fissuration à partir d'un trou de rivet et disparition du rivet.

Corrosion de l'âme suite au vieillissement et effritement de la protection (peinture).

Les autres rivets sont toujours en bon état.



Photo.3.21 Rivets d'assemblage âme-semelle.



Photo.3.22 Tête de rivet.



Photo.3.23 Tête de rivet.



Photo.3.24 Trou de rivet sur semelle.

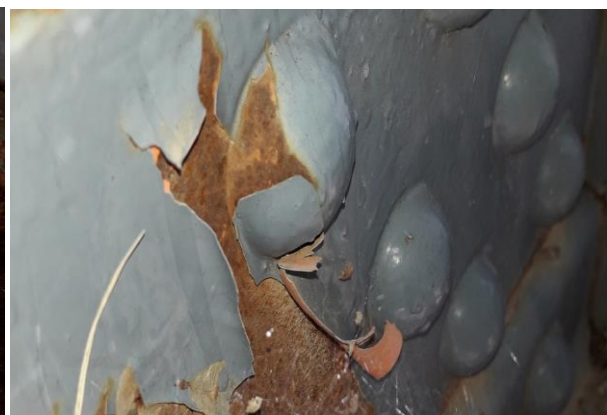


Photo.3.25 Ame poutre principale coté SEBDU.

h) Tablier :

Tôle striée arrachée déchirée avec poinçonnement au niveau d'assemblage

Déconsolidation d'attache rivetée poutrelle-tôle

La concentration de contrainte au niveau des trous de rivets favorise le déchirement des attaches.

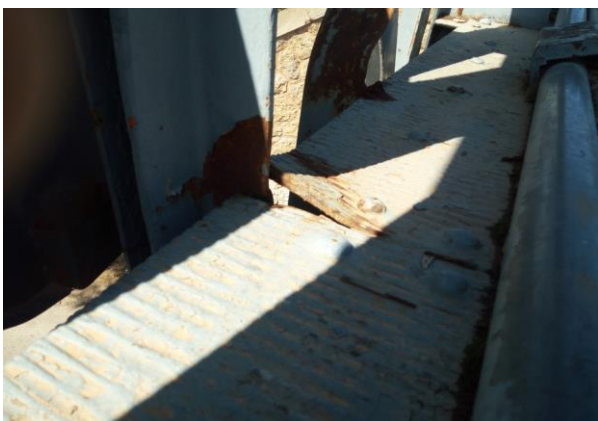


Photo.3.26 Tôle striée déformée au Montant.



Photo.3.27 Tôle striée déformée du tablier.



Photo.3.28 Déchirure de la tôle.

i) Poutre principale côté Nord (vers Ouled Mimoun)

Sur la poutre côté nord, on ne relève pas trop pathologies sur la semelle inférieure de la poutre 2, sauf quelques petites (éraillures, accidents et moins de corrosion).



Photo.3.29 Poutre principale coté nord.



Photo.3.30 Semelle inférieure.



Photo.3.31 Petite déformation de la semelle.

Tandis que les semelles supérieures sont en meilleur état, planes, non déformées et beaucoup moins corrodées.

Détails	Identification	Taux d'endommagement
1	Fibre inférieur du 5eme panneau	90%
2	Fibre inférieur du 6eme panneau	10%
3	Fibre inférieur du 7eme panneau	20%
4	poutrelle courante du milieu du pont	20%
5	cornière du 7eme panneau de contreventement	30%
6	cornière du 6eme panneau de contreventement	30%

Tableau.3.1 taux d'endommagement des détails du pont.

Conclusion

Le pont d'Ouled Mimoun est parmi les plus anciens ouvrage du réseau ferroviaire Algérien, il doit faire l'objet d'entretien et de surveillance surtout après les endommagements et déformations causés par les chocs des camions hors gabarit.

Suite à notre relevé pathologique et notre appréciation visuelle on peut dire que notre ouvrage se trouve dans un état grave.

Pour cela il y a lieu de vérifier sa résistance actuelle et proposer un programme de réparation éventuellement

CHAPITRE 4

ETUDE DU PONT D'OULED MIMOUN

4.1 Introduction

Le pont de Ouled Mimoun est un pont de liaison ferroviaire qui accomplit des fonctions de grandes importances, étant métallique (Fer puddlé), le pont fait face à de multiples pathologies telles que la corrosion et la fragilité aux chocs. De ce fait, nous nous intéressons dans ce chapitre à la vérification de sa résistance.

4.2 Présentation de l'ouvrage

4.2.1 Repère historique

Le pont métallique ferroviaire sur le chemin de grande communication de Sebdu à Ouled Mimoun (Lamoricière) est en service depuis 1890, réalisé dans le cadre du développement du chemin de fer lors de la période coloniale par la compagnie des chemins de fer de l'ouest en 1889 sur la ligne **Tabia-Tlemcen**

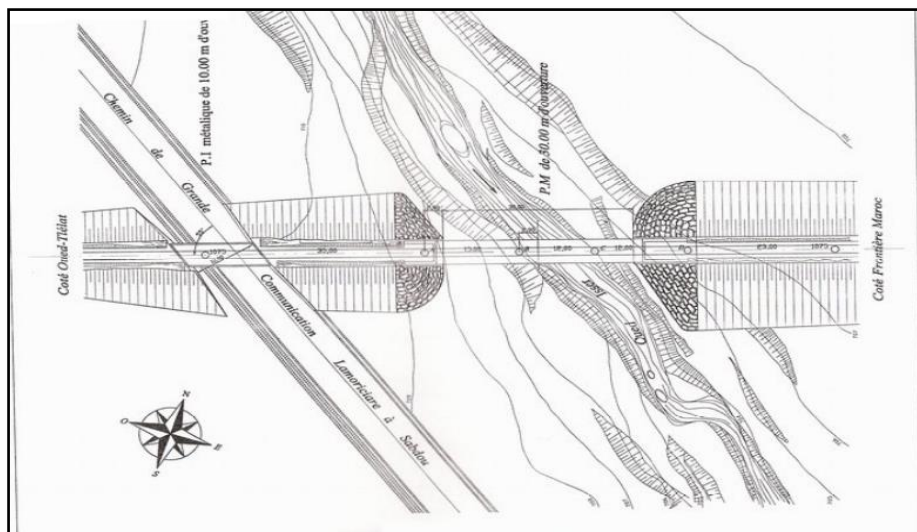


Fig.4.1 Plan de masse du pont.

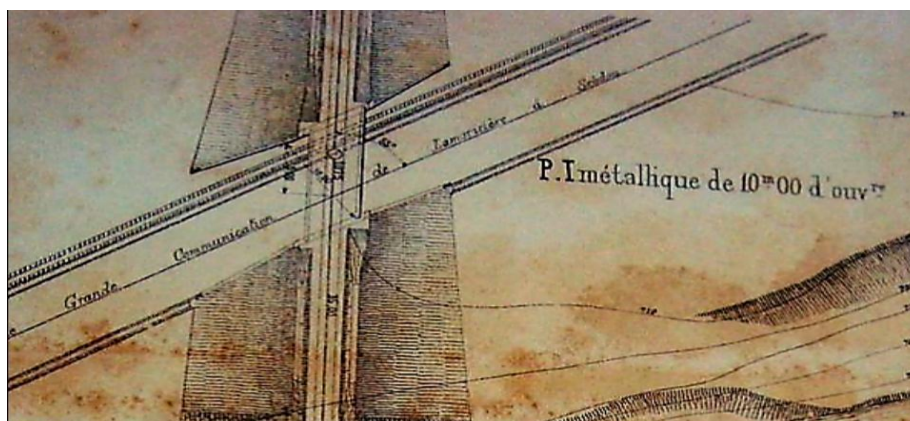


Fig.4.2 Vue plus rapprochée du pont.

4.2.2 Repère géographique

Le pont est situé à Lamoricière ancienne appellation d'Ouled Mimoun au niveau de la wilaya de Tlemcen .c'est un passage supérieur par apport à la route communale RN22B qui mène à Ain Isser au sud.



Photo.4.1 Vue de l'emplacement du pont (Google Maps).

4.2.3 Présentation géométrique de l'ouvrage

L'ouvrage est un pont métallique ferroviaire à poutres latérales en treillis d'une seule travée de 13.10 m de portée, il se compose de deux culées en maçonnerie, un tablier d'une largeur de 4,8m et une longueur de 13,6m, deux poutres principales de part et d'autre, de cinq poutrelles courantes et deux biaisés, quatorze longerons dont douze courants et deux en porte-à-faux, vingt-deux contreventements latéraux en croix dont onze de chaque côté, vingt-quatre montants, douze goussets et une tôle striée mince pour le tablier. [ANNEX A]

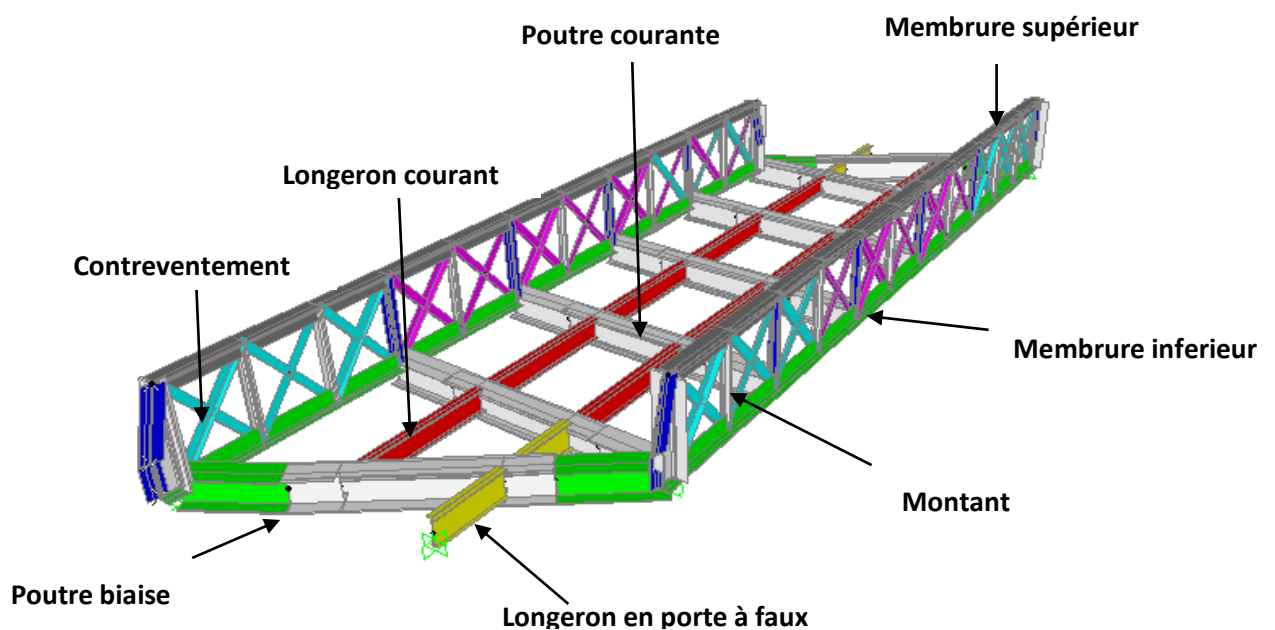


Fig.4.3 Schéma tridimensionnel du pont et ses composants.

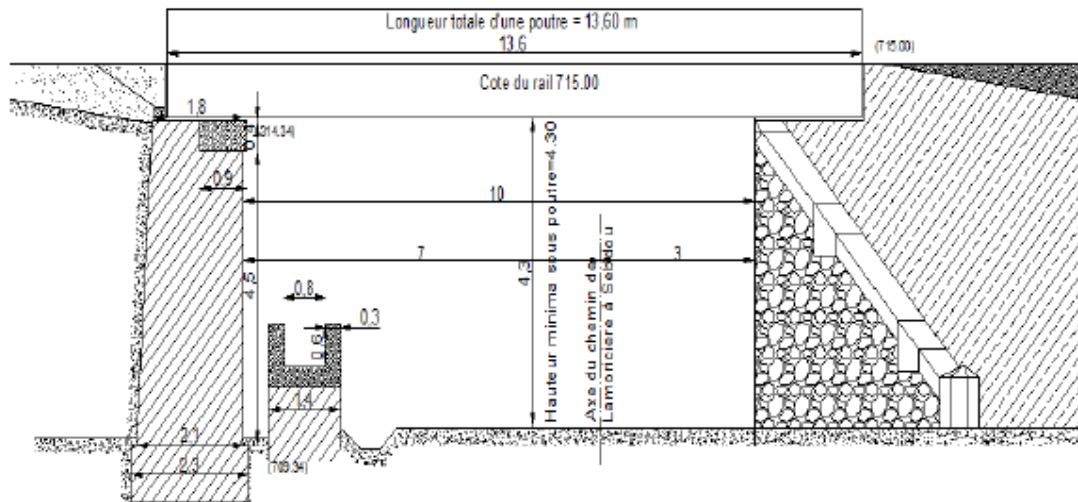


Fig.4.4 Coupe longitudinale et dimensions du pont.

A. Les poutres :

Deux poutres composées de deux membrures, supérieure et inférieure, espacées de 1500mm, et de 11 panneaux contreventés en croix de Saint-André, d'une longueur biaise de 13.6 m d'axe en axe des appareils d'appui .la longueur de travée est de 10m.

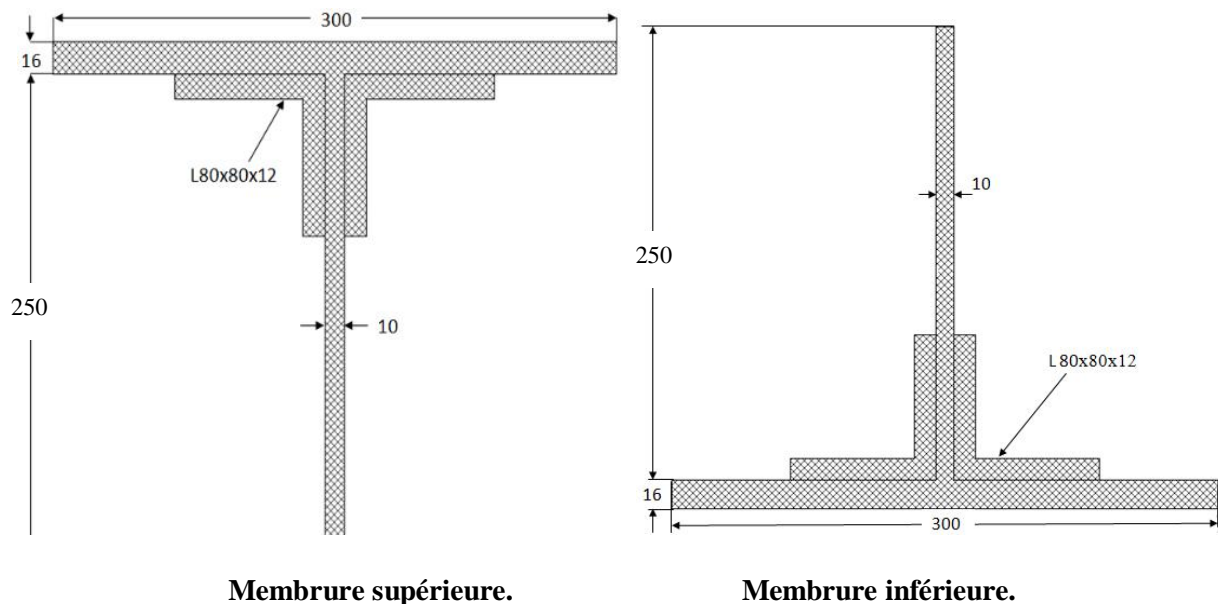


Fig.4.5 Détails géométriques de la poutre principale.

B. Les pièces de pont :

A sections variables, elles sont perpendiculaires à la poutre principale avec une portée de 4.8m et une hauteur d'âme de 450 mm.

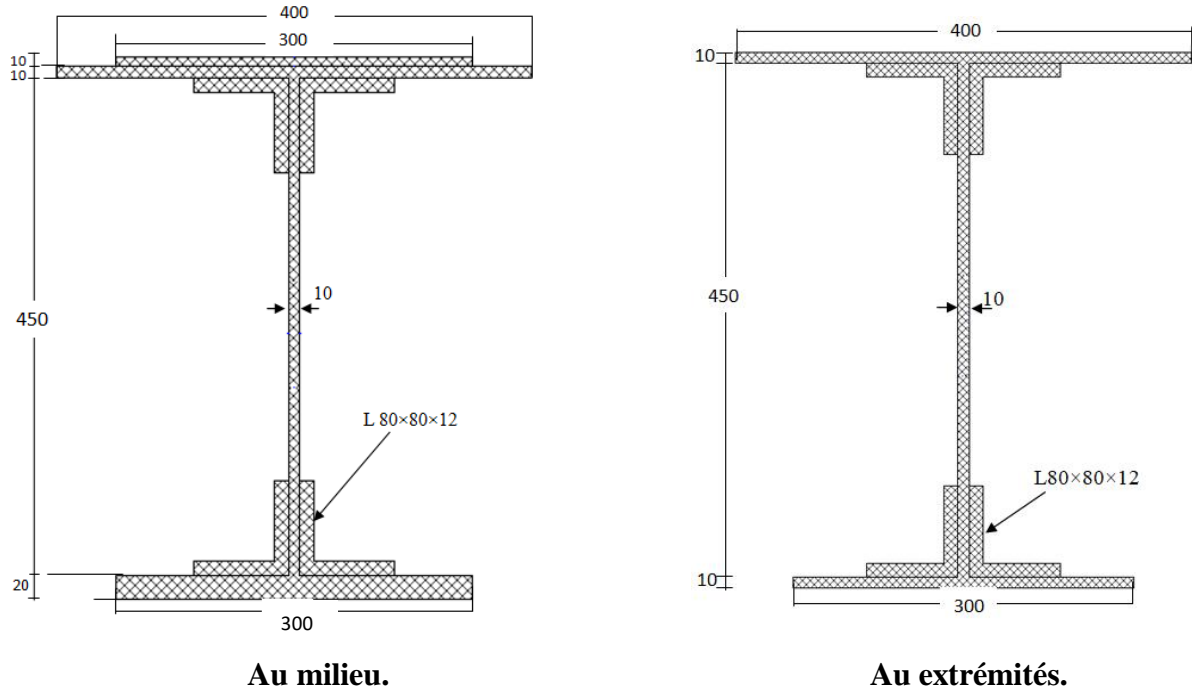


Fig.4.6 Détails géométrique des Pièces de pont.

C. Les poutrelles biaisées :

Deux à l'extrémités sur une portée de 56964mm a section variable, hauteur d'âme 500mm.

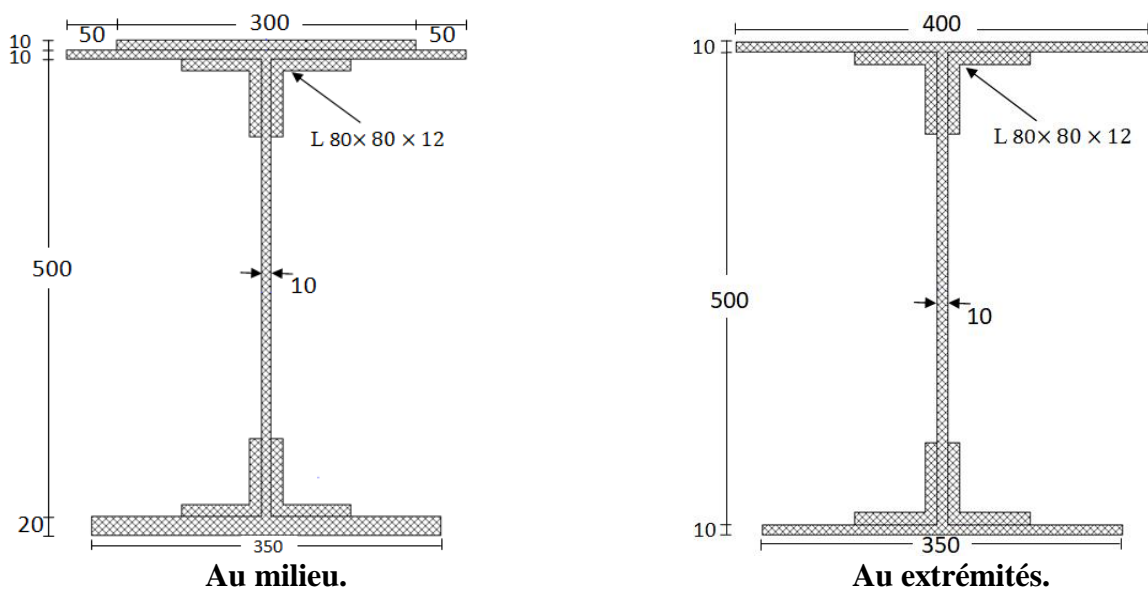


Fig.4.7 Détails géométrique de la Poutrelle biaisée.

D. Les longerons courants :

Ils sont parallèles aux poutres principales, Ils supportent les rails. Il y en a 10 d'une portée de 2.44 m et une hauteur d'âme de 350mm.

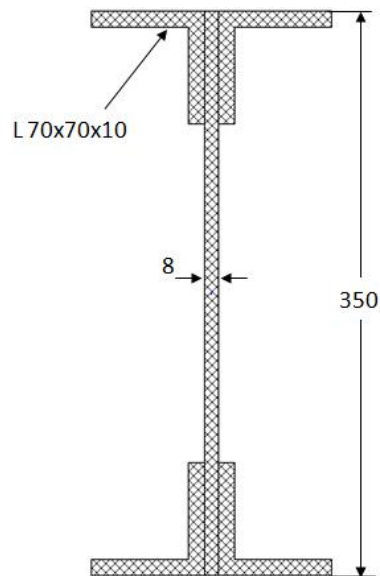


Fig.4.8 Détails géométriques des longerons courants.

E. Les longerons en porte à faux :

Ils sont deux de chaque extrémité d'une longueur de 1m et une hauteur d'âme dans la section ou se produit le moment fléchissant maximum de 425mm.

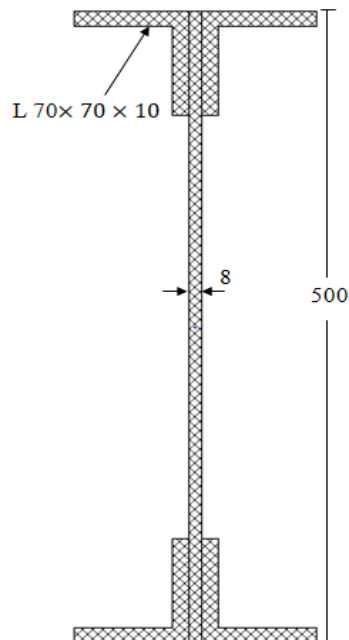


Fig.4.9 Détails géométriques des longerons en porte à faux.

F. Les contreventements :

Ils sont latéraux en nombre de 22 panneaux en croix de Saint- André. Leur section est comme dans :

- Du panneau 1 à 3 et 9 à 11 ; ils sont constitués de cornières L (125×90×14)

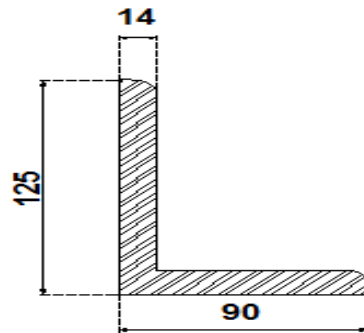


Fig.4.10 Détails géométriques du contreventement du panneau 1 à 3 et 9 à 11.

- Du panneau 4 à 8 ; ils sont fait de cornières L (125×90×11).

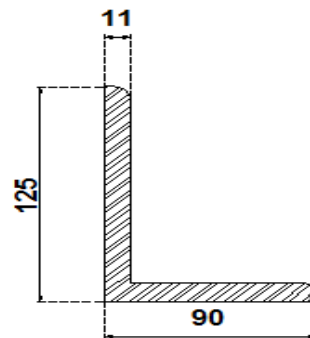


Fig.4.11 Détails géométriques du contreventement 4 à 8.

G. Les montants

En nombre de 28, 14 de chaque côté avec des sections différentes qui dépend de leur position

Montants extrémités :

- Les montants des extrémités sont 4 à chaque extrémité, ont une section comme montre la **figure.4.12**.

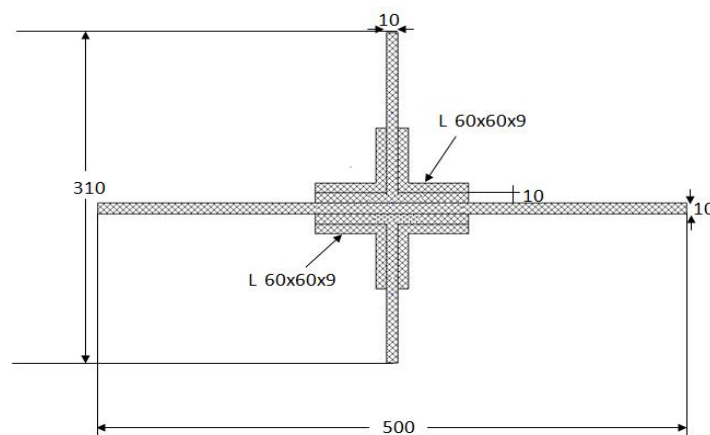


Fig.4.12 Détails géométriques des montants des extrémités.

- Les montants qui viennent au-dessus des poutrelles, en nombre de 8, 4 sur chaque poutre principale, avec un gousset intérieur ont la section montrée sur **la figure 4.13**

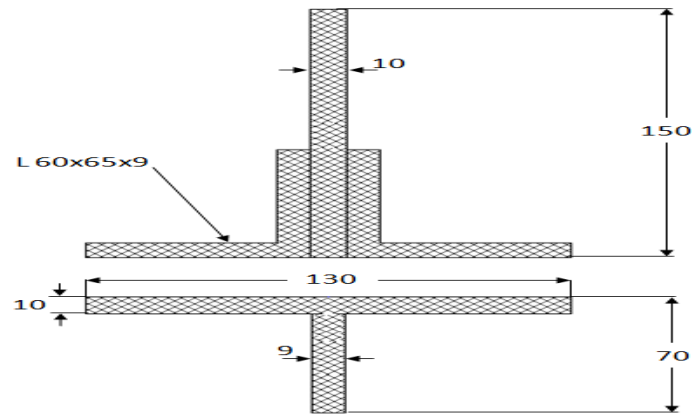


Fig.4.13 Détails géométriques des montants au-dessus des poutrelles.

- Les montants au-dessous desquels il n'y a pas de poutrelles, 6 de chaque part ont la section comme dans **la figure 4.14**

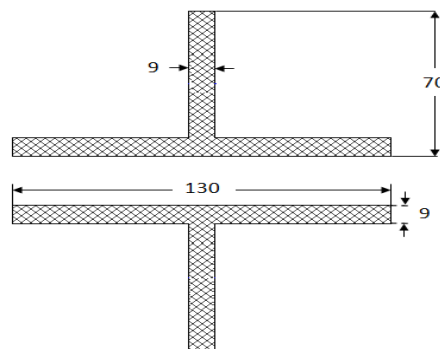


Fig.4.14 Détails géométriques des montants au-dessous desquels il n'y a pas de poutrelles.

- les montants inclinés, en nombre de 4 positionné près de chaque montant d'extrémité ont une section comme dans **la figure 4.15**

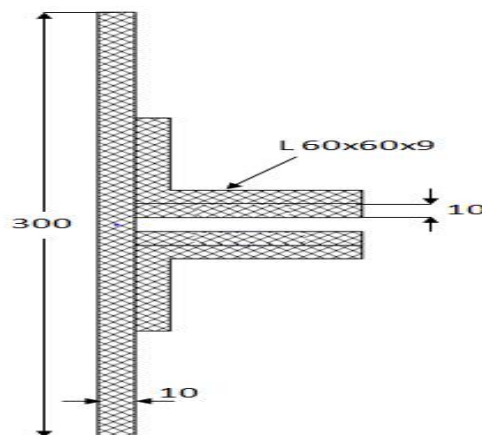


Fig.4.15 Détails géométriques des montants inclinés.

H. Le tablier :

Le tablier se compose d'une tôle métallique de 8 mm d'épaisseur, deux rails métalliques et de traverses en bois.



Photo.4.2 Vu supérieure du tablier du pont.

I. Les appuis :

Le pont a une seule travée et il est ainsi appuyé sur les deux culées en pierres côté Ouest et Est.

• Les culées

Les culées sont construites en maçonnerie de pierre de taille. Il a une hauteur totale de 4.50m.

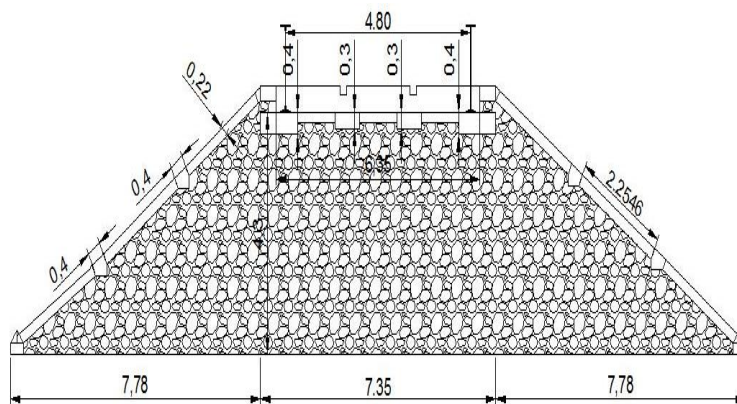


Fig. 4.16 Coupe en Elévation de la culée. [ANNEX B]

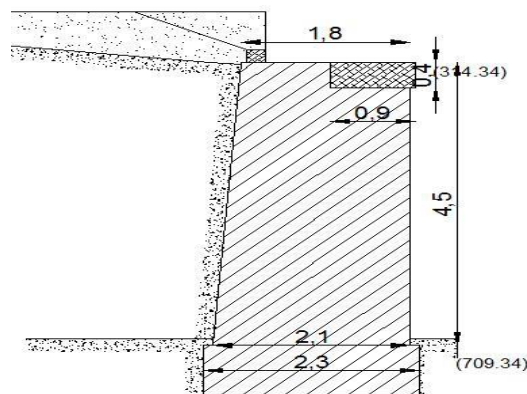


Fig.4.17 Coupe transversale de la culée. [ANNEX B]

- **Les appareils d'appuis**

Ce sont des éléments qui assurent la liaison entre les éléments principaux du pont et les culées et transmettent toutes les charges provenant du tablier.

Les 4 appareils d'appuis en fonte utilisés sont à balanciers. Ils sont de deux types : simple et double.

- L'appareil d'appui double se compose d'un balancier supérieur de 450 mm de largeur et d'un inférieur de 500 mm. Il se situe sur la culée côté Tabia.

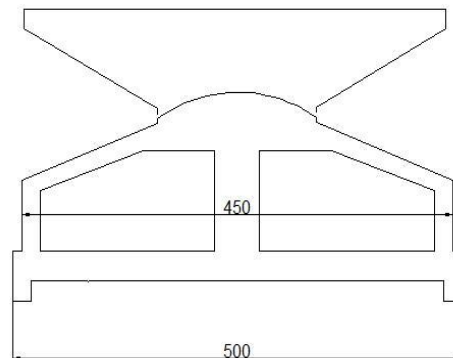


Fig.4.18 Détails géométriques de l'appareil d'appui double.

- L'appareil d'appui simple se compose d'un balancier supérieur de 450 mm de largeur, d'un inférieur de 500 mm de largeur et de cinq rouleaux en fer d'un diamètre de 70 mm.

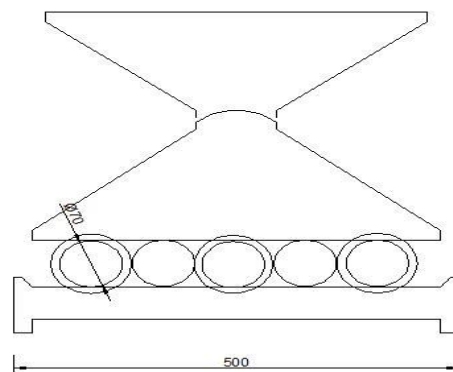


Fig.4.19 Détails géométriques de l'appareil d'appui simple.

J. Les matériaux

L'ouvrage est construit à partir de deux matériaux : le fer puddlé et la maçonnerie.

➤ **Fer puddlé :**

La partie métallique du pont est faite en fer puddlé dont les propriétés sont suivantes :

Poids volumique : 7300 kg/m³.

Coefficient de Poisson : 0.30.

Résistance élastique f_y : 227N/mm².

Résistance Rupture f_u : 385 N/mm².

Déformation élastique : 0.00118.

Déformation Rupture : 0.082.

Module d'élasticité E : 178500 N/mm². (13)

➤ **Maçonnerie**

La maçonnerie est utilisée pour la construction des culées. Ces dernières sont faites avec du moellon de pierre et de la pierre de taille.

4.3 Vérification de la structure du pont

La vérification aux états limites de service à réaliser est la suivante :

- Vérification de la flèche maximale : un moyen simple pour la vérification des poutres.
- Vérification par rapport aux actions sismiques : l'analyse sismique des structures se fait généralement par analyse modale spectrale.
- Vérifications des contraintes maximales :

Phase I : Evaluation des contraintes du pont sain.

Phase II : Evaluation des contraintes du pont endommagé.

4.3.1 Modélisation

Afin de mener l'analyse du comportement d'un ouvrage à bien, il est important de faire la modélisation qui doit être la plus proche et la plus réaliste pour une vérification de sa résistance la plus correcte possible.

Le logiciel utilisé est le SAP 2000. Ce dernier permet un calcul statique et dynamique en se basant sur la méthode des éléments finis (Fig. 4.20 et 4.21). Les différents éléments sont composés d'âmes et semelles attachées par des cornières et des rivets. La position et l'espacement des rivets dans assemblages et des poutres sont indéfinis. Nous avons négligé l'effet des assemblages rivetés

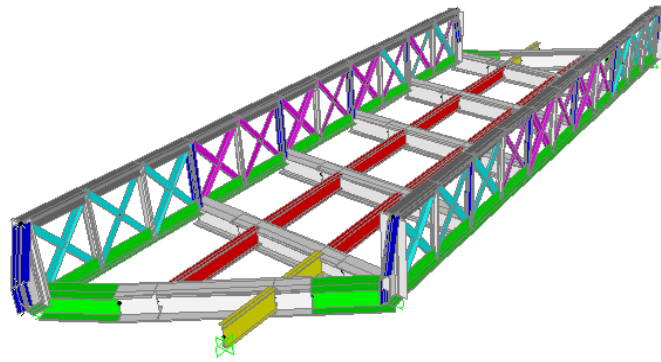


Fig.4.20 Modélisation 3D du pont métallique en éléments finis.

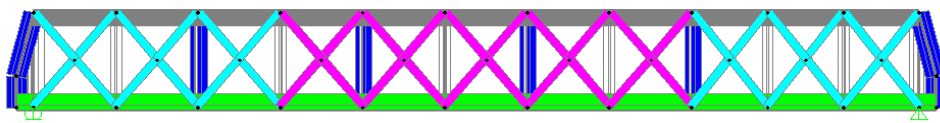


Fig.4.21 Modélisation 3D du pont métallique en éléments finis – vu longitudinale.

4.3.2 Evaluation des charges et surcharges

- Les charges permanentes proviennent du poids propre de la structure, du rail et des traverses en bois.
 - Rail métallique : $G=0.80$ KN/ml.
 - Traverses en bois : $G=1.0$ KN/ml.
- Pour les surcharges d'exploitation, on adopte les surcharges ferroviaires normalisées type UIC71

4.3.3 Vérification de la flèche :

La vérification de la flèche a été faite par le cas de charge (UIC71).

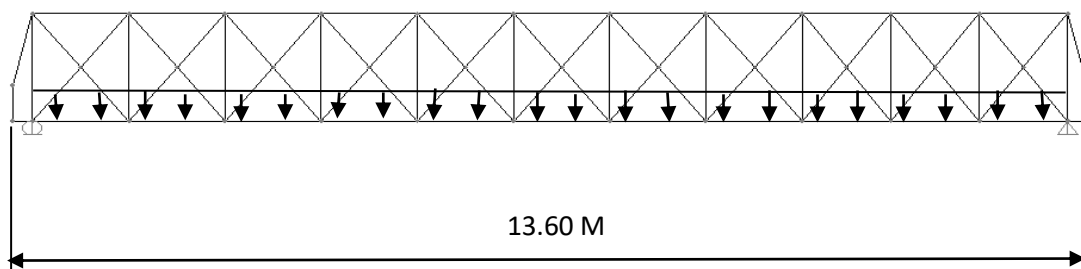


Fig.4.22 Chargement du pont.

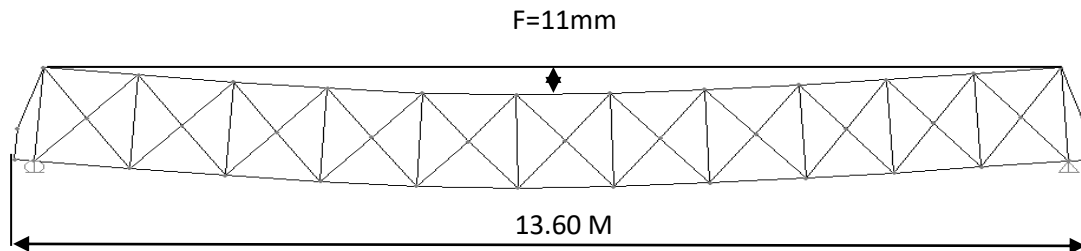


Fig.4.23 Flèche du pont à l'ELS.

La limite de la flèche pour un pont est de $F = \frac{L}{300}$

Le calcul a donné : $F = 11 \text{ mm (Sap2000)} < \frac{L}{300} = 45,33 \text{ mm}$ **condition vérifiée.**

4.3.4 Calculs et vérifications du pont à l'état limite de service :

Pour la vérification du pont sain à L'ELS on doit déterminer les contraintes de tous les éléments du pont en prenant en compte les surcharges suivantes :

a. La charge mobile du train (UIC71)

Le modèle de charge UIC 71 représente l'effet statique dû à un trafic ferroviaire standard. Il ne décrit pas de charges réelles. Il a été sélectionné afin que ses effets et les majorations dynamiques étant prises en compte séparément, représentent ceux du trafic réel. La disposition et les valeurs caractéristiques des charges verticales doivent être les suivantes :

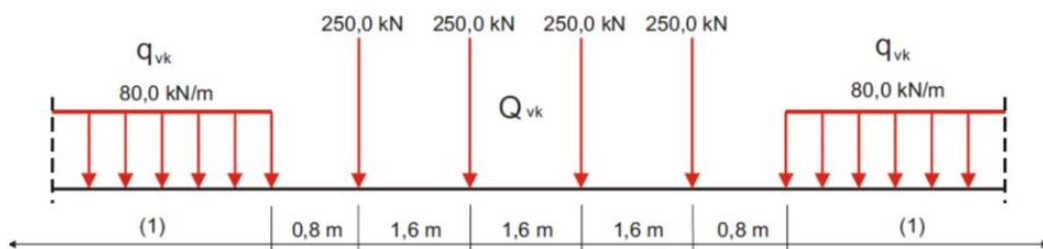


Fig.4.24 Charge mobile sur la longueur du pont (UIC71).

La charge uniformément répartie doit être appliquée selon les lignes d'influence.

b. La charge sismique

Le calcul sismique a pour objectif la détermination de la réponse d'un ouvrage à un mouvement tellurique sollicitant ses fondations. On entend par réponse le calcul des sollicitations, des déplacements, des vitesses et des accélérations subis par l'ouvrage. Ce calcul, qui relève du domaine de la dynamique des structures, se révèle délicat du fait de l'aspect aléatoire de l'excitation.

Dans le cas de notre étude, on ne prend en compte que le séisme transversal car dans la direction longitudinale des ponts sensiblement rectilignes à tablier continu, la déformation du tablier dans le plan horizontal est négligeable par rapport aux appuis (culées).

b.1 Données et règlement de calcul

Le règlement utilisé est le RPOA 2008 [12] (règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art).

– Classification du pont :

Le pont enjambe la voie de grande communication Sebdoù à Lamoricière et porte une voie ferroviaire, donc il appartient au Groupe 2 : Pont Important (RPOA2008).

– Classification de la zone :

Zone I faible activité sismique (wilaya de Tlemcen). [ANNEX C]

– Coefficient d'accélération de la zone :

Zone I, Groupe 2 **R .P.O.A 2008** $A=0,15$.

–Classification du site :

Catégorie **S3** : Site Meuble : Dépôts de sables et graviers moyennement denses ou argile moyennement raide avec $V_s \geq 200$ m/s à partir de 20m de profondeur. [ANNEX D]

b.2 Détermination des actions sismiques

L'action sismique résulte des mouvements du sol qui sont pris en compte sous deux aspects :

- une translation d'ensemble (tous les points du sol se déplacent en phase) dans chacune des trois directions de l'espace ;
- un déplacement différentiel entre points du sol dans chacune des trois directions de l'espace.

Ce déplacement différentiel dépend de la distance entre les points et des caractéristiques géotechniques et topographiques du site.

Pour le mouvement sismique de calcul, la translation d'ensemble est définie par le coefficient d'accélération de zone A, un spectre de réponse horizontal valable pour les deux composantes horizontales du mouvement et un spectre de réponse verticale valable pour la composante verticale du mouvement.

Le déplacement différentiel entre points du sol est défini par le même coefficient d'accélération de zone A.

Les spectres de réponses, élastiques ou de dimensionnement, dépendent de la catégorie du site de l'ouvrage, du coefficient d'accélération de zone (A) et du taux d'amortissement critique (ξ)

par le biais du facteur de correction d'amortissement ($\eta = \sqrt{\frac{7}{2+\xi}}$).

b.3 Spectre de réponse élastique

Le spectre de réponse élastique constitue généralement la donnée de base pour le calcul sismique.

Composante verticale

Le spectre de réponse élastique pour la composante verticale est défini pour un taux d'amortissement $\xi = 4\%$ ($\eta = 1,85$).

$$S_{ae}^v(T)(m/s^2) = \begin{cases} \alpha \cdot A \cdot g \left(\frac{1.5T}{T_1} \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5 \cdot \alpha \cdot A \cdot g & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5 \cdot \alpha \cdot A \cdot g \left(\frac{T_2}{T} \right) & T_2 \leq T \leq 0.3 \text{ s} \\ 2.5 \cdot \alpha \cdot A \cdot g \left(\frac{3T_2}{T^2} \right) & T \geq 0.3 \text{ s} \end{cases}$$

g : Accélération de la pesanteur ($9,81 \text{ m/s}^2$).

A : Coefficient d'accélération de la zone ($A=0,12$).

α : Coefficient qui tient de l'importance de la composante verticale en zone de forte sismicité
 $\alpha=0,7$ pour la zone 1.

T_1, T_2 : Périodes caractéristiques associées à la catégorie du site données dans le tableau :

site	S3
T_1	0.20
T_2	0.40
S	1.2

Tableau.4.1 Valeurs caractéristiques du site meuble de l'ouvrage.

Le calcul a donné les résultats suivants :

$$Sae^{\nu}(T)(m/s^2) = \begin{cases} 0.7 \times 0.12 \times 9.81 \left(\frac{1.5T}{0.20} \right) & 0 \leq T \leq 0.20 \\ 2.06 & 0.20 \leq T \leq 0.40 \\ \left(\frac{0.82}{T} \right) & 0.40 \leq T \leq 3.0 \text{ s} \\ \left(\frac{2.47}{T^2} \right) & T \geq 3.0 \text{ s} \end{cases}$$

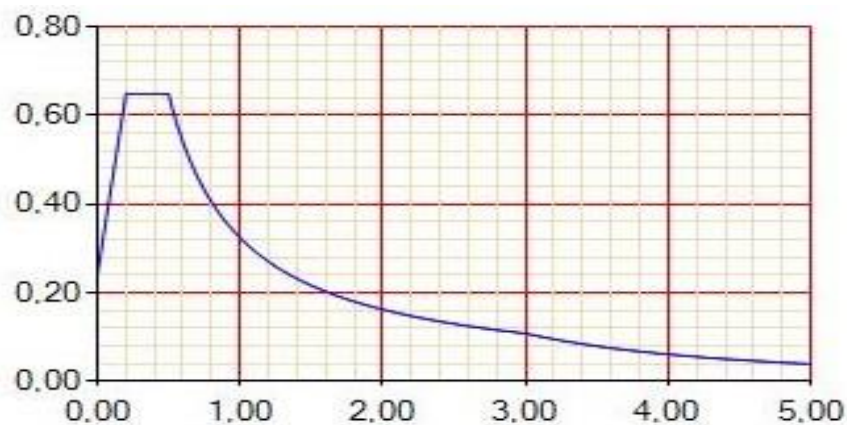


Fig.4.25 Spectre de réponse élastique (composante verticale) du site de l'ouvrage.

4.3.5-Combinaisons des composantes de l'action sismique :

La combinaison des forces sismiques orthogonales est employée pour tenir compte de l'incertitude directionnelle du séisme.

L'effet probable de l'action maximale E , dû à l'apparition simultanée des actions sismiques

le long des axes horizontaux X et Y et de l'axe vertical Z , peut être estimé, à partir des effets d'actions maximales E_x , E_y et E_z dus à l'action sismique indépendante le long de chaque axe, comme suit :

Les effets des différentes composantes du mouvement d'ensemble sont combinés de la manière suivante :

$$E = E_x \pm 0.3 E_y \pm 0.3 E_z$$

$$E = E_y \pm 0.3 E_x \pm 0.3 E_z$$

$$E = E_z \pm 0.3 E_x \pm 0.3 E_y$$

Où :

E_x , E_y et E_z sont les effets des actions sismiques dans chacune des directions respectives X , Y et Z

4.3.6-Vérification de la résistance

- Combinaisons des actions de calcul

$$G + E_x \pm 0.3 E_y \pm 0.3 E_z \quad C1$$

$$G + E_y \pm 0.3 E_x \pm 0.3 E_z \quad C2$$

$$G + E_z \pm 0.3 E_x \pm 0.3 E_y \quad C3$$

G : valeur nominale des charges permanentes,

E : action sismique limitée au mouvement d'ensemble, obtenue par la combinaison la plus défavorable des composantes de l'action sismique.

- La combinaison de calcul avec laquelle nous avons travaillé est donc $G+E$ ou $E = E_z$.

On vérifie la résistance avec la charge permanente et les combinaisons suivantes :

- $G+Q$

- $G+E$

- $G+0.8Q+E$

G : Valeur nominale des charges permanentes ;

Q : Surcharge d'exploitation ;

E : Charge sismique.

$$\sigma (y)=\pm\frac{N}{A} + \frac{M.Y}{I}$$

M : moment max de l'élément.

N : effort normal correspondants.

A : la section de l'élément.

I : moment d'inertie.

Y : distance de centre de gravité.

S'il s'agit d'un effort normal de compression nous introduisons une valeur N positive.

S'il s'agit d'un effort normal de traction nous introduisons une valeur N négative.

Le moment on le prend avec son signe depuis SAP2000 directement.

Pour les montants et diagonales on néglige M (M=0).

$$\Delta\sigma = \frac{\sigma(\text{endomagé})-\sigma(\text{sain})}{\sigma(\text{sain})}$$

σ_a : déférence relative des contraintes.

Les résultats des contraintes maximales des combinaisons (**G+Q**) sont dressés dans le tableau (4.2) suivants

éléments		G+Q (sain)	G+Q (endommagé)	$\Delta\sigma$ (%)
Poutre biaise	M max	790.685	793.996	
	N corés	0.773	0.028	
	σ (N/mm ²)	247.407	248.404	0.4 %
	M min	-157.682	-157.634	
	N corés	-1.671	-119.283	
	σ (N/mm ²)	-49.418	-55.529	12.36 %
Poutre Membrure inferieur	M max	21.036	19.887	
	N corés	125.977	79.961	
	σ (N/mm ²)	102.950	100.810	-2.07 %
	M min	-39.558	-38.487	
	N corés	-2.720	-40.742	
	σ (N/mm ²)	-186.016	-182.210	-1.81 %
Poutre Membrure supérieur	M max	12.963	20.272	
	N corés	-39.913	-38.774	
	σ (N/mm ²)	69.483	91.363	31.4 %
	M min	-13.670	-13.933	
	N corés	-181.293	-183.744	
	σ (N/mm ²)	-95.854	-97.590	1.8%
Longeron Courant	M max	152.844	155.153	
	N corés	-0.598	-0.777	
	σ (N/mm ²)	173.612	176.349	1.5 %
	M min	-351.250	-351.325	
	N corés	0.040	0.445	
	σ (N/mm ²)	-370.143	-379.174	2.4 %
Longeron en porte à faux	M max	219.283	218.418	
	N corés	-3.219	-6.952	
	σ (N/mm ²)	190.678	189.490	-4.73 %
	M min	-330.188	-343.439	
	N corés	5.645	3.482	
	σ (N/mm ²)	-287.022	-298.820	4.24 %

Tableau.4.2 Tableau des contraintes.

éléments		G+Q (saint)	G+Q (endmg)	$\Delta\sigma$ (%)
Poutre centre	M max	872.072	869.951	
	N corés	6.829	9.595	
	σ (N/mm2)	231.198	230.753	-0.1 %
	M min	-68.742	-70.634	
	N corés	-1.199	-0.708	
	σ (N/mm2)	-18.252	-18.732	2.62 %
Poutre extrémité	M max	324.607	323.522	
	N corés	6.249	9.830	
	σ (N/mm2)	110.972	110.795	-0.15 %
	M min	-109.394	-102.785	
	N corés	0.079	0.444	
	σ (N/mm2)	-37.280	-35.008	-6.09 %
Contreventement 1-3/ 9-11	M max			
	N corés	333.945	333.325	
	σ (N/mm2)	118.670	118.452	-0.18 %
	M min			
	N corés	-330.635	-331.226	
	σ (N/mm2)	-117.496	-117.706	0.17 %
Contreventement 4-8	M max			
	N corés	190.875	245.849	
	σ (N/mm2)	67.830	109.558	61.51 %
	M min			
	N corés	-181.334	197.766	
	σ (N/mm2)	-64.439	-88.131	36.76 %
Montants extrémité	M max			
	N corés	23.688	29.315	
	σ (N/mm2)	1.645	2.035	7.05 %
	M min			
	N corés	-208.135	-222.716	
	σ (N/mm2)	-14.453	-15.466	7 %

Tableau.4.2 (Suite).

éléments		G+Q (saint)	G+Q (endmg)	$\Delta\sigma$ (%)
Montants inclinée	M max			
	N corés	23.945	37.146	
	σ (N/mm²)	3.863	5.993	55.13 %
	M min			
	N corés	-110.487	-101.961	
	σ (N/mm²)	-17.826	-16.450	-7.71 %
Montants avec poutre	M max			
	N corés	126.257	136.371	
	σ (N/mm²)	23.260	25.123	8 %
	M min			
	N corés	-14.733	-57.246	
	σ (N/mm²)	-2.714	-10.546	288 %
Montants sans poutre	M max			
	N corés	14.067	18.657	
	σ (N/mm²)	4.091	5.426	32 %
	M min			
	N corés	-3.558	-126.354	
	σ (N/mm²)	-1.034	-36.752	345 %

Tableau.4.2 (Suite).

➤ Observations

Les résultats obtenus montrent que les contraintes dans les éléments du pont sont admissibles or que la poutre biaise, courante et le longerons travaillent dans le domaine plastique

En prenant compte des endommagements des éléments les contraintes ont augmenté vu la redistribution des efforts.

- **Poutre biaise :**

Les contraintes ont augmenté, la différence relative est de $\Delta\sigma\% = 12.36\%$
la poutre biaise travaille dans le domaine plastique pour les deux cas sain et endommagé

- **Poutre fibre inférieure :**

Les contraintes ont diminué vu la prise en compte des endommagements situé sur cet élément la différence relative est faible, entre -1.81% et -2.07%

L'élément n'a pas atteint le domaine plastique

- **Poutre fibre supérieure :**

Contrairement à la fibre inférieure, moins sollicité et les contrainte ont augmenté $\Delta\sigma\% = 31.4\%$,

L'élément travaille toujours dans le domaine élastique

- **Longerons courant :**

L'élément travaillent dans le domaine plastique dès le début (pour les deux cas) la différence relative est de +2.4%

- Les efforts normaux sont faibles par rapport aux moments fléchissant.

- **Longerons en porte à faux :**

Les contraintes ont augmenté sur une partie, et diminué sur une autre.

Partie d'augmentation $\longrightarrow \Delta\sigma\% = + 4.24\%$

Partie de diminution $\longrightarrow \Delta\sigma\% = - 4.73\%$

Egalement aux longerons courant l'élément est soumis à des efforts trop faibles par rapport au moment fléchissant.

L'élément est sollicité a une contrainte plastique.

- **Poutre courante :**

Sollicités aux moments fléchissant positifs important par rapport aux autres éléments du pont, les contraintes n'ont pas beaucoup changés si on remarque que la différence relative était entre -0.1% et +2.62%.

- **Contreventement 1-3 / 9-11 :**

Il a subit un changement presque négligé, et il est encore au domaine plastique.

- **Contreventement 4-8 :**

Malgré qu'il a subit une augmentation importante des contraintes ($\Delta\sigma\% = +61.51\%$), mais il est resté toujours a l'état élastique.

- **Les montants :**

- Les montants intermédiaires avec et sans poutre ont subi une énorme évolution des contraintes entre 288% et 345%, sauf que les deux restent aussi dans le domaine élastique.

Les montants incliné et montant d'extrémités n'ont pas subi de grande évolution.

Conclusion

Malgré que pour le moment le pont assure toujours son fonctionnement et certains partie sont toujours dans le domaine plastique, mais d'autres éléments porteurs travaillent dans le domaine plastique, d'autre aussi ne participent à la résistance ou l'équilibre que a de faible valeurs, ceci nous conduit à une redistribution des efforts qui avance la plasticité des éléments, alors que certains éléments prennent déjà le chemin vers des contraintes inadmissibles.

Pour éviter la ruine inattendue de l'ouvrage, on peut noter qu'une intervention en urgente doit se faire, dans le chapitre suivant nous proposons une démarche de diagnostic à établir pour le renforcement du pont.

CHAPITRE 5

RENFORCEMENT DU PONT

5.1 Introduction

Le pont d'Ouled Mimoun est un ancien ouvrage du réseau ferroviaire Algérien. Assurer son bon fonctionnement relève une importance capitale pour le transport ferroviaire entre Tlemcen et Oran.

Il a été relevé depuis longtemps des problèmes de corrosion qui atteignaient certaines parties des pièces de pont et aussi la partie basse des poutres principales. Ces corrosions étaient causées souvent suite à l'écaillage de la peinture ou à cause du choc de camions hors gabarit depuis plusieurs années.

A la suite de plusieurs visites, on a relevé des corrosions et de nouvelles déformations, dues aux chocs. On s'est aperçu qu'il était urgent de réparer les corrosions nombreuses et très importantes et surtout les endommagements plus ou moins graves relevés au cours de nos visites.

Il a donc été décidé d'établir une démarche de diagnostic, pour un projet de réparation et de renforcement de l'ouvrage, ou plus exactement, de le réparer de manière à reconstituer les sections initiales qui auraient été encore suffisantes, sans les corrosions, et à remplacer les pièces déficientes.

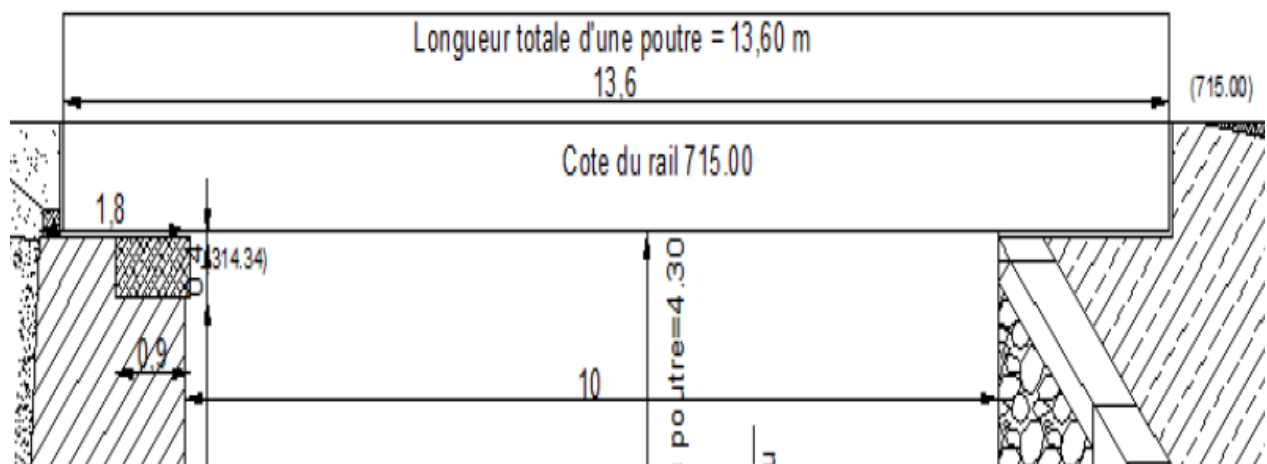


Fig.5.1 Géométrie de l'ouvrage.

5.2 Projet de réparation

Le projet de réparation doit suivre une démarche et une méthodologie assez rigoureuse et précise pour assurer d'une part sa bonne exécution et aussi ne pas perturber la stabilité de l'ouvrage. Pour cela, il y a lieu de suivre les étapes suivantes :

a. Arrêter la circulation des voitures routières sous le pont :

L'entretien de ce pont sera très difficile car il est extrêmement pénible de rester sous le tablier du pont en raison du trafic. Pour cela, un arrêt de la circulation sous le pont et sa déviation par un autre chemin qui relie Sebdoù à Ouled Mimoun est obligatoire.

b. Etayer la structure

L'étayage de la structure sera fait à l'aide de deux portiques métalliques placés de part et d'autre sous les nœuds (3) et (9) voir (voir Fig.5.2). Les portiques seront dimensionnés par rapport au poids de la structure (poids du pont = 22.36 tonnes)

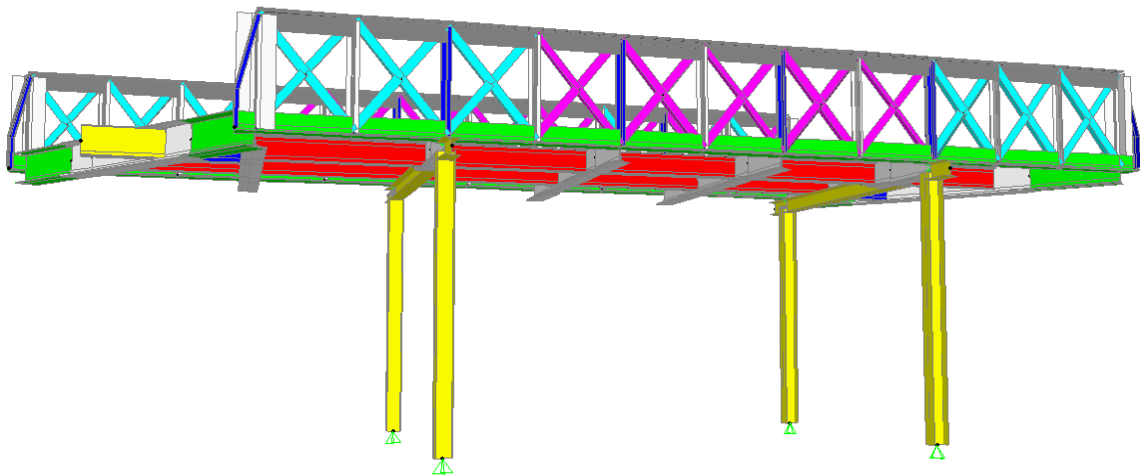


Fig.5.2 Etayage de la structure du pont.

On a proposé un portique (poteaux-poutre) en HEA240.

Profilé	Poids	Section	Dimensions					Caractéristiques			
	Kg/m		Cm ²	h mm	b mm	t _f mm	t _w mm	D Mm	I _y mmx10	I _z mmx10	W _{pl,y} mm ³
HEA240	60,3	76,8	230	240	12	7,5	164	10,05	6	744, 6	351, 7

Tableau.5.1 Caractéristiques du HEA240.

D'après le Logiciel SAP2000, la valeur de l'effort normal au niveau du poteau HEA240 sous la combinaison G est :

$$N_{sd} = -65.930 \text{ kN}$$

- **Classe de la section transversale du profilé HEA 240 :**

➤ Classe de l'âme comprimée :

$$\frac{d}{t_w} \leq 33\varepsilon \quad \text{Avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{164}{7.5} = 21.86 < 33$$

L'âme est de classe 1.

➤ Classe de la semelle comprimée :

$$\frac{c}{t_f} \leq 10\varepsilon \quad \Rightarrow \quad \frac{c}{t_f} = \frac{b}{t_f} = \frac{240}{12} = 10 = 10$$

La semelle est de classe 1.

$$N_{sd} \leq N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$\lambda = \frac{\lambda}{\lambda_1} \sqrt{\beta_A} = \frac{\lambda}{93.9\varepsilon}$$

$\beta_A = 1$: Pour les sections de classe 1.

$\bar{\lambda}$: Élancement réduit.

$$(\gamma_{M1} = 1.1)$$

λ : Élancement pour le mode de flambement a considéré :

$$\lambda = \frac{l_f}{i}$$

$$i_y = 10.05 \text{ cm} ; i_z = 6 \text{ cm}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{h}{b} = \frac{230}{240} = 0,95 < 1,2 \\ t_f = 12 \text{ mm} < 100 \text{ mm} \end{array} \right.$$

Donc les courbes de flambement considérées par chaque axe sont :

$$\text{Axe (y-y) : courbe b} \quad \rightarrow \quad \alpha = 0,34$$

$$\text{Axe (z-z) : courbe c} \quad \rightarrow \quad \alpha = 0,49$$

- **Plan (y-y) :**

$$\lambda_y = \frac{L_f}{i_z} = \frac{L}{6} = \frac{410}{6} = 68.33 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = 0,72$$

- **Plan (z-z) :**

$$\lambda_z = \frac{L_f}{i_y} = \frac{L}{10,05} = \frac{410}{10,05} = 40.79 \quad \Rightarrow \quad \bar{\lambda}_z = 0,43$$

$$\lambda = \max(\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z) = \bar{\lambda}_y = 0,72$$

- χ : Est déterminé en fonction de $\bar{\lambda}$ et la courbe de flambement b

$$\chi = \frac{1}{(\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2})}$$

Avec : $\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$

D'où $\phi = 0,88$

$$\chi = 0,721$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0.721 \cdot 1.76.8.235.10^{-3}}{1.1} = 118.296 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = 65.930 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 118.296 \text{ kN} \quad \dots \text{ Condition vérifiée}$$

Les poutres seront en HEA240. On ajoutera des vérins d'ajustement pour caler correctement les portiques d'étayage.

c. Eliminer les éléments endommagés et déformés

i. Membrane inférieure :

On doit exécuter un découpage de la (membrane inférieure de la poutre principale coté Sebdu, du nœud 5 au 8) ; sauf que pour des raisons économique et pratique il est recommandé de faire un démontage au milieu de la membrane inférieure du 4^{ème} et 8^{ème} panneau vu le recouvrement déjà existant. Donc il suffit d'enlever les rivets des nœuds (5, 6, 7 et 8), et mettre en œuvre les couvre joints puis remplacer les rivets par des boulons tout en augmentant les diamètres des trous de 2mm. **(Voir fig.5.8)**

ii. Couvre Joint :

Pour les éléments de la membrane inférieure très endommagée (âme et semelle), il y a lieu de faire des coupures (oxycoupage) pour les éliminer et les remplacer par des fers plats de même épaisseur (10mm). L'assemblage avec les éléments anciens se fera par des liaisons en couvre joints.

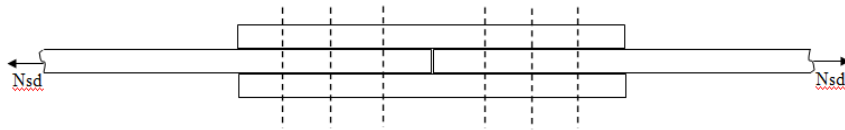


Fig.5.3 Assemblage bout à bout par couvre joint (vu de dessus).

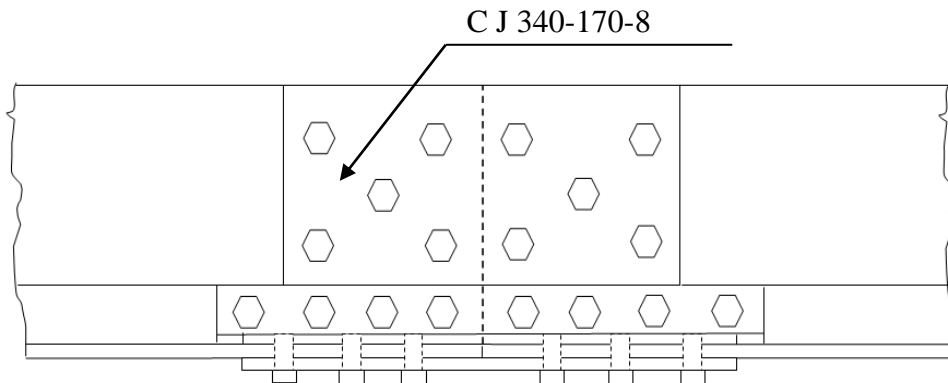


Fig.5.4 Assemblage bout à bout par couvre joint (vu de face).

• **Résistance au cisaillement des boulons :**

Avec la condition $F_{vsd} \leq F_{vrd}$

F_{vrd} : la résistance de calcul au cisaillement pour un seul boulon.

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \times A_s \times f_{ub} \times m}{\gamma_{Mb}} \quad ; \gamma_{Mb} = 1,25 \quad (\text{CCM97 Tableau 65. 3})$$

Où m est le nombre de sections cisillées par boulon.

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \times 192 \times 800 \times 2}{1,25} = 147.456 \text{ kN}$$

$$N = \frac{Nsd}{n} = \frac{945}{23} = 41.08 \text{ kN} < F_{v,Rd} = 147.456 \text{ kN} \quad \text{.....Condition vérifiée}$$

• **Vérification de la pression diamétrale :**

$$F_{V,sd} \leq F_{b,Rd} \quad \text{avec} \quad F_{b,Rd} = k_1 \times \alpha \times f_u \times d \times t / \gamma_{M2}$$

La valeur déterminante pour k1 est généralement 2,5

La valeur déterminante pour α_b est $\frac{e_1}{3d_0} - \frac{35}{60} = 0.583$

t : l'épaisseur la plus mince entre l'âme et le couvre joint : $t=tp=0,8\text{cm}$

d : diamètre de boulon $d=1\text{cm}$

$F_{b,Rd} = 2,5 \times 0.583 \times 360 \times 20 \times 8 / 1,25$

$F_{b,Rd} = 67161,6 \text{ N} = 67.1616 \text{ kN}$

41.08 kN < 67,1616 kN.Condition vérifiée

iii. Cornières de contreventement :

Il y a lieu de remplacer les éléments « a » et « b » par de nouvelles cornières de même dimension en respectant le nombre de rivet d'assemblage et en les remplaçant par des boulons HR. (Voir fig.5.8)

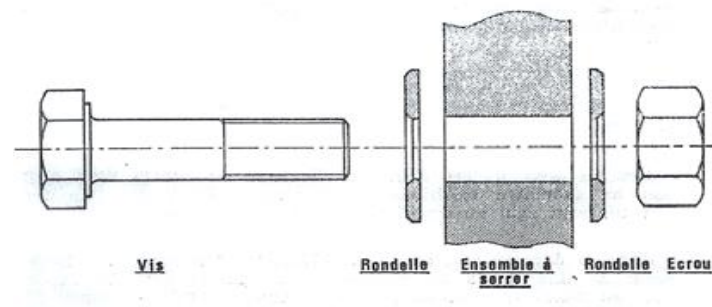


Fig.5.5 Boulon HR de type courant. (9)

iv. Vérification des rivets :

Les rivets, qui doivent satisfaire aux prescriptions d'assemblage, font l'objet d'un contrôle visuel qui porte sur les têtes de rivets.

Le contrôle du serrage des pièces par le rivet est effectué en sonnant les rivets par martelage avec une masse de l'ordre de 500 grammes.

Le règlement Européen précise les critères d'acceptation :

- Les têtes de rivets doivent être centrées. Le décentrage de la tête par rapport à l'axe de la tige ne doit pas être supérieur à $0.15 d_0$, où d_0 est le diamètre du trou.
- Les têtes de rivets ne doivent présenter ni gerçures, ni cratères.
- Les rivets doivent présenter un contact satisfaisant avec les pièces assemblées, aussi bien au niveau de la surface extérieure des épaisseurs que dans le trou. Aucun mouvement, ni vibration ne doit être détectée.

- Une légère collerette régulière et bien centrée ne peut être acceptée que si un nombre restreint de rivets du groupe sont concernés.
- Les faces extérieures des pièces qui ne doivent pas présenter de marque causée par la riveteuse peuvent être spécifiées.
 - Pour le changement des rivets défectueux et si nécessaire, les trous sont alésés au diamètre immédiatement supérieur aux dimensions des rivets éliminés et les éléments assemblés endommagés doivent être réparés.

En cas de rivet mal posé, les travaux de dérivetage seront conduits avec précaution. Ceux-ci sont interdits si la température du métal est inférieure à 5°C.

d. Traitement de surface

• Sablage :

Le sablage industriel des métaux, aussi appelé **grenailage** ou **décapage** ou décalaminage consistant à appliquer par projection pneumatique la grenaille abrasive mélangée avec de l'air comprimé par un flexible terminant par une buse. Ce principe permet de retirer toutes les aspérités ainsi que tous les points de corrosions et neutralise les défauts de surfaces brutes de fonderie ou avec de la rouille ou de pièces déjà traitées avec de la peinture, vernis, ou toute autre couche superficielle.

Une fois que les surfaces sont parfaitement décapées nous pouvons poursuivre aux étapes suivantes. (15)

• Peinture :

Les systèmes appliqués sont choisis dans la liste des systèmes certifiés par l'Association pour la Certification et la Qualification en Peinture Anticorrosion (ACQPA). Cette liste vise les structures en mer, mais aussi les ouvrages de Génie Civil ou les bâtiments, les structures industrielles ainsi que les équipements divers en fer, fonte ou acier dont les éléments ont une épaisseur minimale de 3 mm. Sont concernés les travaux neufs et la maintenance des ouvrages dont les supports sont, soit bruts, soit galvanisés, soit métallisés. La marque ACQPA attribuée aux systèmes de peinture offre aux maîtres d'ouvrages (état, collectivités territoriales) un ensemble de garanties (tenue anticorrosion supérieure à 15 ans). (8)

Constitution du système sur acier	n° de certification des produits (1)	dénomination commerciale (2)	nature	épaisseur sèche (µm) (3)	
				contractuelle	maximale
couche 1 couche 2 couche 3	ACQPA 22122	Gehopal L330 Metallgrund Gehopon LAC Eisenglimmer Gehopal L77	<i>pvc alkyde phosphate de zinc</i>	80	
	ACQPA 32132		<i>pvc acrylique oxyde de fer micacé</i>	80	
	ACQPA 32142		<i>pvc acrylique</i>	80	
Epaisseur contractuelle du système				240	

	ACQPA 22122				ACQPA 32132				ACQPA 32142			
	comp. A	tolérance	comp. B	tolérance	comp. A	tolérance	comp. B	tolérance	comp. A	tolérance	comp. B	tolérance
Masse volumique (g/cm ³)	1,40	±0,05			1,43	±0,05			1,29	±0,05		
Extrait sec en masse (%)	66,0	±2,0			65,2	±2,0			60,2	±2,0		
Teneur en cendre (%)	39,5	±3,0			36,0	±3,0			28,5	±3,0		

Fig.5.6 Données Certifiées par l'ACQPA. (15)

Conditions atmosphériques durant l'application et le séchage :	ACQPA 22122		ACQPA 32132		ACQPA 32142	
	température (mini/maxi)	hygrométrie (mini/maxi)	température (mini/maxi)	hygrométrie (mini/maxi)	température (mini/maxi)	hygrométrie (mini/maxi)
Température du support (mini/maxi)	PR +3°C / 40°C		PR +3°C / 40°C		PR +3°C / 40°C	

Fig.5.7 Valeurs Spécifiées par l'ACQPA. (15)

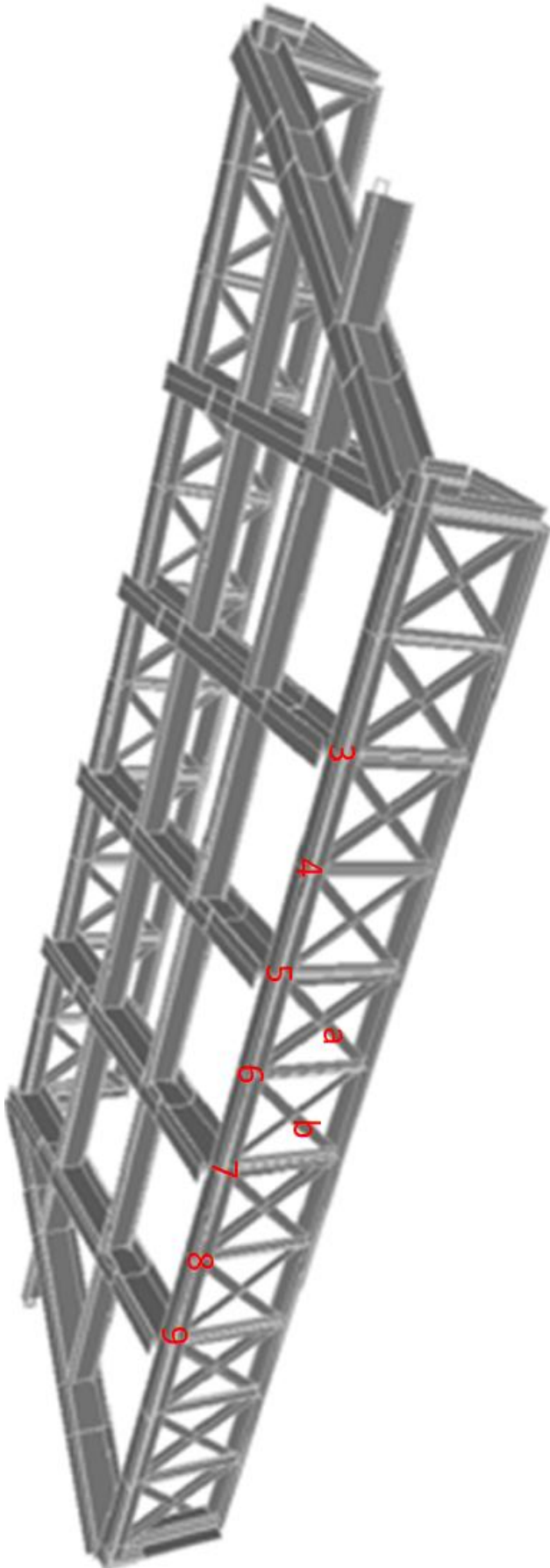


fig.5.8 Identification des éléments endommagés du pont.

CONCLUSION GENERALE

L'analyse par éléments finis du pont étudié a permis de déterminer les contraintes maximales appliquées sur les éléments de la structure suivant l'action des charges ferroviaires normalisées.

Les contraintes étaient plus importantes et en état d'endommagement vu la redistribution des efforts suite aux endommagements. Les montants et contreventements des poutres principales sont faiblement sollicités, par contre la membrure inférieure est plus sollicitée que la membrure supérieure. Les poutres biaisent, courantes et les longerons travaillent dans le domaine plastique.

Le pont assure toujours ses fonctions d'exploitation. Il résiste toujours face aux charges sismiques mais beaucoup moins aux surcharges d'exploitation vu que certains éléments sont très sollicités notamment le longeron qui est sous-dimensionné et qui travaille dans le domaine plastique que ce soit pour l'ouvrage dans son état initial ou endommagé.

Notre structure étudiée qui est un pont ferroviaire métallique fait partie du patrimoine historique des ouvrages d'art anciens qui depuis leur construction, il y a 130 ans, leur utilisation a sans trêve progressé, ce qui a conduit logiquement à leur vieillissement. Leur état de service doit faire l'objet d'un suivi permanent et d'une maintenance adaptée selon leur typologie. L'entretien et l'exploitation doivent être appropriés aux hypothèses prises en compte lors de la conception et le dimensionnement de l'ouvrage.

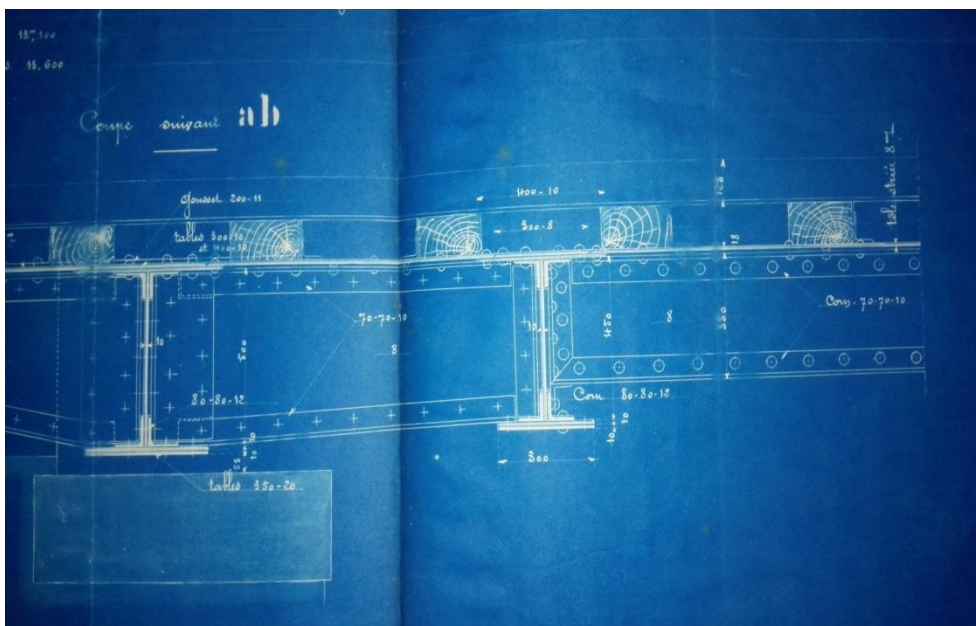
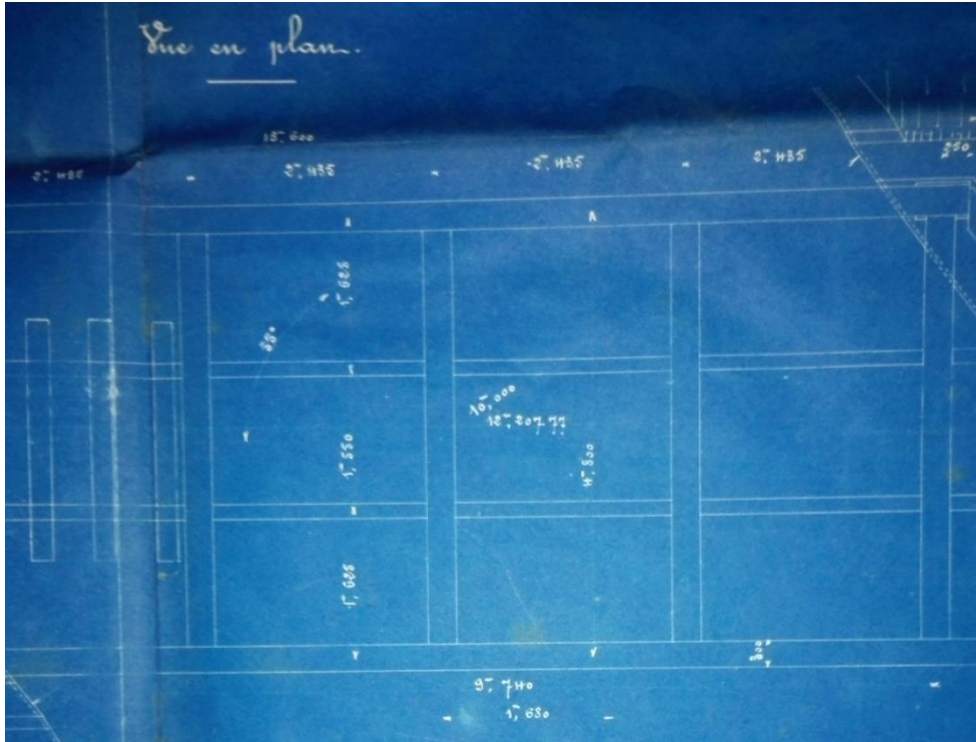
Depuis la construction des ouvrages d'art, les conditions d'exploitation ont sans cesse évolué et les conditions climatiques ont changé, ce qui a eu pour conséquence d'accélérer les phénomènes de vieillissement dont la fatigue qui est l'élément le plus dangereux pour l'ouvrage.

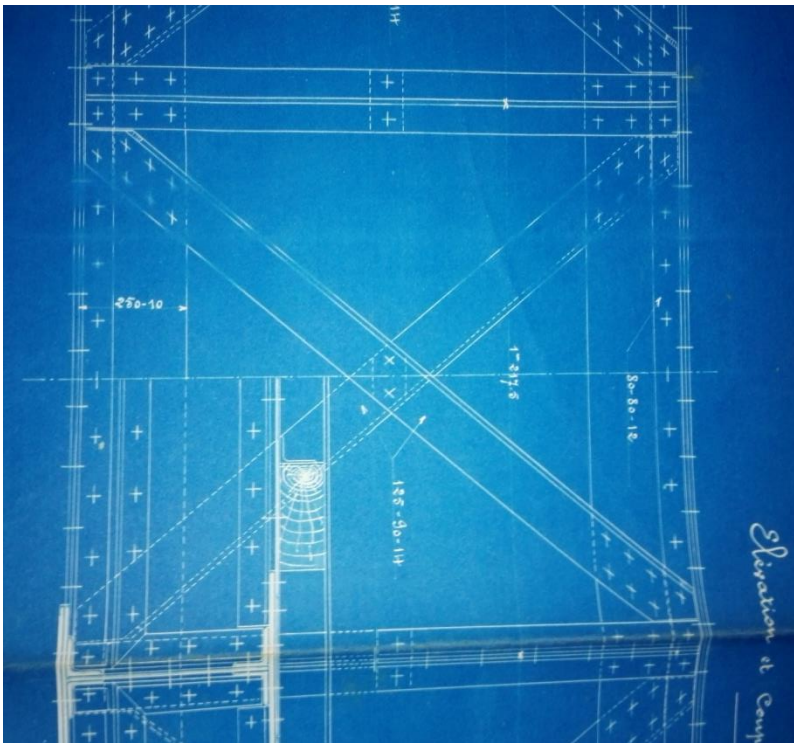
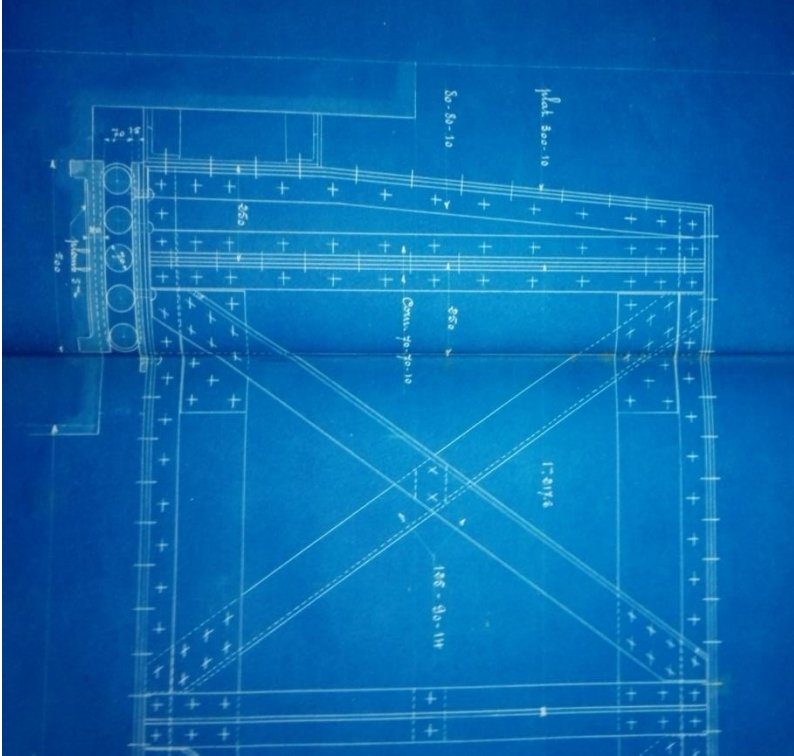
Références Bibliographiques

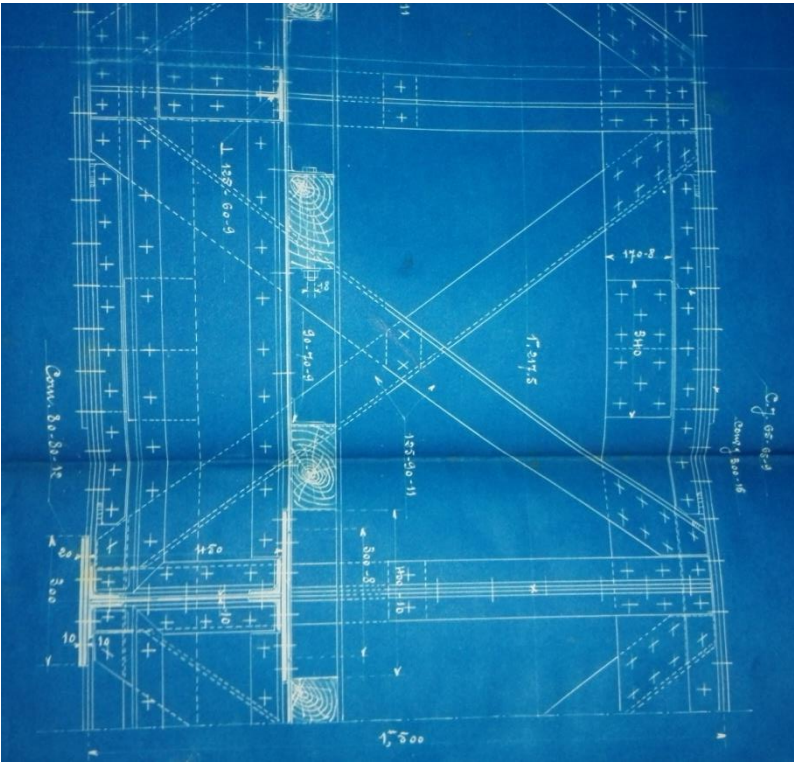
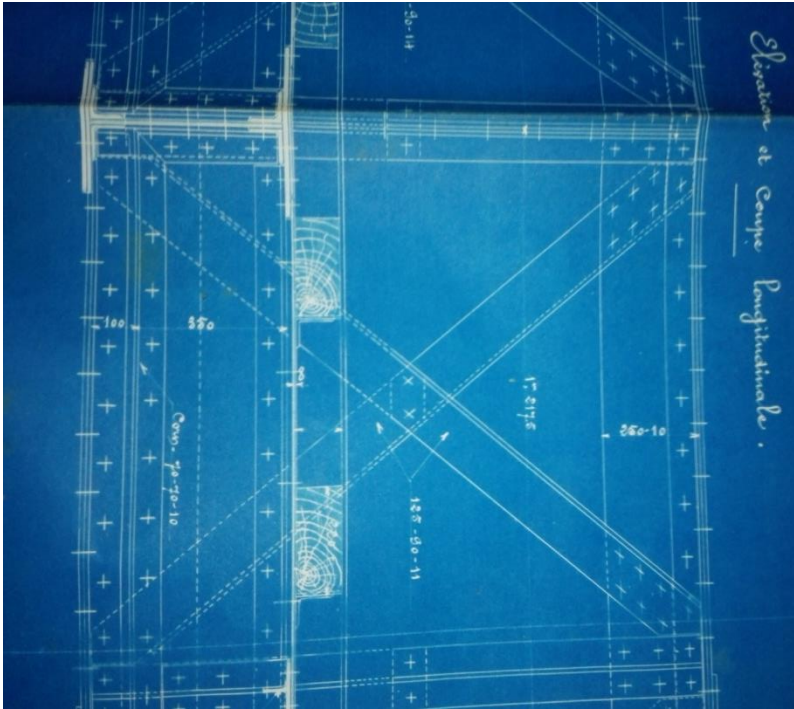
- (1) Algérie. Lignes de chemin de fer construites au 19^{ème} siècle, **Georges Pilot**. Comité génie civil et bâtiment. IESF. Paris. **Janvier 2012**
- (2) **SNTF** (Société National de Transport Ferroviaire), **Site web 2013**
- (3) LE DEVELOPPEMENT DES CHEMINS DE FER EN ALGERIE Par **Pierre MORTON** - Février 2000
- (4) Cours de Ponts mixtes 2014-2015 Enseignant : **A. NEHAOUA**
- (5) Ouvrages du génie civil français dans le monde, Ponts et viaducs 1820-1915, **Geroges Pilot, Jean-Louis Bordes**
- (6) Histoire du rail en Suisse et perspectives pour le futur **Citrap Lausanne, Le 20 novembre 2017**
- (7) Etude de la portance d'un pont métallique ancien à SABRA, Wilaya de TLEMCEM, **Merad Boudia Sofiane Boumedyen et Bali Yassine, PFE 2012**
- (8) Cours, REHABILITATION ET MAINTENANCE DES CONSTRUCTIONS METALLIQUES, 2017-2018 par **Prof. BOUMECHRA Nadir**
- (9) Réparation et Rénovation des structures métalliques, Édition du syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures (STRRES), 2008
- (10) Evaluation de la résistance d'un pont métallique a treillis ancien (pont ferroviaire sur Oued Isser, OULED MIMOUM), **BENMOKRANE Aicha et BIB Abdelkrim, PFE 2013.**
- (11) Document technique réglementaire : Règles définissant les charges a appliquer Pour le calcul et les épreuves des ponts routes.
- (12) Règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art **RPOA 2008**
- (13) Expertise du pont biais ferroviaire de 10m d'ouverture à OULED MIMOUM(1889)-Ouvrage endommagé en 2013., **BOUDGHENE STAMBOULI Lamia et KERMAD Mohammed Fayssal**
- (14) Cours, Pathologies des ouvrages d'art par **Prof. BOUMECHRA Nadir**
- (15) ACQPA (Association pour la Certification et la Qualification en peinture Anticorrosion) **Site web 2019**

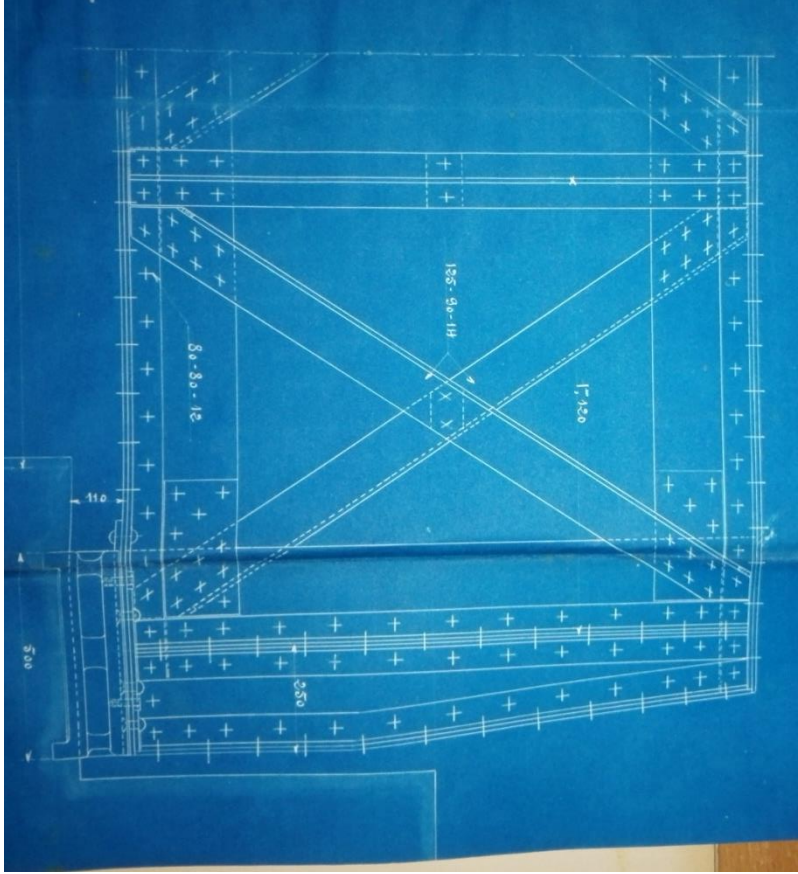
ANNEX A

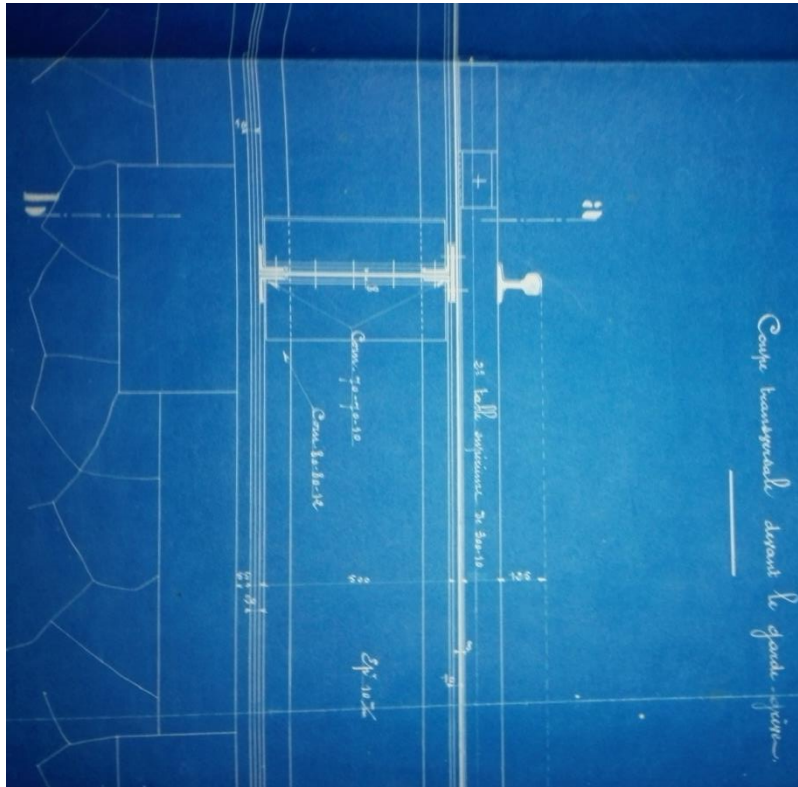
Plans du pont











ANNEX B

Dessin maçonnerie

Compagnie des Chemins de Fer de l'Ouest Algérien

Dossier	DA 31
S ^e Dossier	
Pièce N ^o	3
Annexe N ^o	

Service de la Construction

Ligne de Tabia à Tlemcen

Carte comprise entre Lamoricière et la Saf Saf

Pont biais de 10,00 d'ouverture droite
au p^t 10,75+5,00

Dessin des maçonneries

Approuvé
Décision m. du 4^e Juillet 1889

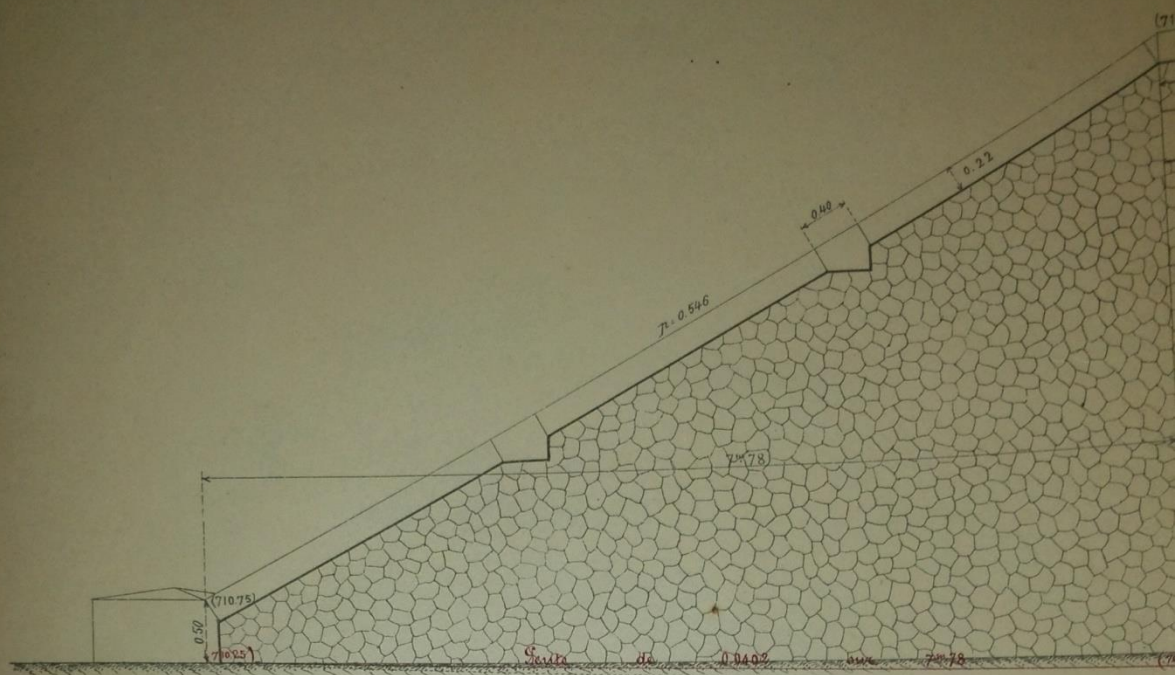
Vu et approuvé :
Oran le 18 Janvier 1889
Le Directeur des Services de la Compagnie
Signé: Cholet

Vu et Visé
Oran le 8 Janvier 1889
L'Ingénieur de la Compagnie
Signé: Ploc

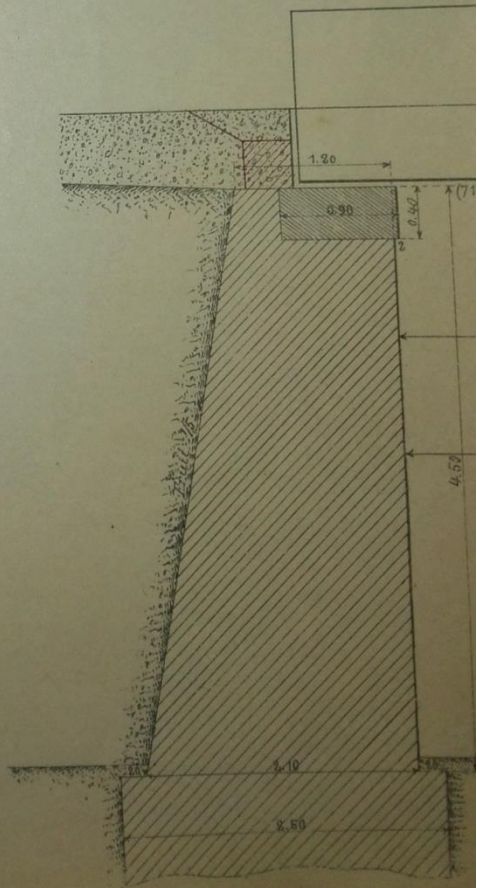
Vu et Validé :
Oran le 19 Janvier 1889
L'Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées,
Ingénieur en Chef de la Compagnie,
Signé: Bontellier

Vu et Validé :
Oran le 19 Janvier 1889
Le Président de la Compagnie
Mr Administrateur Délégué
Signé: Lucien Boidet

PONT MET

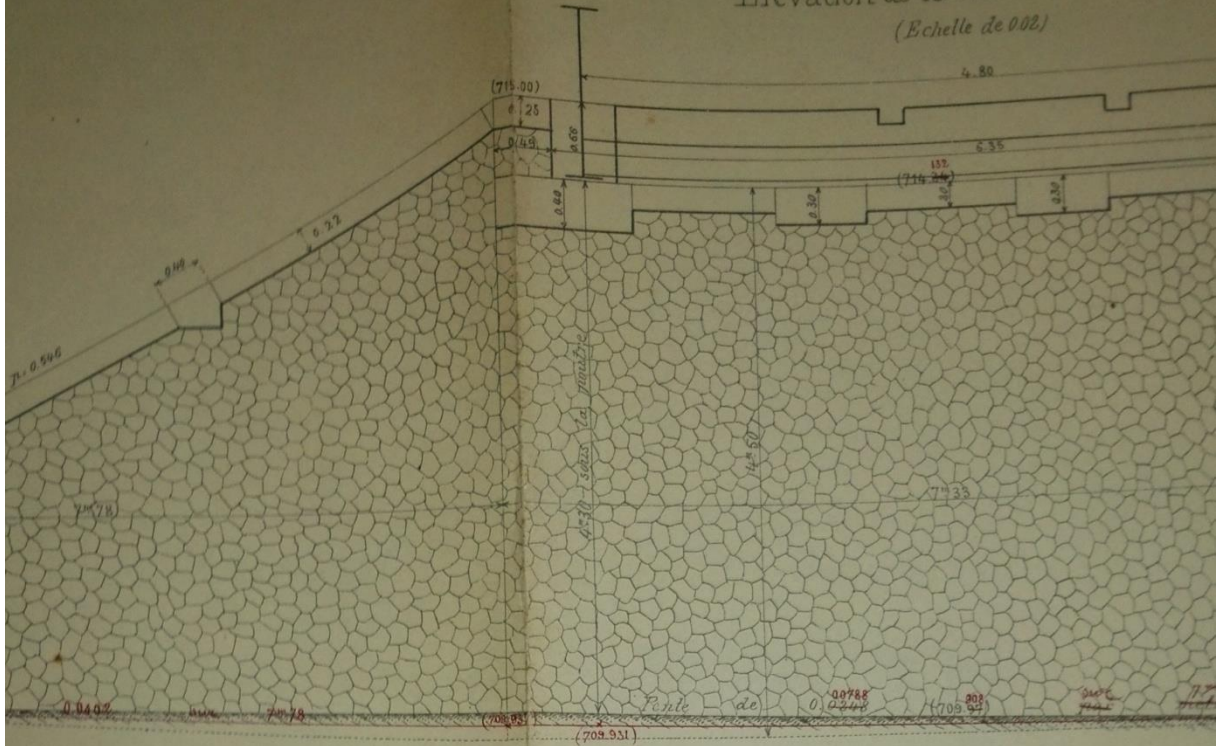


Demi Coupe



PONT METALLIQUE DE 10^m00 D'OUVERT

Elevation de la culée Tlencen
(Echelle de 002)

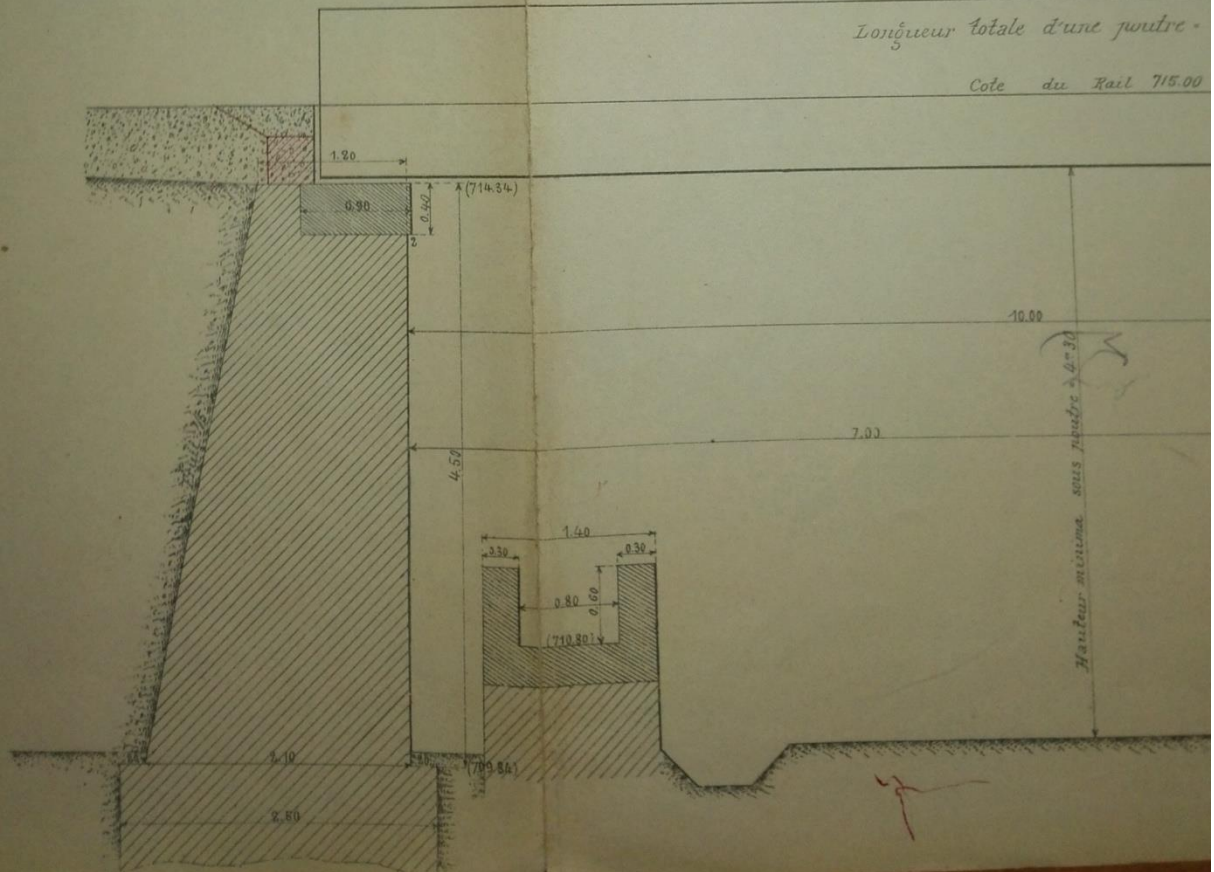


Demi Coupe

normales à l'axe du Chemin

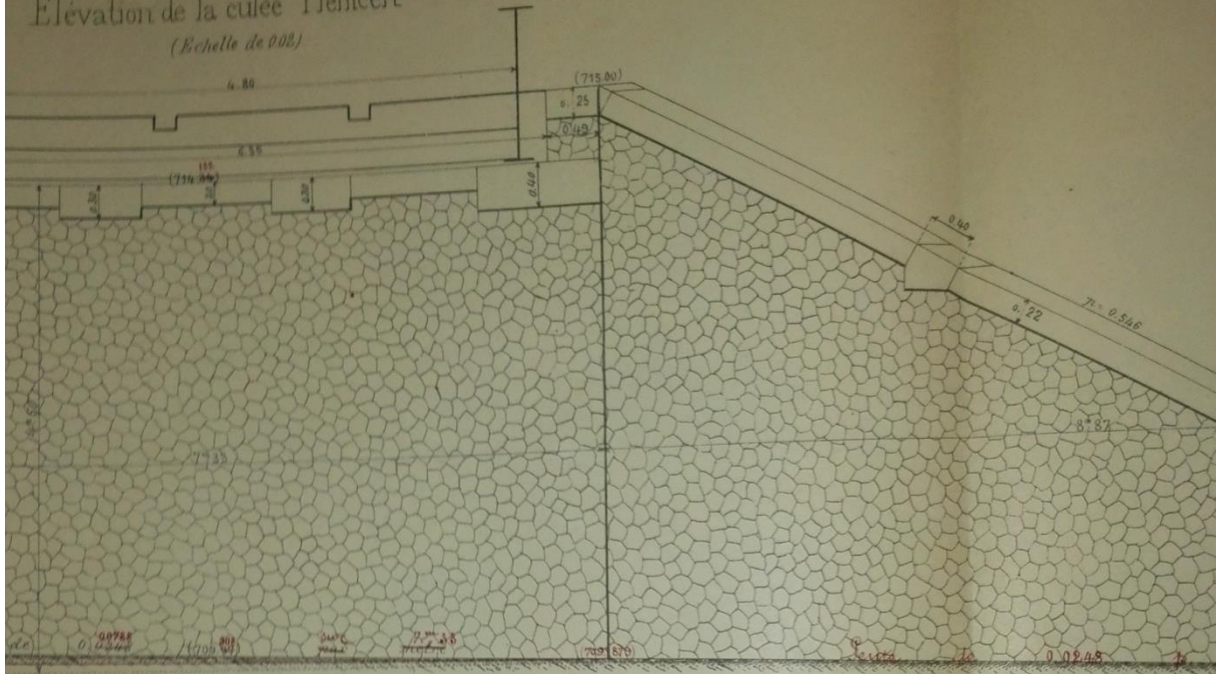
Longueur totale d'une poutre

Cote du Rail 715.00



DE 10^m00 D'OUVERTURE DROITE AU P^t 1075 + 5^m00

Elevation de la culée Tlencen
(Echelle de 0.02)

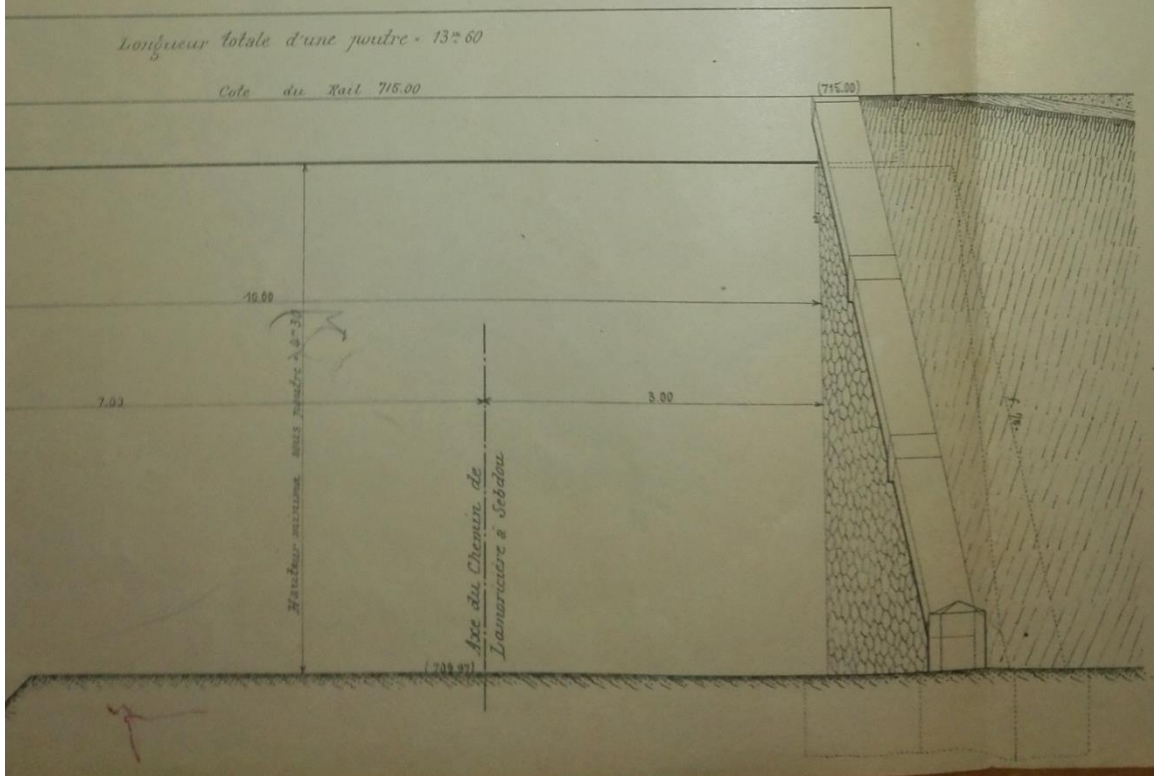


normales à l'axe du Chemin

Demi Elevation

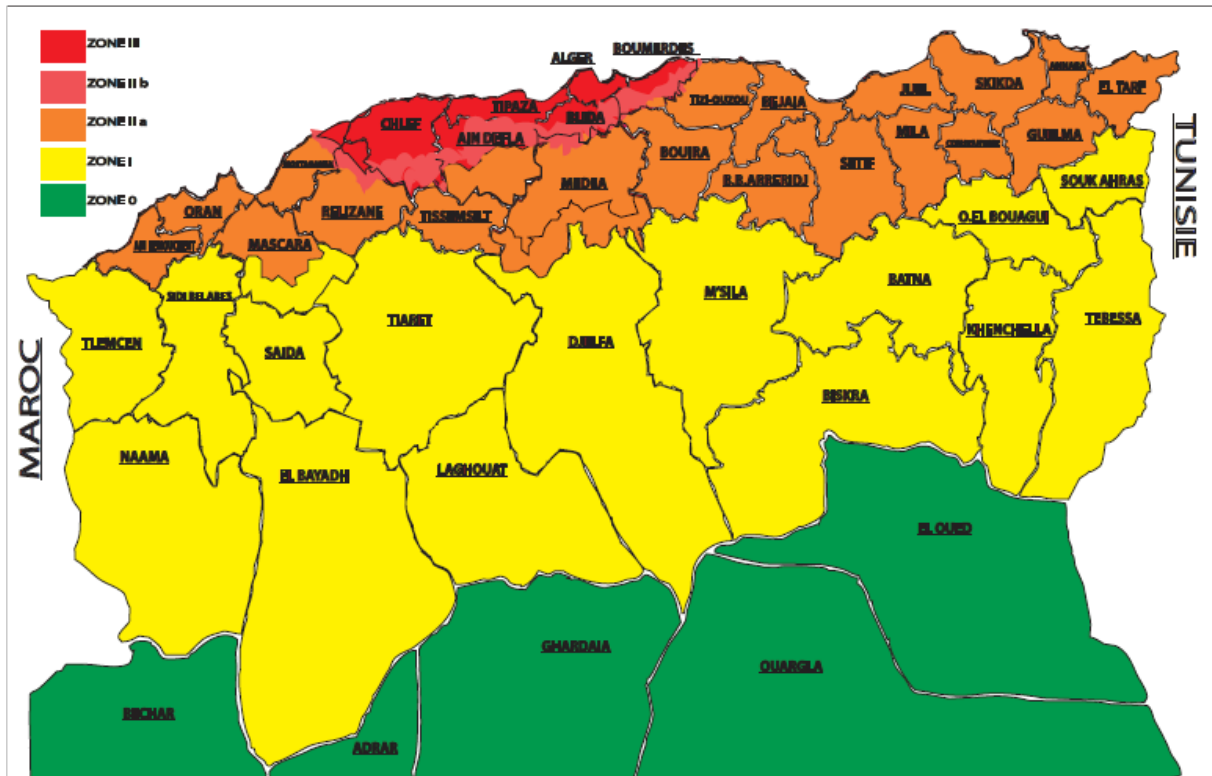
Longueur totale d'une poutre = 13^m60

Cote du Rail 715.00



ANNEX C - RPOA 2008

Carte du Zonage Sismique



ANNEX D-
Caractéristiques géotechniques des sites

Cat	Description		\bar{q}_c (MPa) (c)	\bar{N} (d)	\bar{p}_l (MPa) (e)	\bar{E}_p (MPa) (e)	\bar{q}_u (MPa) (f)	\bar{V}_s (m/s) (g)
S1	Rocheux (a)		–	–	>5	>100	>10	$V_s \geq 800$
S2	Ferme	Sable/ gravier	>15	>50	>2	>20	--	$400 \leq V_s < 800$
		Argile	>5	--	>2	>25	>0,4	
S3	Meuble	Sable/ gravier	5-15	10-50	1-2	5-20	--	$200 \leq V_s < 400$
		Argile	1,5-5	--	0,5-2	5-25	0,1-0,4	
S4	Très meuble (b)	Sable/ gravier	<5	<10	<1	<5	--	$100 \leq V_s < 200$
		Argile	<1,5	--	<0,5	<5	<0,1	