

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
**Ministère de L'Enseignement supérieur et de la Recherche Scientifique**  
جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان  
Université Abou Bakr Belkaid  
Faculté de Technologie



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

**En : TRAVAUX PUBLICS**

**Spécialité : Voies et Ouvrages d'Art**

**Par : Mlle BENABDELLAH Meriem**

**Sujet**

**EVALUATION DE LA CORROSION DES PONTS  
FERROVIERS DE LA WILAYA DE TLEMCEN**

Soutenu publiquement, le 08 / 06 /2023 , devant le jury composé de :

M. GHOMARI Fouad	Professeur	Université de Tlemcen	Président
M. BEZZAR Abdel-Illah	Professeur	Université de Tlemcen	Examineur
M. BOUMECHRA Nadir	Professeur	Université de Tlemcen	Encadreur
M. MISSOUM Mohammed Abdelghani	MCB	Université de Tlemcen	Co-Encadreur

Année universitaire : 2022/2023

## Remerciements

*Tous d'abord, je remercie le bon Dieu qui m'a donné le courage pour arriver à ce stade de fin d'étude.*

*Je dois remercier vivement de près et de loin, tous ceux qui m'ont soutenu pour la réussite de mon projet de fin d'étude.*

*Je remercie d'abord mes enseignants encadreurs Pr BOUMECHRA Nadir et Dr MISSOUM Mohammed Abdelghani, qui m'ont suivi tout au long de mon parcours en me conseillant,*

*Je tiens à exprimer ma gratitude aux membres du jury, le Président, Le Professeur GHOMARI Fouad et l'examineur, le Professeur BEZZAR Abdelillah pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail en acceptant de me lire, de m'écouter et de m'apporter leur expertise et expérience.*

*Que tous ceux qui m'ont aidé d'un simple encouragement, pour réaliser ce travail, et dont je n'ai pu mentionner leurs noms, trouvent ici l'expression de ma reconnaissance très sincère.*

## *Dédicaces*

*Merci à Allah le tout puissant de m'accorder la santé et la patience pour accomplir ce travail.*

*Je voudrai dédier ce travail :*

*A ma **maman** qui n'est plus là mais toujours omniprésente dans mon cœur et gestes. Qu'Allah lui accorde la sainte miséricorde et nous rassemble dans le Firdaws « Amine ».*

*A mon très cher **papa** que j'admire pour sa patience sans fin, sa compréhension et son encouragement sont pour moi le soutien indispensable qu'il a toujours su m'apporter.*

*A ma sœur aimée : Esma, et mon frère : Yacine*

*A toutes les familles BENABDALLAH et HASSANI*

*A mes amis et collègues*

*Tous ceux qui m'aiment et que j'aime*

*Meriem BENABDALLAH*

## Résumé

La corrosion des ponts métalliques et mixtes fait partie des pathologies affectant les ouvrages de génie civil. Elle engendre des surcouts de maintenance, ou plutôt une fragilité de l'ouvrage, accélérant son vieillissement, par conséquent, des mesures doivent être prises pour faire face à ce phénomène.

Ce travail vise à diagnostiquer les différents ponts métalliques et mixtes de différents âges et fers de la wilaya de Tlemcen pour identifier le type et l'ampleur de la rouille. L'idée était de visiter et diagnostiquer les éléments principaux de quelques ponts métalliques en localisant la corrosion puis caractériser son ampleur ainsi qu'apporter des recommandations pour entretenir ces structures.

**Mots clés :** ponts métalliques et mixtes, pathologie, corrosion, maintenance, entretien, diagnostic.

## **Abstract**

The corrosion of metal and mixed bridges is one of the pathologies affecting civil engineering structures, it generates additional maintenance costs, or rather a fragility of the structure, accelerating its ageing, therefore, measures must be taken to deal with this phenomenon.

This work aims to diagnostic the various metal and mixed bridges of different ages and irons of the wilaya of Tlemcen to identify the type and the extent of the rust. The idea was to visit and diagnose the main elements of some metal bridges by locating the corrosion then characterizing its extent as well as making recommendations for maintaining these structures.

**Key words:** Metal and mixed bridges, Pathology, corrosion, maintenance, upkeep, diagnostics.

## ملخص

يعد تآكل الجسور المعدنية والمختلطة من الأمراض التي تؤثر على هياكل الهندسة المدنية. انه يولد تكاليف صيانة إضافية، أو بالأحرى هشاشة الهيكل، مما يسرع من تقادمه، لذلك يجب اتخاذ تدابير لمواجهة هذه الظاهرة.

يهدف هذا العمل إلى تشخيص الجسور المعدنية والمختلطة المختلفة من مختلف الأعمار والحديد لولاية تلمسان للتعرف على نوع ومدى الصدأ، وكانت الفكرة هي زيارة وتشخيص العناصر الرئيسية لبعض الجسور المعدنية عن طريق تحديد مكان التآكل ثم تحديد مداه وكذلك تقديم توصيات لصيانة هذه الهياكل.

**كلمات المفتاحية:** الجسور المعدنية والمختلطة، علم الأمراض، التآكل، الصيانة، التشخيص.

## Table des matières

<i>Remerciements</i> .....	<i>I</i>
<i>Dédicaces</i> .....	<i>II</i>
<i>Résumé</i> .....	<i>III</i>
<i>Abstract</i> .....	<i>IV</i>
<i>ملخص</i> .....	<i>V</i>
<i>Table des matières</i> .....	<i>VI</i>
<i>Liste des tableaux</i> .....	<i>IX</i>
<i>Liste des figures</i> .....	<i>X</i>
<i>Liste des photos</i> .....	<i>XI</i>
<i>Introduction générale</i> .....	<i>1</i>
<b>CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LA CORROSION</b> .....	<b>2</b>
<b>1. Introduction</b> .....	<b>3</b>
<b>2. La définition de la corrosion</b> .....	<b>3</b>
<b>3. Les différentes formes de la corrosion</b> .....	<b>4</b>
3.1. Corrosion chimique (sèche).....	4
3.2. Corrosion biochimique .....	4
3.3. Corrosion électrochimique (humide).....	5
<b>4. Aspect morphologique de la corrosion</b> .....	<b>7</b>
4.1. La corrosion uniforme ou généralisée .....	7
4.2. La corrosion localisée.....	7
<b>5. Les facteurs de la corrosion</b> .....	<b>10</b>
5.1. Effet de la température .....	11
5.2. Effet de l'acidité.....	11
5.3. Salinité .....	11
<b>6. Conséquences</b> .....	<b>11</b>
6.1. Dégradation des métaux .....	11
6.2. Arrêt de fabrication .....	12
6.3. Contamination de la fabrication .....	12
6.4. Aspect.....	12
6.5. Le coût de la corrosion.....	12
6.6. Sécurité.....	13
<b>7. Conclusion</b> .....	<b>14</b>
<b>CHAPITRE 2 : PROPRIETES METALLURGIQUES DE L'ACIER</b> .....	<b>15</b>

<b>1. Historique des métaux pour construction métallique .....</b>	<b>16</b>
1.1. La fonte .....	16
1.2. Fer puddlé .....	17
1.3. Les aciers anciens (1860-1970).....	18
1.4. Les aciers modernes .....	19
1.5. L'acier laminé pour produits plats.....	20
1.6. Les évolutions dimensionnelles.....	22
<b>2. Les défauts des matériaux.....</b>	<b>22</b>
2.1. Défauts rencontrés sur matériaux métalliques anciens.....	22
2.2. Datation et caractérisation des matériaux.....	25
<b>3. Principales pathologies des ouvrages métalliques.....</b>	<b>26</b>
<b>4. Conclusion .....</b>	<b>26</b>
<b><i>CHAPITRE 3 : PATHOLOGIES DES PONTS METALLIQUES A TLEMCEN.....</i></b>	<b><i>27</i></b>
<b>1. Introduction.....</b>	<b>28</b>
1.1. Données sismiques des ouvrages .....	28
1.2. La méthode IQOA.....	28
<b><i>Le pont routier « AIN NEDJAR ».....</i></b>	<b><i>30</i></b>
<b>1. Introduction.....</b>	<b>30</b>
<b>2. Présentation de l'ouvrage .....</b>	<b>30</b>
2.1. Localisation de l'ouvrage .....	30
2.2. Les caractéristiques de l'ouvrage .....	30
2.3. Tableau descriptif de l'ouvrage et de ses pathologies .....	30
<b><i>Le pont routier « EL MEDIG ».....</i></b>	<b><i>38</i></b>
<b>1. Introduction.....</b>	<b>38</b>
<b>2. Présentation de l'ouvrage .....</b>	<b>38</b>
2.1. Localisation de l'ouvrage .....	38
2.2. Les caractéristiques de l'ouvrage .....	38
2.3. Tableau descriptif de l'ouvrage et de ses pathologies .....	38
<b><i>Pont ferroviaire de 10 m biais d'Ouled Mimoun .....</i></b>	<b><i>44</i></b>
<b>1. Introduction.....</b>	<b>44</b>
<b>2. Présentation de l'ouvrage .....</b>	<b>44</b>
2.1. Historique de l'ouvrage .....	44
<b>1. Localisation de l'ouvrage de 10 m biais .....</b>	<b>45</b>
<b>2. Les caractéristiques de l'ouvrage .....</b>	<b>45</b>
<b>3. Présentation géométrique de l'ouvrage .....</b>	<b>45</b>
<b>4. Tableau descriptif de l'ouvrage et de ses pathologies .....</b>	<b>45</b>
<b><i>L'ouvrage ferroviaire métallique de 30 m sur Oued Isser .....</i></b>	<b><i>52</i></b>
<b>1. Localisation de l'ouvrage de 30 m .....</b>	<b>52</b>

2. Les caractéristiques de l'ouvrage .....	52
3. Présentation géométrique de l'ouvrage .....	52
: .....	52
4. Tableau descriptif de l'ouvrage et de ses pathologies .....	52
<b><i>Le pont ferroviaire «AGADIR».....</i></b>	<b>59</b>
1. Introduction.....	59
2. Présentation de l'ouvrage .....	59
2.1. Historique de l'ouvrage .....	59
2.2. Localisation de l'ouvrage .....	59
2.3. Les caractéristiques de l'ouvrage .....	59
2.4. Tableau descriptif de l'ouvrage et de ses pathologies .....	59
<b><i>Le pont ferroviaire « SUR LA ROUTE D'EL OURIT » .....</i></b>	<b>64</b>
1. Introduction.....	64
2. Présentation de l'ouvrage .....	64
2.1. Historique de l'ouvrage .....	64
2.2. Localisation de l'ouvrage .....	64
2.3. Les caractéristiques de l'ouvrage .....	64
2.4. Tableau descriptif de l'ouvrage et de ses pathologies .....	64
2. Conclusion .....	69
<b><i>CHAPITRE 4 : RECOMMANDATIONS DE SUIVI ET D'ENTRETIEN.....</i></b>	<b>70</b>
1. Introduction.....	71
2. Définitions des interventions sur un pont .....	71
2.1. Entretien courant .....	71
2.2. Entretien spécialisé.....	71
2.3. Buts de l'inspection visuelle .....	72
2.4. Réparation .....	72
2.5. Méthode de réparation.....	73
3. La méthodologie d'Auscultation .....	76
<b><i>Conclusion générale .....</i></b>	<b>80</b>
<b><i>Bibliographie.....</i></b>	<b>81</b>
<b><i>ANNEXE 1.....</i></b>	<b>83</b>
<b><i>ANNEXE 2.....</i></b>	<b>87</b>

## Liste des tableaux

<i>Tableau 1. 1: Influence de différents facteurs sur la corrosion des métaux. [9]</i> .....	10
<i>Tableau 2. 1: Caractérisation chimique des procédés d'élaboration de l'acier (~1930)[18]</i> .....	18
<i>Tableau 2. 2: Production française d'acier selon le procédé d'élaboration[18].</i> .....	19
<i>Tableau 2. 3: Evolution de la nuance E 24 à la nuance E 36[19]</i> .....	20
<i>Tableau 2. 4: Évolution de la nuance E 36 à la nuance E 460[19]</i> .....	20
<i>Tableau 2. 5: Évolution de la nuance S355 à la nuance S460 [19]</i> .....	20
<i>Tableau 2. 6: Chronologie des principaux aciers structuraux utilisés sous forme de produits plats pour la fabrication des ouvrages d'art [20]</i> .....	22
<i>Tableau 3. 1: Classification des ouvrages selon la méthode IQOA. [22]</i> .....	29

## Liste des figures

<i>Figure 1. 1: Schéma traduisant la cause de la corrosion atmosphérique de fer.[3]</i> .....	4
<i>Figure 1. 2: Aspect général d'une corrosion bactérienne. [7]</i> .....	5
<i>Figure 1. 3: Corrosion généralisée affectant la surface d'une pièce métallique[9]</i> .....	7
<i>Figure 1. 4: Schéma d'une pile de corrosion[9]</i> .....	7
<i>Figure 1. 5: La corrosion caverneuse[9]</i> .....	8
<i>Figure 1. 6: Corrosion caverneuse dans un milieu chloruré[9]</i> .....	8
<i>Figure 1. 7: Pièces métallique présentant une corrosion par piqures[9]</i> .....	8
<i>Figure 1. 8: La fragilisation par hydrogène d'une pièce métallique. [9]</i> .....	9
<i>Figure 1. 9: Le Mécanisme de la Corrosion. [9]</i> .....	11
<i>Figure 1. 10: Coût de la corrosion aux Etats-Unis par secteur économique[14]</i> .....	13
<i>Figure 2. 1: Historique des matériaux utilisés[15]</i> .....	16
<i>Figure 2. 2: Chronologique des différents matériaux et des modes d'assemblages[15]</i> .....	16
<i>Figure 2. 3: Structure métallographique ferrite – perlite d'un acier ancien (C : ~ 0. 18 %)[16]</i> .....	18
<i>Figure 2. 4: Variations de R, Re et A % pour les aciers obtenus par divers procédés d'élaboration[18]</i> .....	19
<i>Figure 2. 5: Poutres métalliques – Evolution des coupes types[21]</i> .....	22
<i>Figure 2. 6: Différentes zones d'un assemblage soudé. [21]</i> .....	23
<i>Figure 2. 7: Inclusions sur zone de rupture d'une éprouvette de traction : Acier A52 S y (1970) [15]</i> .....	24
<i>Figure 2. 8: Soufflures profondes[15]</i> .....	24
<i>Figure 2. 9: Fissure longitudinal et transversale[21]</i> .....	25
<i>Figure 4. 1 : boulon précontraint HR.</i> .....	74
<i>Figure 4. 2 : Rivet.</i> .....	75
<i>Figure 4. 3 : Un type de revêtement d'une peinture anti corrosion.</i> .....	76

## Liste des photos

<i>Photo 2. 1: Choc des véhicules. ....</i>	<i>23</i>
<i>Photo 2. 2:Prélèvement en extrémité de pièce pour analyse chimique et examen métallographique... ..</i>	<i>26</i>
<i>Photo 3. 1: Plan de masse avec vue sur les ponts biais de 10m et de 30m sur Oued Isser.....</i>	<i>44</i>
<i>Photo 3. 2: Plan initial du pont biais de 10m. ....</i>	<i>45</i>
<i>Photo 3. 3 : Pont ferroviaire métallique sur Oued Isser.....</i>	<i>52</i>

## Introduction générale

Compte tenu de l'immensité de notre pays et des besoins de transport, l'Algérie dispose d'un réseau routier estimé à 108 302 km et d'un réseau ferroviaire estimé à 15 000 km, ce qui est encore insuffisant pour les besoins requis, et ce dernier contient près de 5 000 ouvrages d'art constitués de fer ou d'acier.

La théorie du "*Tous commencement a une fin*" s'applique aux structures telles que les ponts, avant qu'ils ne tombent. Les ponts sont constamment soumis à des mouvements dynamiques, aux intempéries, à la charge due au trafic routier intense (pour les ponts routier) et à la terre (pour les ponts ferroviaires), la fissuration et l'érosion dues aux chocs de véhicules dus à des défauts dans le compte ou aux tremblements de terre, ou dans l'exécution des travaux.

Pour prolonger la durée de vie d'un ouvrage d'art, un renforcement où une restauration appropriée doivent être fournis. Mais il est important pour un travail de restauration de qualité de connaître la cause et le type de toutes les conditions manifestes ou cachées qui l'affectent. Pour comprendre leur nature, leur étendue et leur potentiel d'évolution, il est important d'identifier les diagnostics nécessaires aux décisions liées aux actions d'entretien, de maintenance ou de réparation des ouvrages concernés.

Notre travail est composé de quatre chapitres. Dans le premier chapitre, des concepts sur la corrosion et les moyens de protection sont introduits.

Dans le deuxième chapitre, nous évoquons l'histoire des métaux de la construction métallique ainsi qu'une présentation de certaines pathologies d'ouvrages.

Au troisième chapitre, nous présentons quelques ponts métalliques actuels dans la wilaya de Tlemcen et depuis le 19-ème siècle. Un état des lieux des éléments de ces ouvrages est abordé avec un focus sur les différents endommagements observés avec une attention particulière sur leur corrosion.

Pour le dernier chapitre, nous adopterons quelques solutions pour l'entretien et le prolongement de vie de ces ponts métalliques non seulement pour leur utilité mais aussi pour leur patrimoine matériel. Nous recommandons le nettoyage, le sablage et la peinture des certains éléments métalliques tel que les poutres, contreventements, les boulons, rivets et tôles.

Enfin, nous terminons ce modeste travail par une conclusion générale et recommandations.

**CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LA CORROSION**

## 1. Introduction

La corrosion est donc connue depuis longtemps, mais son étude scientifique a dû attendre les essais d'électricité et de batteries galvaniques en 1830 par De La Rive et « Faraday » à l'Université de Grenoble. Ces chercheurs ont alors découvert que les métaux corrosifs étaient phénomène électrochimique. Cependant, cette explication ne s'applique pas à toutes les formes de corrosion. La corrosion sèche implique la réaction chimique directe de l'environnement extérieur sur le matériau. C'est une corrosion gazeuse typique et se produit à des températures élevées.

L'importance économique de la corrosion dans notre vie quotidienne, domestique ou industrielle, n'est plus à démontrer. Les dommages causés par ce phénomène coûtent chaque année au monde des milliards de dollars, et sans mesures de prévention et de protection, ces chiffres pourraient être bien plus élevés. Par conséquent, le développement de technologies de protection plus sûres, plus économiques et plus respectueuses de l'environnement présente de nouveaux défis pour l'ingénieur qui doit avoir des connaissances scientifiques approfondies dans les domaines de l'électrochimie et de la corrosion des métaux, qui doit être familiarisé avec les méthodes expérimentales modernes et les nouveaux matériaux. Dans le contexte de la conservation d'objets archéologiques, la compréhension des processus de corrosion dans des environnements à long terme appauvris en oxygène peut éclairer la manière dont ces objets métalliques conservent leur forme d'origine jusqu'à aujourd'hui.

## 2. La définition de la corrosion

La corrosion, du latin «corrodere» signifie ronger, attaquer. Selon le point de vue de l'ingénieur constructeur, la corrosion est une dégradation du métal ou de ses propriétés par réaction chimique avec l'environnement.

La corrosion métallique est le phénomène suivant lequel les métaux et alliages ont tendance, sous l'action d'agents atmosphériques ou de réactifs chimiques, à retourner à leur état originel d'oxyde, de sulfures, de carbonates etc. ,plus stables dans le milieu environnant. Elle se développe de ce fait, suivant différents processus, chacun d'eux caractérisant un type de corrosion : corrosion chimique, bactérienne et électrochimique. La corrosion des métaux et alliages peut alors se manifester sous différents aspects : généralisée, localisée, inter granulaire, par fissuration etc. ... [1]

### ➤ Cause de la corrosion

Dans la nature tous les métaux, à l'exception des métaux nobles tels que l'or et la platine, se présentent dans la nature sous forme d'oxydes et de sulfures métalliques. Cet état de point de vue thermodynamique est très stable. Cependant, l'énergie considérable fournit pour l'obtention des métaux de ces minerais fait que les métaux obtenus se trouvent dans un niveau énergétique élevé, ils sont thermodynamiquement instables. C'est pour cette raison que tous les métaux usuels ont tendance à retourner à leur état initial en énergie, cela se fait à l'aide du milieu environnant. [2]

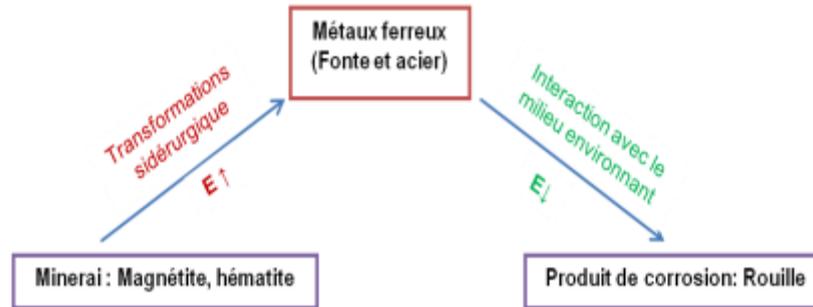


Figure 1. 1: Schéma traduisant la cause de la corrosion atmosphérique de fer. [3]

L'étude de ces mesures montrent les caractéristiques favorisant la formation de la corrosion. La corrosion dépend :

- 1) Du milieu (environnement) :
  - du Ph
  - du pouvoir oxydant
  - de la température
  - de la présence de solutés
- 2) Du matériaux (métal) :
  - de sa composition
  - de sa structure et microstructure
  - de son état de surface
  - des contraintes appliquées ou résiduelles...

### 3. Les différentes formes de la corrosion

#### 3.1. Corrosion chimique (sèche)

C'est une attaque directe du métal par son environnement. Ce type de corrosion se développe dans une solution non électrolyte ou sur action des gazeux (d'O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>et CO<sub>2</sub>). Lorsque le réactif est gazeux ou cette corrosion se produit à haute température, elle est alors appelée « Corrosion sèche ou corrosion à haute température [4][5]. La réaction qui se produit est de la forme : **A solide+ B gaz →AB solide**

#### 3.2. Corrosion biochimique

La corrosion bactérienne est due à la présence de colonies importantes de bactéries dites anaérobies qui se développent dans les eaux contenant des sulfates. La lutte contre cette forme de corrosion est à l'heure actuelle essentiellement d'ordre biologique, elle est réalisée par injection de produits bactéricides dans les milieux corrosifs. [6]

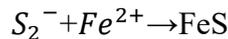


Figure 1. 2: Aspect général d'une corrosion bactérienne. [7]

- i. Produits chimiques en générant des espèces corrosives telles que  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_3$  ou des acides organiques les plus couramment rencontrés dans les canalisations enterrées et identifiés par la formation d'acier sulfurique qui corrode les métaux.
- ii. Certaines bactéries peuvent réduire le sulfate par l'hydrogène.



L'hydrogène provient par exemple de la région de la cathode, dépolarisant ainsi la cathode et accélérant la formation de  $\text{Fe}^{2+}$  à l'anode.



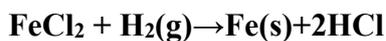
- iii. Dans certains cas, des dépôts adhérents peuvent être observés sur les canalisations, ces dépôts ne sont pas une érosion du métal lui-même, mais certains composants du milieu environnant ont été attaqués par des bactéries. Il en résulte la formation de piqûres dans le métal, où des dépôts se produisent, suivis d'un processus de corrosion dû aux différences de concentration en oxygène.

### 3.3. Corrosion électrochimique (humide)

Si le réactif est liquide, il est en général, accompagné d'une corrosion électrochimique produite essentiellement par l'oxydation d'un métal sous forme d'ions ou d'oxyde et réduite l'agent corrosif existant dans la solution électrolyte. Par ailleurs, elle se produit par des transferts électroniques entre un métal et une solution électrolytique à son contact (circulation d'un courant électrique) [8]. Pour une corrosion électrochimique on a :

**Métal oxydé+agent réducteur → Métal+ agent oxydant**

**Exemple** : La corrosion du fer dans l'acide chlorhydrique est due à la réaction :



Oxydation :



Réduction :



Oxydant (Ox) :

-Réactif capable de provoquer une oxydation. C'est donc une substance (atome, ion ou molécule) capable de fixer  $e^-$ .

-En corrosion humide, les deux principaux agents oxydants rencontrés en pratique sont :

- ✓ Les protons solvates.
- ✓ L'oxygène dissous.

-D'autres oxydants peuvent aussi corroder les métaux, tels que :

- ✓ Les cations métalliques oxydants :  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Sn^{4+}$ , etc.
- ✓ Les anions oxydants :  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $CrO_4^{2-}$ ,  $OCl^-$ , etc.
- ✓ Les gaz dissous oxydants :  $O_3$ ,  $Cl_2$ ,  $SO_3$ , etc.

Réducteurs (Red) :

-Réactif capable de provoquer une réduction. C'est donc une espèce capable de produire  $e^-$

Réaction d'oxydoréduction (Redox) :

Selon la définition précédente, la réaction entre un agent oxydant et un agent réducteur implique l'échange de  $e^-$  généré par l'agent réducteur contre l'agent oxydant

L'oxydant et le réducteur constituent le couple « Ox/Red »

Ox : Oxydant, c'est la forme oxydée du couple Ox/Red

Red : Réducteur, c'est la forme réduite du couple Ox/Red

Nombre d'oxydation :

Le nombre d'oxydation (n. o) appelé aussi degré d'oxydation est égal à la charge électrique que prendrait l'élément dans une combinaison si tous les électrons de liaison étaient attribués aux atomes les plus électronégatifs. C'est une grandeur algébrique, positive ou négative, notée en chiffre romain. Il caractérise l'état d'oxydation d'un élément.

NB :

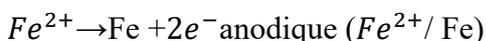
- ✓ Le n. o pour un atome isolé (non lié) est nul : Fe, Cu, Cl, etc.
- ✓ Le n. o pour un corps simple est nul :  $H_2$ ,  $Cl_2$ ,  $O_2$ , etc.
- ✓ Le n. o d'un ion simple est égale à sa charge :  $Al^{+3}(III)$ ,  $Cl^-(I)$ , etc.
- ✓ La somme des n. o d'une molécule neutre est nulle,  $AgCl$  :  $Ag(I) + Cl(-I) = 0$
- ✓ La somme des n. o d'un ion poly atomique est égale à sa charge,  $OH^-$  :  $O(-II) + H(I) = -I$

Réactions partielles :

Toute réaction redox se compose de deux réactions partielles :

Réaction partielle d'oxydation ou réaction anodique.

Réaction partielle de réduction ou réaction cathodique.



Chaque atome de fer qui passe en solution implique l'échange de deux électrons entre le métal et les protons. [9]

Loi de faraday : Dans une réaction électrochimique, lorsque ni moles d'un métal sont oxydées, une charge électrique proportionnelle (q) passe à travers l'interface métal(électrode) –électrolyte.

F est la constante de faraday (96485C/mol). Le nombre de charge (n) adimensionnel, exprime le coefficient stœchiométrique des  $e^-$  dans l'équation de la réaction anodique.

Pour la réaction :  $Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow n=2$

La loi de faraday exprime donc que la vitesse d'une réaction d'électrode est optionnelle à l'intensité du courant électrique à travers l'interface électrode/électrolyte.[9]

## 4. Aspect morphologique de la corrosion

### 4.1. La corrosion uniforme ou généralisée

C'est une perte de matière plus ou moins régulière sur toute la surface. On trouve cette attaque notamment sur les métaux exposés aux milieux acides [9].



Figure 1. 3: Corrosion généralisée affectant la surface d'une pièce métallique [9]

### 4.2. La corrosion localisée

Ce phénomène survient au contraire lorsque le matériau est mis en présence d'un environnement présentant vis-à-vis de lui un comportement sélectif. Cette sélectivité peut avoir des origines multiples tant au niveau du matériau (alliage hétéro phase, présence d'inclusions, protection de surface localement déficiente, matériau bimétallique...) qu'au niveau de l'environnement (variation locale de composition, de pH ou de température).

#### 4.2.1. La corrosion galvanique

Appelée aussi corrosion bimétallique, est due à la formation d'une pile électrochimique entre deux métaux. La dégradation du métal le moins résistant s'intensifie [9].

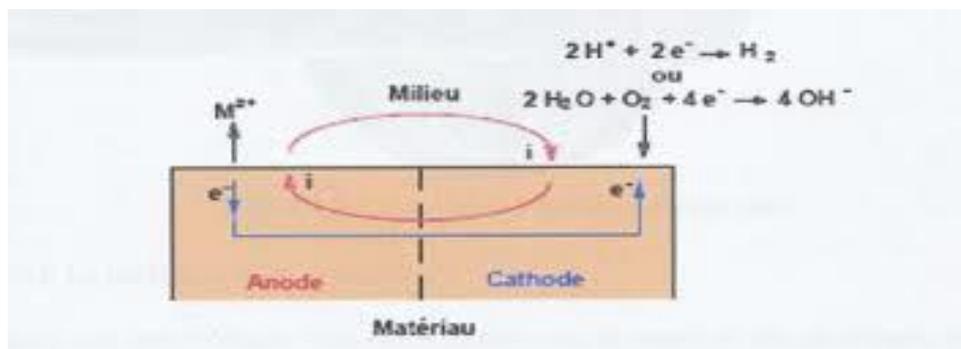


Figure 1. 4: Schéma d'une pile de corrosion [9]

#### 4.2.2. La corrosion caverneuse

Elle est due à une différence d'accessibilité de l'oxygène entre deux parties d'une structure, créant ainsi une pile électrochimique. On observe une attaque sélective du métal dans les fentes et autres endroits peu accessibles à l'oxygène [9].



Figure 1. 5: La corrosion caverneuse [9]

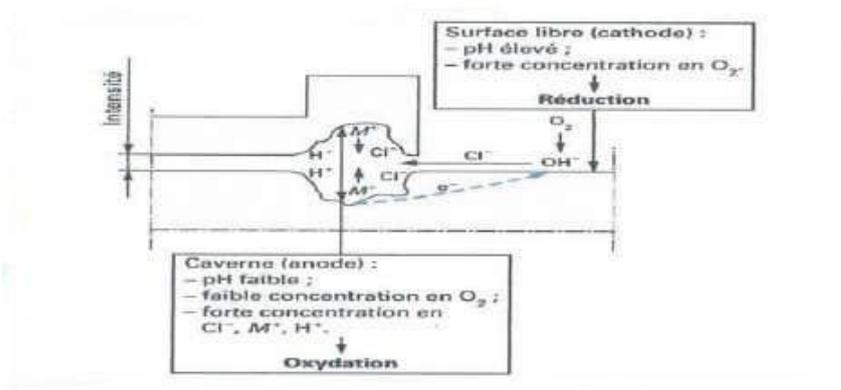


Figure 1. 6: Corrosion caverneuse dans un milieu chloruré [9]

#### 4.2.3. La corrosion par piqûres

Elle est produite par certains anions, notamment le chlorure, sur les métaux protégés par un film d'oxyde mince. Elle induit typiquement des cavités de quelques dizaines de micromètres de diamètre[9].

Ce phénomène est constaté particulièrement dans les cas des matériaux passivable. (Les aciers inoxydables, les alliages de nickel, de titane, d'aluminium)

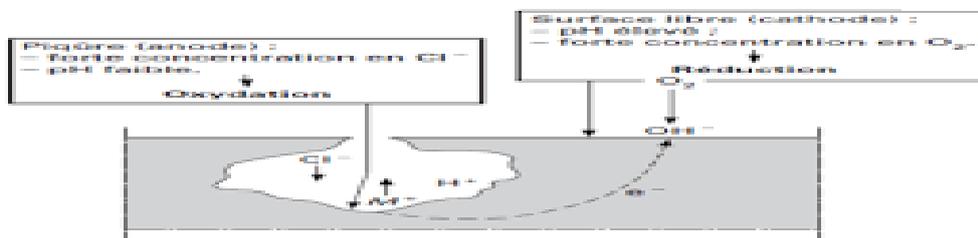


Figure 1. 7: Pièces métallique présentant une corrosion par piqûres [9]

#### 4.2.4. La corrosion inter granulaire

C'est une attaque sélective aux joints de grains. Souvent, il s'agit de phases qui ont précipité lors d'un traitement thermique [9].

#### 4.2.5. La corrosion sélective

C'est l'oxydation d'un composant de l'alliage, conduisant à la formation d'une structure métallique poreuse [9].

#### 4.2.6. La corrosion érosion

Elle est due à l'action conjointe d'une réaction électrochimique et d'un enlèvement mécanique de matière. Elle a lieu, souvent, sur des métaux exposés à un écoulement rapide d'un fluide (air, eau, etc.). La plupart des métaux et alliages y sont sensibles, en particulier les métaux mous (cuivre, plomb, etc.) ou ceux dont la résistance à la corrosion dépend de l'existence d'un film superficiel (aluminium, aciers inoxydables).

#### 4.2.7. La corrosion frottement

La corrosion-frottement concerne les dommages provoqués par la corrosion au niveau du contact de deux surfaces métalliques en mouvement relatif l'une par rapport à l'autre. Elle se produit essentiellement lorsque l'interface est soumise à des vibrations (mouvement relatif répété de deux surfaces en contact) et à des charges de compression. En présence d'un mouvement de frottement continu en milieu corrosif, on utilise de préférence le vocable de tribu corrosion.

#### 4.2.8. La corrosion sous contrainte

Ce type de corrosion correspond à une fissuration du métal qui résulte d'une action commune d'une contrainte mécanique et d'une réaction électrochimique. Elle se définit comme un processus de développement de fissures, pouvant aller jusqu'à la rupture complète de la pièce sous l'action combinée d'une tension mécanique et d'un milieu corrosif. Ce sont les contraintes de tension, d'où le nom donné parfois à ce mode de corrosion, qui sont dangereuses. Les contraintes de compression exerçant au contraire une action protectrice.

#### 4.2.9. Fragilisation par hydrogène

La présence d'hydrogène dans un réseau métallique génère de très fortes pressions à l'intérieur du métal pouvant aboutir à une rupture différée. Ces atomes d'hydrogène ont pour origine : l'atmosphère environnante, les procédés d'électrolyse et la corrosion électrochimique.



Figure 1. 8: La fragilisation par hydrogène d'une pièce métallique. [9]

## 5. Les facteurs de la corrosion

La plupart des métaux purs n'est pas stable d'un point de vue thermodynamique. Au contact de l'atmosphère, ils forment une couche superficielle d'oxyde plus ou moins protectrice. Ainsi, la fragilisation de cette couche superficielle conduit à la corrosion sans frein du métal selon plusieurs critères comme la nature et constitution du milieu agressif, la température, le pH, et les inhomogénéités de la structure réticulaire de métal, entre autres paramètres[6] Les phénomènes de la corrosion dépendent d'un grand nombre de facteurs et ils peuvent être classés en quatre groupes principaux :

Facteurs relatifs au milieu et définissant le mode d'attaque (milieu corrosif)	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Concentration du réactif</li> <li>-Teneur en Oxygène, en impuretés, en gaz dissous (CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> H<sub>2</sub>S...).</li> <li>-Acidité du milieu, salinité, résistivité.</li> <li>-Température, pression.</li> <li>-Présence de bactéries</li> </ul>
Facteurs métallurgiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Composition d'alliage, hétérogénéités cristallines.</li> <li>-Procédés d'élaboration.</li> <li>-Impuretés dans l'alliage, inclusions.</li> <li>-Traitements thermiques, mécaniques.</li> <li>-Additions protectrices.</li> </ul>
Facteurs définissant les conditions d'emploi	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Etat de surface, défauts de fabrication.</li> <li>-Formes de pièces.</li> <li>-Sollicitations mécaniques.</li> <li>-Emploi d'inhibiteurs.</li> <li>-Procédés d'assemblage (couples galvaniques, soudures, etc. ).</li> <li>-Croute d'oxydes superficiels.</li> <li>-Force électromotrice extérieure (électrolyse).</li> </ul>
Facteurs dépendants du temps	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Vieillessement.</li> <li>-Tensions mécaniques internes ou externes.</li> <li>-Température</li> <li>-Modalité d'accès de l'oxygène ou autre gaz dissous.</li> <li>-Modification des revêtements protecteurs.</li> <li>Apparition d'un dépôt (calciq ou autre).</li> </ul>

Tableau 1. 1: Influence de différents facteurs sur la corrosion des métaux. [9]

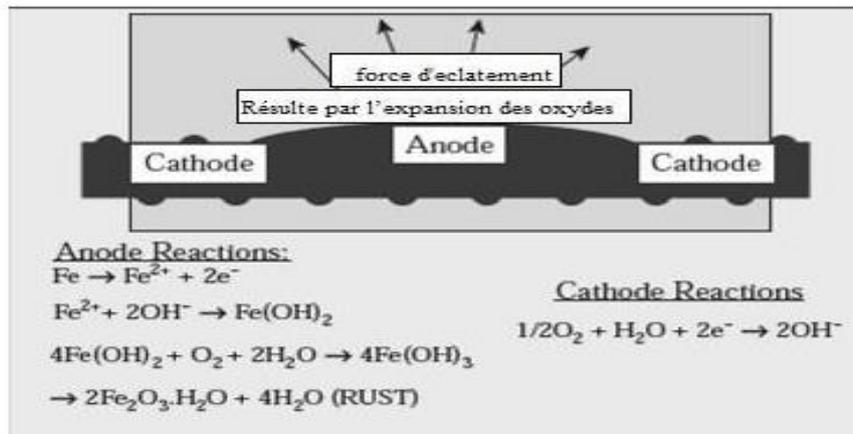


Figure 1. 9: Le Mécanisme de la Corrosion. [9]

La vitesse de corrosion d'un métal en milieu corrosif dépend des caractéristiques de ces deux paramètres. La température et le pH ont une influence directe sur la vitesse de corrosion et une influence indirecte via la phase aqueuse (condensat, eau de process). Les conditions d'écoulement, la formation de film sur la surface métallique et la pression ont une influence directe via la pression partielle de CO. [10][11]

### 5.1. Effet de la température

En général, une augmentation de la température accélère les phénomènes de corrosion car elle réduit le domaine de stabilité du métal et accélère la cinétique de réaction et de transport. Cependant, l'importance de son effet varie en fonction de l'environnement corrosif dans lequel le matériau est placé. [12]

### 5.2. Effet de l'acidité

La sensibilité d'un matériau à la corrosion est fonction du pH de l'électrolyte. Une forte concentration de protons en solution augmente l'agressivité du milieu, modifiant ainsi l'équilibre des réactions chimiques et électrochimiques. La corrosion augmente avec la diminution du pH du milieu. [13]

### 5.3. Salinité

Les chlorures sont des ions agressifs, souvent source de corrosion localisée, leur présence en solution s'accompagne d'effets complémentaires, d'une part leur concentration locale conduit à l'acidification du milieu, d'autre part la salinité a un effet sur la corrosion de milieu aqueux conductivité. [12]

## 6. Conséquences

Certains effets de la corrosion peuvent être résumés comme suit :

### 6.1. Dégradation des métaux

Par amincissement des parois mettent en péril la résistance mécanique des équipements, elle peut conduire à des fuites. [14]

## 6.2. Arrêt de fabrication

La fermeture de centrales nucléaires, d'usines de traitement, de centrales électriques, de raffineries peut causer de graves problèmes à l'industrie et aux consommateurs. Les usines sont souvent arrêtées ou partiellement arrêtées en raison d'une détérioration due à une corrosion imprévue. Pour le personnel de maintenance ou les employés de l'usine, il n'y a rien de plus irritant qu'un temps d'arrêt entraînant des pertes mortelles. Parfois, ces arrêts sont causés par des changements dans les opérations de fabrication qui se sont révélées incapables de résister aux conditions corrosives de plus en plus sévères. [14]

## 6.3. Contamination de la fabrication

La valeur marchande d'un produit chimique est souvent directement liée à sa qualité et à sa pureté. La résistance à la contamination est également un facteur important dans la production de plastiques transparents, alimentaires et pharmaceutiques. Lorsque les produits de fabrication sont contaminés ou dénaturés, la durée de vie du dispositif matériel n'est généralement pas un facteur important. L'acier ordinaire dure généralement de nombreuses années, mais des matériaux plus coûteux sont utilisés car la rouille n'est pas souhaitée dans le produit fini. [14]

## 6.4. Aspect

Les voitures sont peintes parce que la surface rouillée n'est pas esthétique. Des matériaux fortement corrodés ou rouillés dans l'installation peuvent également créer une mauvaise impression sur l'observateur. [14]

## 6.5. Le coût de la corrosion

Peu d'études se sont penchées spécifiquement sur les coûts de la corrosion. La plus réussie a bien sûr été menée par la NACE en 2001. L'étude portait sur le coût de la corrosion aux États-Unis ; elle a révélé que le coût direct total de la corrosion s'élevait à 279 milliards de dollars par an, soit 3,2% du PIB américain. L'étude a notamment montré le coût de la corrosion par secteur économique. [14]

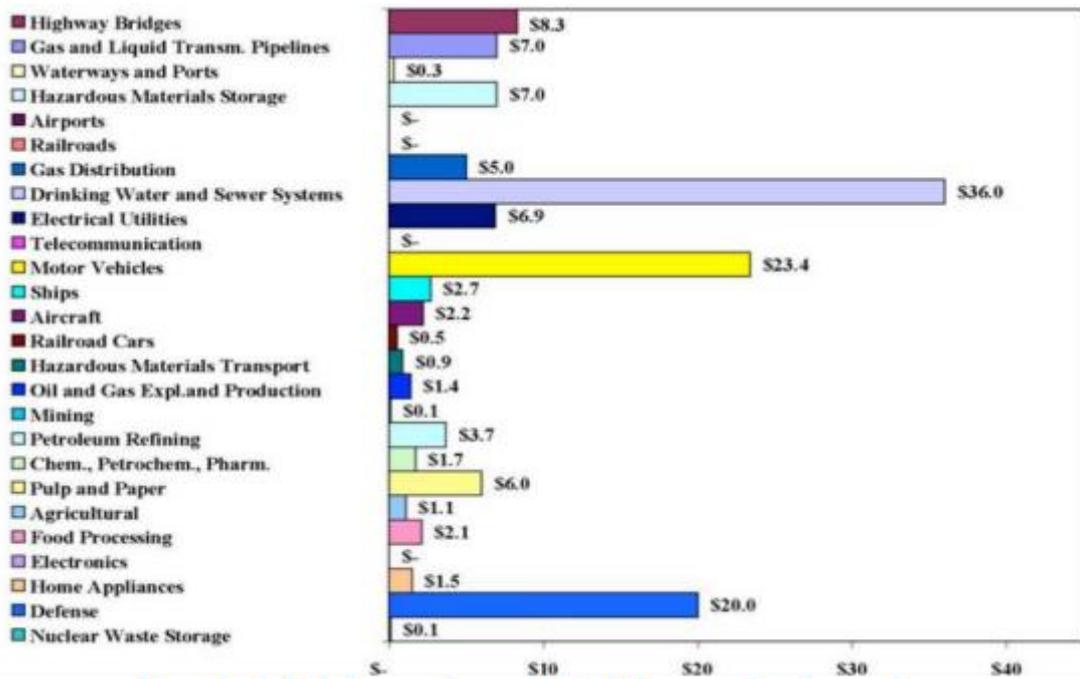


Figure 1. 10: Coût de la corrosion aux Etats-Unis par secteur économique [14]

### 6.6. Sécurité

La manipulation de produits chimiques, de matériaux explosifs ou inflammables et d'acides tels que l'acide sulfurique concentré à des températures et pressions élevées nécessite de minimiser les matériaux de construction défectueux par corrosion si l'on veut éviter des dommages importants ou des pertes de vie. Les dispositifs de corrosion sont connus pour faire exploser des mélanges inoffensifs. Si la sécurité est en jeu, il n'est pas souhaitable d'économiser les matériaux constitutifs de la structure. [14]

## 7. Conclusion

Les causes de la zone de corrosion sont multiples et compliquées et qu'elles résultent d'interactions chimiques et, ou physiques entre le tissu et son atmosphère. Le problème de la corrosion de nombreux ouvrages sont consacrés à ce fléau. Au cours de ce chapitre, nous avons élaboré une synthèse bibliographique sur la corrosion, sur les stratégies de protection standard.

## **CHAPITRE 2 : PROPRIETES METALLURGIQUES DE L'ACIER**

## 1. Historique des métaux pour construction métallique

A la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, les méthodes industrielles de fabrication des alliages de fer ont finalement permis le développement de la fonte, un alliage avec une teneur en carbone d'environ 3% qui avait des propriétés médiocres qui favorisaient la production de structures opérationnelles. À partir de 1820, le développement des techniques industrielles pour produire du fer sous forme de fer forgé, avec une meilleure résistance à la traction, a permis la construction de structures à poutres. La seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle sera marquée par l'avènement des procédés sidérurgiques ; les procédés Bessemer (1856), Siemens-Martin (1865) et Thomas (1877) permettent une production en série du matériau. En raison de ses propriétés mécaniques, principalement sa haute résistance, l'acier a remplacé complètement la fonte et le fer dans la construction des ponts au début du XX<sup>e</sup> siècle. [15]

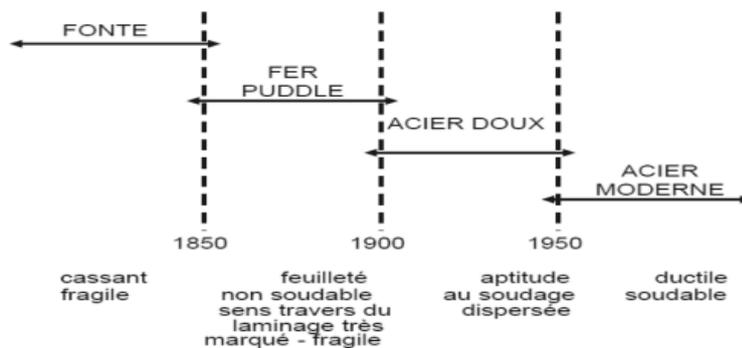


Figure 2. 1: Historique des matériaux utilisés [15].

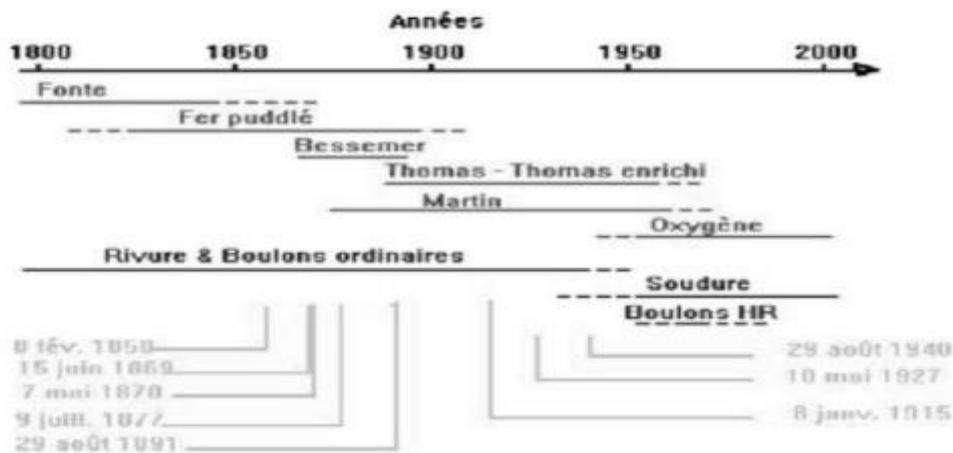


Figure 2. 2: Chronologie de la fabrication des matériaux ferreux et des modes d'assemblages [15].

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. [15]

### 1.1. La fonte

Elle a été utilisée pour la construction des premiers ponts métalliques (pont en arts en 1804) sous forme de pièces moulées pour une sorte de substitution aux pierres de taille. Elle fut utilisée dans les ponts jusqu'au début de XIX<sup>e</sup> siècle.

La fonte est un matériau fragile et considéré comme structurellement non soudable et très peu sensible à la corrosion.

La fonte fut utilisée dans de nombreux ponts au XIX<sup>e</sup> siècle, mais la plupart des ouvrages eurent une durée de vie limitée. La fonte est en effet un matériau fragile, de faible résistance à la traction comme en témoignent les caractéristiques retrouvées pour les produits de cette époque :

- ✓ Carbone 3 à 3,5 %
- ✓ Silicium 2 à 3,5 %
- ✓ Limite d'élasticité 50 à 100 N/mm<sup>2</sup>
- ✓ Résistance à la traction 100 à 180 N/mm<sup>2</sup>

## 1.2. Fer puddlé

Au cours du XIX<sup>e</sup> siècle l'utilisation du fer s'est développée par allègement 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 est obtenu par flaque (fosse à eau signifie brassage) à partir de fonte liquide introduite dans des fours à réverbère et mélangée à des additifs oxydants. Après fusion, le métal est purifié : c'est l'opération de fusion par agitation ringard du bain, suivie d'une étape de décarburation en atmosphère oxydante à une température inférieure à la température de fusion du fer. [16]

Le four à sole avait une charge d'environ 200 kg ; le fer ainsi bte nu était façonné en blocs d'environ 30 kg. Ils sont ensuite amenés à un pilon, qui agit pour expulser les scories et compacter le métal. L'opération doit être effectuée à des températures élevées pour maximiser l'élimination des scories. En travaillant à des températures élevées, les sections sont "soudées" ensemble. Le produit obtenu est un matériau hybride composé de fer presque pur (très faible teneur en carbone et en manganèse) et de laitier siliceux réparti dans les filaments. [16]

- ✓ 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%

L'analyse d'un grand nombre d'échantillons répartis dans un réseau national donne une fourchette plus large, principalement en ce qui concerne le phosphore : des teneurs jusqu'à 0,5% sont fréquemment rencontrées (notamment dans les produits issus des minerais lorrains), dépassant parfois 1%. [16]

Les propriétés mécaniques de ces fers sont hétérogènes et ont les valeurs suivantes :

- Limite d'élasticité (E) : 230 à 300 N/mm<sup>2</sup> (mesures sur ouvrages, la bibliographie donne des valeurs plus basses à 170 N/mm<sup>2</sup>)
- Charge de rupture (R) : 260 à 400 N/mm<sup>2</sup>
- Allongement (A) : 10 à 20% (dans le sens de laminage) : sensiblement nul (en sens travers) [16]

### 1.3. Les aciers anciens (1860-1970)

Au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, le besoin d'acier de grande série se fait sentir dans divers domaines (notamment le ferroviaire), mais le prix de l'acier obtenu par fusion en creuset est très élevé et divers procédés fleurissent. [17]

#### 1.3.1. Caractéristiques métallurgiques des aciers anciens

Les aciers de construction sont des alliages fer-carbone dont la teneur en carbone varie selon le mode de production et la nuance requise. D'autres éléments existent car ils ne peuvent être éliminés lors de la production, certains sont nocifs comme le phosphore, le soufre, l'azote, et sont des impuretés.

La structure métallographique de ces aciers est de type fer rito perlitique, généralement à gros grains, correspondant à un refroidissement incontrôlé.

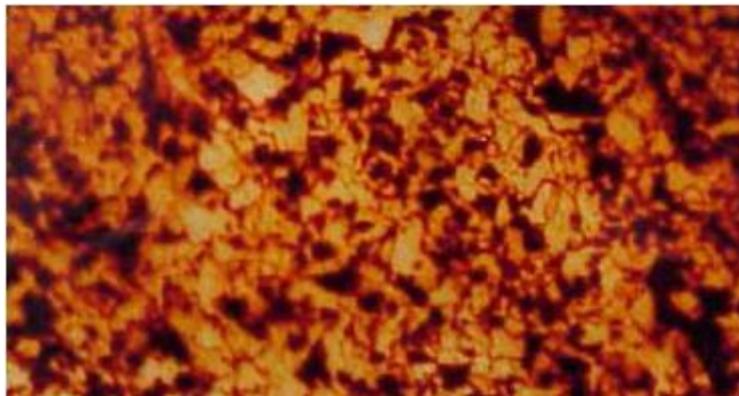


Figure 2. 3: Structure métallographique ferrite – perlite d'un acier ancien (C : ~ 0. 18 %)[16]

Les principaux éléments chimiques utilisés pour caractériser les méthodes de production sont l'azote, le nickel, le chrome, le cuivre, le phosphore et le soufre. Le tableau 2. 1 résume ces domaines constitutifs des processus de production autour des années 1930, le procédé Thomas, Thomas enrichi (air soufflé enrichi en oxygène) et Martin. [17]

Eléments	Procédés d'élaboration		
	Thomas	Thomas enrichi	Martin
Azote	>15	7<N<15	<12
Nickel, chrome, cuivre	30	30	100
Phosphore	40 à 80	30 à 60	<40
Soufre	30 à 80	20 à 50	<40
Teneurs indicatives pour une production soignée (exprimées en % ×10 <sup>3</sup> )			

Tableau 2. 2: Caractérisation chimique des procédés d'élaboration de l'acier (~1930). [18]

Selon B. Getzov (Réf. [18]), le graphique de la Fig. 12 montre la variation de R, Re et A % des aciers obtenus par différents procédés de fabrication.

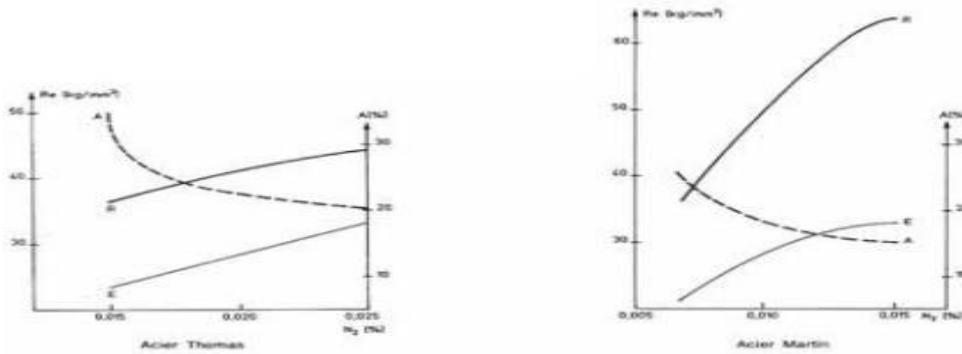


Figure 2. 4: Variations de R, Re et A % pour les aciers obtenus par divers procédés d'élaboration [18].

### 1.4. Les aciers modernes

Les « aciers modernes » correspondent aux aciers soudables dont les désignations ont été normalisées selon 1973 NF A 35-501 Aciers généraux de construction. Ils sont généralement produits par le procédé à l'oxygène et les nuances obtenues ne présentent aucune difficulté de soudage.

L'évolution de la production française suivant les différents procédés de fabrication est résumée dans le tableau 2. 3:

Production	1954		1964		1974		1982	
	En 1000t	En %						
Thomas	6 314	59,5	10 603	52,6	5 188	19,2	-	-
Oxygène pur	-	-	2 224	11,2	15 793	58,5	14 891	81
Martin	3 397	31,2	5 182	26,2	2 927	10,8	34	-
Electrique	834	7,8	1 677	8,5	3 110	11,5	3 477	19
Autres	82	0,7	94	0,5	5	-	-	-
<b>Total</b>	<b>10 627</b>	<b>100</b>	<b>19 780</b>	<b>100</b>	<b>27 023</b>	<b>100</b>	<b>18 402</b>	<b>100</b>
Coulée continue	-	-	106	0,1	2 747	10,2	10 769	58,5

Tableau 2. 4: Production française d'acier selon le procédé d'élaboration [18].

#### 1.4.1. Evolution métallurgique

Les tôles en acier de construction longtemps été livrées à l'état normalisé, un état stable obtenu par traitement thermique et dans lequel les caractéristiques du produit sont essentiellement liées à sa composition chimique. Le laminage n'était qu'une simple opération de mise en forme permettant d'obtenir les dimensions finales de la tôle.

Pour augmenter la résistance mécanique des tôles, les sidérurgistes disposaient de deux moyens :

- ✓ Elever la teneur en carbone et en silicium pour augmenter le durcissement
- ✓ Accroître la trempabilité de l'acier pour obtenir une structure plus fine, en ajoutant par exemple davantage de manganèse

C'est ainsi que l'on est passé de la nuance E24 à la nuance E36 (désignations de la norme) comme le montrent les analyses typiques de tôles d'environ 50mm d'épaisseur (Tableau 2. 3) :

	C%	Mn%	S%
E24-4	0,08	1,00	0,2
E36-4	0,18	1,55	0,45

Tableau 2. 5: Evolution de la nuance E 24 à la nuance E 36 [19].

Mais cette évolution s'est faite au détriment de la soudabilité (risque de fissuration à froid) et de la ténacité du métal et il a fallu utiliser d'autres moyens pour modifier les caractéristiques de l'acier.

Initialement, un durcissement plus efficace que le carbone seul a été recherché par l'utilisation d'éléments tels que le niobium ou le vanadium, qui produisent des précipités très fins et qui peuvent abaisser la teneur en carbone à la même limite élastique.

C'est ainsi que la première génération d'aciers à haute résistance (acier HLE), aciers micro alliés ou aciers dispersés étaient toujours livrés à l'état normalisé (état N). A cet effet, l'acier est passé de la nuance E 36 à la nuance E 355 aux nuances E 420 et E 460 (S355N, S420N et S460N selon les nouvelles appellations) L'analyse moyenne est la suivante :

	C%	Mn%	Si%	Nb%	V%	Ni%
E36-4	0,18	1,55	0,45	-	-	-
E 355 I	0,15	1,50	1,50	0,03	-	-
E 460 I	0,18	1,60	0,40	0,40	0,12	-
E 460 II	0,16	1,50	0,30	0,03	0,13	0,60

Tableau 2. 6: Évolution de la nuance E 36 à la nuance E 460 [19].

La soudabilité de l'acier E 355 est meilleure que celle de l'acier E 36, mais en revanche la soudabilité de l'acier E 460 est très médiocre.

Dans les années 1980, les sidérurgistes ont profité des possibilités offertes par l'utilisation des cages de laminoirs plus puissantes et surtout automatisées et plus rapides (Réf. [18]), ainsi que par le refroidissement accéléré pour un laminage maîtrisé, afin que les opérations métallurgiques aboutissent à des structures de très bonne qualité.

Ce type de laminage est le laminage contrôlé, dit laminage thermo mécanique, aboutissant à la deuxième génération d'aciers HLE, à savoir les aciers S355M à S460M (M pour état thermomécanique) :

	C%	Mn%	Si%	Nb%	V%	Ni%
S355N	0,15	1,50	0,35	0,03	-	-
S355M	0,09	1,50	0,25	0,03	-	-
S460N	0,18	1,60	0,40	0,30	0,12	-
S460M	0,09	1,55	0,30	0,02	0,06	0,25

Tableau 2. 7: Évolution de la nuance S355 à la nuance S460 [19]

L'acier thermomécanique (M) a une analyse de charge nettement inférieure à la même nuance d'acier normalisé (N) et est donc plus facile à souder. Le laminage thermo mécanique permet également d'obtenir des propriétés supérieures à celles des aciers normalisés de même analyse.

### 1.5.L'acier laminé pour produits plats

	Dates Indicatives	Texte Spécifiant les caractéristiques	Epaisseurs max (mm)	Re min (MPa)	Rm min (MPa)	Remarques
<b>Fonte</b>	1800-1891	Règlement de 1891(ferroviaire)	-	50	100	Pas de soudage structurel
<b>Fer puddlé</b>	1850-1900	Règlement de 1891(ferroviaire)	-10	Premiers 340 Derniers 250	Premiers 360 Derniers 400 314 (L) 275 (T)	Risques liés à l'anisotropie du matériau et aux inclusions
<b>Premiers aciers</b>	1890-1915	Règlement de 1891(ferroviaire)	-30	250 137	412	Risques liés à la présence d'azote, de soufre et de phosphore ainsi qu'aurais que de dédoubleage
<b>Ac42 Et Ac54</b>	1913-1960 1930-1960	CCG du 29 octobre 1913 CCG du 7 février 1933	-60 -50	235 353	412 530	Risques liés à la présence d'azote, de soufre et de phosphore ainsi qu'aurais que de dédoubleage L'Ac54 n'a quasi pas été utilisé
<b>A 42 Et A 52</b>	1960-1970	Fascicule 4 titre III de 1962	-60	235 353(e<25mm)	412 490(16<e<30)	Risques liés à la présence d'azote, de soufre et de phosphore ainsi qu'au risque de dédoubleage
<b>E 24 E 36 E 355</b>	1973-1990	NF A35-501 NF A35-502 NF A36-201	150	335(3<e<30mm)	510	Bonne soudabilité. Le risque de dédoubleage disparaît peu à peu
<b>E460</b>	1973-1990	NF A36-201	pm	pm	pm	Soudabilité complexe liée au carbone équivalent élevé. L'E460 n'a quasi pas été utilisé
<b>S355</b>	1990-...	NF EN 10025 NF EN 10113-2 NF EN 10113-3 NF EN 10155 Puis NF EN 10025-2 NF EN 10025-3 NF EN 10025-4 NF EN 10025-5	250 150 63 100 250 250 120 150	355(e<16mm)	490(3<e<100mm) 470(e<100mm) 450 490(3<e<100mm) 470(3<e<40mm)	Bonne soudabilité
<b>S460</b>	1993-...	NF EN 10113-2 NF EN 10113-3 Puis NF EN 10025-3 NF EN 10025-4	150 63 250 120	460(e<16mm)	550(e<100mm) 530 540(e<40mm)	Bonne soudabilité

- (L) : Sens du laminage / (T) : Perpendiculaire au sens du laminage Nota, Re : limite d'élasticité minimale, Rm : résistance à la traction minimale

Tableau 2. 8: Chronologie des principaux aciers structuraux utilisés sous forme de produits plats pour la fabrication des ouvrages d'art [20]

### 1.6. Les évolutions dimensionnelles

D'après les dessins des ingénieurs et des ingénieurs et des architectes, la fonte des premiers ponts métalliques prenait la forme de pièces moulées.

Le fer puddlé qui lui succède ne se présente plus sous forme de pièces moulées, mais sous forme de plaques, barres, profiles, dans des formes et dimensions proposées par le sidérurgiste. La structure est devenue une combinaison de pièces laminées ou forgées assemblées par des boulons communs et surtout, par des rivets. La taille de la chambre est petite. Par exemple, le 1830 peut produire des plaques de 3 à 20 mm d'épaisseur, jusqu'à 500 mm de largeur et limitées à 1000 mm de longueur. Lors de la construction de ponts, une épaisseur de 10 à 12 mm est utilisée.

Avec l'avènement de l'acier, l'épaisseur produite passe à 65 mm et la longueur à 4 m. Le développement des équipements sidérurgiques et les exigences croissantes de l'industrie (chaudronnerie, construction navale) vont bientôt augmenter ces chiffres. De 1870 à 1890, toujours en prenant la tôle comme exemple, le poids passe à 12 tonnes puis 30 tonnes, la longueur passe à 5 mètres puis 10 mètres, tandis que l'épaisseur et la largeur maximales réalisables sont fixées à 300/400 mm et 3 mètres respectivement.

Des profils comme IAO émergent. Ces développements se sont poursuivis au XX<sup>e</sup> siècle. Dans la seconde moitié du siècle, les sidérurgistes produisent des tôles extra-lourdes pour la chaudronnerie. L'amélioration de la soudabilité a permis l'utilisation de fortes épaisseurs, et dans les années 1980 les empilements de semelles jusqu'à 30 mm dans les faisceaux de poutre sont disparus et ont été remplacés par de fortes épaisseurs (80, puis jusqu'à 180-200 mm). [21]



Figure 2. 5: Poutres métalliques – Evolution des coupes types [21].

## 2. Les défauts des matériaux

### 2.1. Défauts rencontrés sur matériaux métalliques anciens

Passons en revue les faibles propriétés de traction de la fonte et l'anisotropie des propriétés de ductilité du fer forgé et l'état des inclusions nuisibles par rapport au procédé d'assemblage

par soudage. Pour l'acier, en général, les défauts mentionnés ci-dessous peuvent être trouvés sur du matériel d'avant 1975 à 1980 et sont liés aux méthodes de production de l'époque.

**Soudabilité** : La soudabilité des matériaux métalliques utilisés pour construire des structures ouvragées n'est réglementée que lors que le soudage est utilisé comme méthode de fabrication des composants. Ainsi, tout travail de rivetage, mais aussi de soudure (avant 1970 environ) doit faire l'objet de recherches métallurgiques pour caractériser cette norme. La figure montre la rupture de la diagonale tendue de la poutre triangulaire sous l'influence de la petite soudure utilisée pour fixer le garde-corps à la diagonale. Cette disposition provoque la rupture de la pièce par effet de trempe locale, formant une structure métallographique cassante, formant des fissures, puis cassant la pièce.

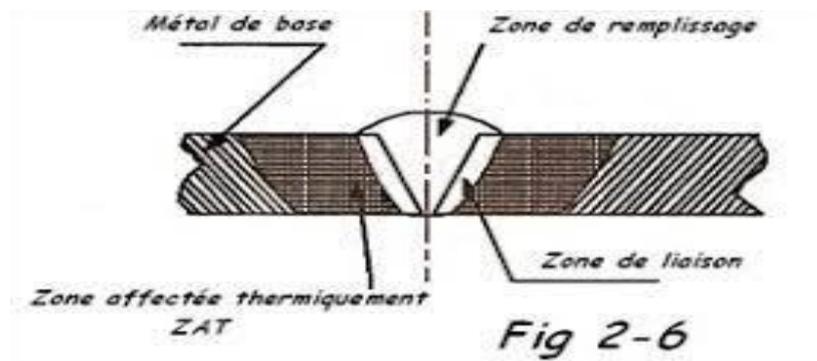


Figure 2. 6: Différentes zones d'un assemblage soudé. [21]

**La fragilité aux chocs** : les aciers anciens généralement non soudables sont sensibles aux chocs et présentent des ruptures en pleine tôle par manque de déformation plastique.



Photo 2. 1: Choc des véhicules.

**État du confinement** : Les inclusions dans l'acier sont : - Oxyde

- Aluminates
- Silicate
- Sulfure

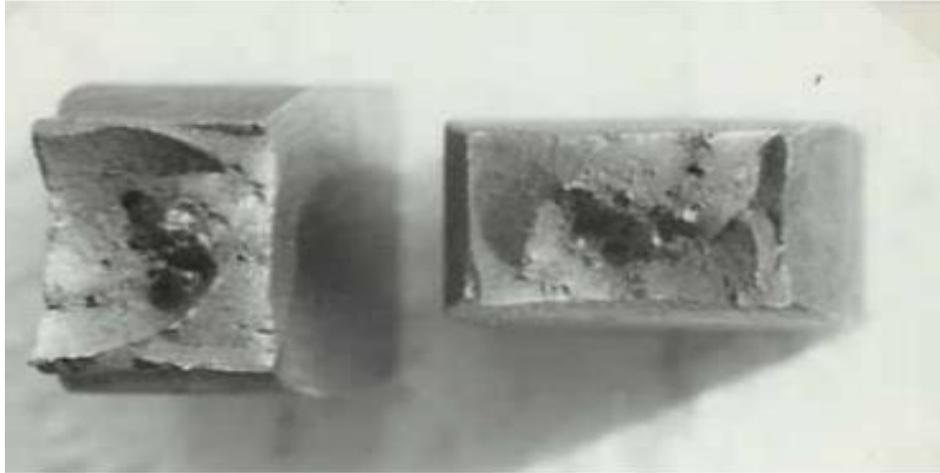


Figure 2. 7: Inclusions sur zone de rupture d'une éprouvette de traction : Acier A52 S y (1970) [15]

**Les soufflures profondes** : Le moussage ou l'apaisement insuffisant de l'acier entraîne la formation de pores dont les surfaces oxydées ne se referment pas lors du laminage. Ce défaut fragilise le matériau principalement dans le sens de l'épaisseur.

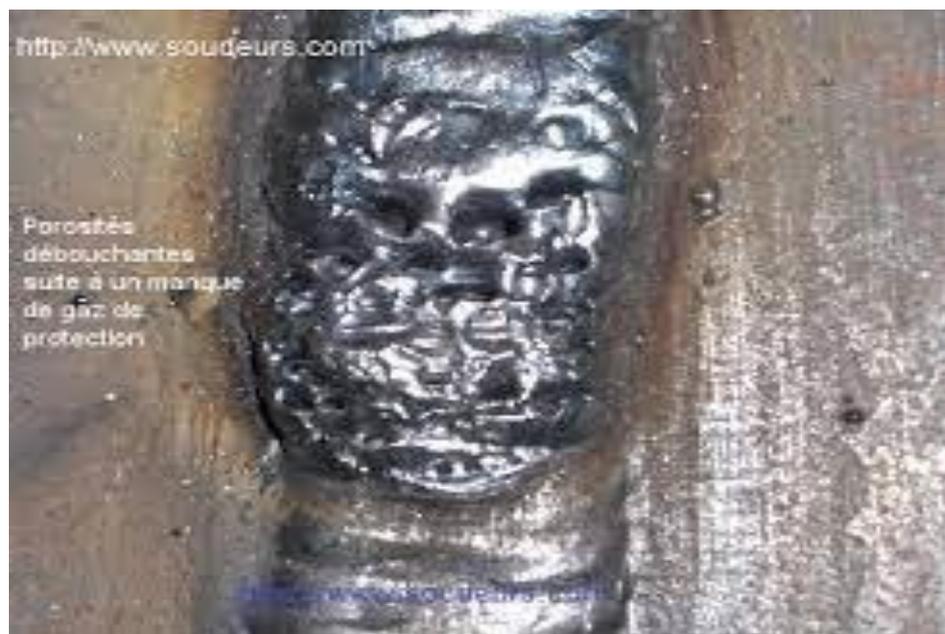


Figure 2. 8: Soufflures profondes [15].

**Fissures** : Les fissures correspondent à la présence d'un retrait secondaire lors de la solidification du métal dans le lingot ou d'une chute de charge insuffisante du lingot. Ce défaut a disparu avec le développement de la technologie de la coulée continue (1975-80). La résistance aux deux extrémités du court-circuit est fondamentalement nulle.

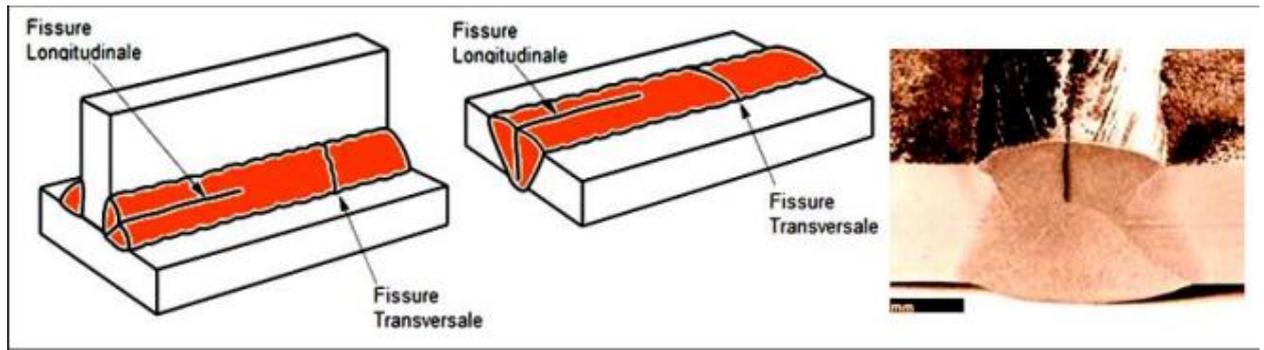


Figure 2. 9: Fissures longitudinale et transversale [21].

**Déformations** : Ces défauts de surface correspondent à des rides lors du laminage dont les faces oxydées forment des discontinuités dans le métal à travers l'épaisseur.

## 2.2. Datation et caractérisation des matériaux

Pour assurer le suivi du projet, l'entretien et les réparations, la première chose à vérifier est la date de construction et les éventuelles réparations effectuées. Typiquement, ces éléments sont inclus dans le dossier de travail, mais nécessitent souvent l'identification et la vérification des propriétés mécaniques des matériaux utilisés.

Les propriétés de l'acier peuvent être réalisées par analyse chimique (teneur en carbone, manganèse, silicium, teneur en éléments de fragilisation, etc.), métallographie (structure, granulométrie, état des inclusions, etc.), si les échantillons dimensionnels le permettent, essais mécaniques, essais de traction et de résilience.

L'analyse chimique est souvent effectuée à l'aide de spectromètres à étincelles, qui permet une caractérisation rapide des éléments majeurs autres que l'azote. Cette procédure n'est pas adaptée à l'analyse du fer forgé car la présence d'inclusions peut fausser les résultats. Dans ce cas, une analyse chimique par dissolution serait préférée. L'interprétation des résultats permet de caractériser le matériau (fonte, fer, acier), le mode d'élaboration, la présence d'éléments de fragilisation et en partie d'évaluer la soudabilité.

Des échantillons plus grands peuvent être soumis à des tests de traction et/ou d'élasticité pour comprendre précisément ces propriétés et l'attribution du grade et de la qualité. Dans le cas de l'étude de phénomènes particuliers, ces prélèvements permettent des investigations appropriées.

Les échantillons prélevés sur une structure doivent représenter des pièces différentes, et le prélèvement est une opération délicate qui doit se faire en connaissant les efforts auxquels la pièce est soumise, sans risquer de fragiliser la structure. Un prélèvement de certaines pièces constitue l'opération de travail proprement dite du projet Bureau d'Etudes. Le nombre de pièces prises est toujours limité. Donc les jugements de prélever un petit échantillon à l'extrémité de la pièce pour analyse chimique et examen métallographique.



Photo 2. 2:Prélèvement en extrémité de pièce pour analyse chimique et examen métallographique. [21]

### 3. Principales pathologies des ouvrages métalliques

Les principales pathologies sur ouvrages métalliques peuvent être regroupées sous les rubriques suivantes :

- ✓ La corrosion
- ✓ La fragilité
- ✓ La fatigue
- ✓ La dégradation des assemblages
- ✓ Le comportement au feu
- ✓ Voilement
- ✓ Flambement
- ✓ Choc de véhicule

### 4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons mis en exergue l'historique des processus de fabrication des matériaux métalliques (la fonte, le fer puddlé, le fer ancien et moderne). De plus, nous avons passé en revue les propriétés de chaque métal et aussi les limites rencontrées sur les matériaux métalliques anciens et leurs pathologies.

## **CHAPITRE 3 : PATHOLOGIES DES PONTS METALLIQUES A TLEMCEN**

## 1. Introduction

La dégradation des ponts métalliques est essentiellement due à leur susceptibilité au phénomène de corrosion des aciers, qui affecte les composants en acier ou métalliques de ces ouvrages. Cette pathologie reste la seule maladie redoutable pouvant altérer la pérennité de ces ponts. Il convient toutefois de souligner que les ponts métalliques peuvent connaître les mêmes pathologies que les ponts en maçonnerie ou en béton armé, selon qu'ils reposent sur des infrastructures en maçonnerie ou en béton armé. Dans ce chapitre on va diagnostiquer chaque ouvrage parmi les six ponts sujets de notre étude. Il s'agit de deux ponts routiers (AYN NEDJAR, EL-MEDIG) et quatre ponts ferroviars (2 OULED MIMOUN, AGADIR, SUR LA ROUTE D'EL OURIT), ces ponts sont soit des ponts en poutres, soit ces ponts en poutres PRS, soit des poutres en treillis.

### 1.1. Données sismiques des ouvrages

### 1.2. La méthode IQOA

La classification des ouvrages qui sera présentée dans ce chapitre est basée sur la méthode dite « Image de Qualité des Ouvrages d'Art » (I. Q. O. A). Elle est destinée à fournir un indicateur de l'état moyen des ouvrages.

#### 1.2.1. Principe de la méthode

La procédure IQOA 1995, présente des catalogues de désordres destinés à faciliter la cotation des ouvrages en application de la méthodologie (I. Q. O. A). Chaque catalogue traite des principales dégradations qui peuvent atteindre des éléments structuraux spécifiques, tels que le tablier et les piles. La cotation d'un ouvrage résulte d'une analyse de son état, faite soit à partir du dossier de l'ouvrage si, celui-ci, contient un rapport d'inspection détaillée périodique faite dans l'année, soit à l'issue d'une visite sommaire réalisée conformément au guide de visite IQOA éditée séparément. La qualité des ouvrages est donc vérifiée selon les 6 classes d'état indiquées dans le paragraphe suivant.

#### 1.2.2. Classification de l'état des ponts

L'état des ponts est caractérisé par le choix d'une classe d'état parmi cinq, complétée éventuellement d'une mention S au titre de la sécurité des usagers.

#### 1.2.3. Classe d'état

<b>La classe 1</b>	-Ouvrages en bon état apparent, relevant de l'entretien courant.
<b>La classe 2</b>	-Ouvrages dont la structure porteuse présente des défauts mineurs et qui nécessitent un entretien spécialisé sans caractère d'urgence.  -Ouvrages dont la structure est en bon état apparent mais dont les équipements ou les éléments de protection présentent des défauts qui nécessitent un entretien spécialisé sans caractère d'urgence.

<p><b>La classe 2E</b></p>	<p>-Ouvrages dont la structure porteuse présente des défauts mineurs et qui nécessitent un entretien spécialisé.</p> <p>- Ouvrages dont la structure est en bon état apparent mais dont les équipements ou les éléments de protection présentent des défauts qui nécessitent un entretien spécialisé. Contrairement à la classe 2, dans ce cas le caractère urgent est à signaler afin de prévenir le développement rapide des désordres dans la structure et son classement ultérieur dans la classe 3. L'indice « E3 » de la classe 2E a été choisi pour évoquer le caractère « évolutif » possible à brève échéance de l'état de la structure porteuse.</p>
<p><b>La classe 3</b></p>	<p>Ouvrages dont la structure porteuse est altérée qui nécessite des travaux de réparation sans caractère d'urgence.</p>
<p><b>La classe 3U</b></p>	<p>Ouvrages dont la structure porteuse est gravement altérée et qui nécessite des travaux de réparation en urgence liés à l'insuffisance de la capacité portante de l'ouvrage ou à la rapidité d'évolution des désordres pouvant y conduire à brève échéance.</p> <p>Remarque : il y a lieu d'indiquer que seuls les défauts de structure sont justifiables d'un classement en 3 ou 3U</p>

Tableau 3. 1:Classification des ouvrages selon la méthode IQOA. [22]

## Le pont routier « AIN NEDJAR »

### 1. Introduction

Le pont d'Ain Nedjar est un pont mixte de type bipoutre, dans ce cas d'ouvrage à poutres, la charpente métallique est constituée des poutres principales et intermédiaire à inertie variable, obtenues par assemblage de tôles soudées. On obtient des profilés reconstitués soudés appelés PRS, par opposition aux profilés standards réalisés par laminage.

### 2. Présentation de l'ouvrage

#### 2.1. Localisation de l'ouvrage

Le pont mixte acier-béton a été mis en service en 1980, est situé à Bd Ain Sbaa Ali dans la ville de Tlemcen

Pour la localisation de l'ouvrage, la technologie Google Earth a été utilisée pour la détermination des coordonnées cartésiennes qui sont comme suit :

Latitude : 34°52'56. 6"N ; Longitude : 1°19'35. 0"W

#### 2.2. Les caractéristiques de l'ouvrage

- ✓ Longueur : 24, 00m
- ✓ Largeur de tablier : 14, 00 m
- ✓ Les surfaces: 336, 00m<sup>2</sup>

#### 2.3. Tableau descriptif de l'ouvrage et de ses pathologies

Après plusieurs tentatives de recherche, on constate l'absence ou disparition des archives du dossier de l'ouvrage au niveau de la **DTP** et l'**APC**.

Le formulaire suivant présente de manière succincte et méthodique les caractéristiques, données techniques, descriptions et éléments d'informations sur les pathologies rencontrées sur l'ouvrage.

<b>Situation du pont :</b>		Tlemcen		<b>P. K. :</b>	/			
<b>Type de pont :</b>		<input type="checkbox"/> Pont métallique <input checked="" type="checkbox"/> Pont mixte acier-béton <input type="checkbox"/> Pont B. A. <input type="checkbox"/> Pont B. P.						
<b>Classe du pont :</b>		2E	<b>Nombre de voies :</b>		2			
<b>Maitre d'ouvrage :</b>		Wilaya	<b>Maitre d'œuvre :</b>		Inconnu			
<b>Date de construction du pont :</b>		1980	<b>Constructeur :</b>		Inconnu			
<b>Nbre Travées :</b>	2	<b>Nbre Poutres :</b>	10	<b>Nbre Entretoises / Travée :</b>	24			
<b>Type de piles :</b>	À chevêtre sur Colonnes	<b>Type Appareils d'appuis :</b>	Néoprène en élastomère frettée	<b>Nbre Appareils d'appuis :</b>	12			
<b>Hauteur libre sous pont :</b>		Coté route : 7, 6 m		Coté chemin de fer : 6, 655 m				
<b>Types d'élément</b>		<b>Désordres</b>	<b>Critères de classement</b>	<b>Classes :</b>				
				<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2E</b>	<b>3</b>	<b>3U</b>
<b>Structure</b>	<b>Tablier</b>	En Béton armé	Bon état	✓				
	<b>Poutre</b>	En Acier (PRS)	Nécessite un traitement à savoir le sablage ainsi une peinture anti rouille			✓		
	<b>Entretoise</b>	En Acier (PRS)	Nécessite un traitement à savoir le sablage ainsi qu'une peinture anti rouille			✓		
	<b>Assemblages boulonnés</b>	Boulons	Bon état	✓				
	<b>Soudures</b>	Sur les connecteurs et PRS	Bon état	✓				
<b>Appuis</b>	<b>Appareils d'appuis</b>	Néoprène en élastomère fretté	Bon état	✓				
	<b>Piles</b>	À chevêtre sur Colonnes	Bon état	✓				
	<b>Culées</b>	Mur en Béton	Bon état	✓				

<b>Equipements</b>	<b>Chaussée</b>	Couche de roulement en Béton Bitumineux	Bon état	✓				
	<b>Trottoirs</b>	En Béton armé	Nécessite une réparation		✓			
	<b>Bordures de trottoirs</b>	Gardes corps en Acier	Bon état		✓			
	<b>Corniches</b>	En Béton armé	Bon état	✓				
	<b>Evacuation des eaux</b>	Tube PVC	Bon état	✓				
	<b>Joints de chaussées</b>	Les joints de chaussées existants non entretenus et non continus sur les trottoirs	Le mauvais fonctionnement du joint vu que le béton n'est pas élastique autant que le béton bitumineux ce qui facilite l'endommagement de la couche de roulement.			✓		
	<b>Talus</b>	Bon état apparent sauf problème de végétation	Nécessite un nettoyage et dégradation du talus par la végétation		✓			

**Situation géographique de l'ouvrage**



Vue aérienne de l'ouvrage d'AIN NEDJAR

**Photos descriptives de l'ouvrage**



Vue de dessous du pont.



Vue supérieure du tablier du pont. Vue coté TLEMCEN

**Relevés pathologiques particuliers**

- ✓ Distorsion visuelle, nécessité de nettoyer et peindre le dessous du pont ;



Dessous du pont.

- ✓ Défaut de contact, défaut de planéité par déformation de retrait de la soudure âme, membrure inférieure.



Membrure inférieure de la poutre de rive.

- ✓ Absence de joints de chaussée
- ✓ Fissure au droit des joints, les imperfections du béton, les décalages verticaux entre un joint chaussée et l'enrobé.



Emplacement du joint de chaussée.

<p><b>Corrosion</b></p>	<p><b>Identification des zones :</b></p>	<p>✓ Les semelles supérieures des poutres de rive sont corrodées au niveau des connecteurs</p>  <p>Connecteurs sont corrodés</p> <p>✓ Corrosion des semelles inférieures et effritement de la peinture.</p>
-------------------------	--	--



Semelles inferieures

		 <p style="text-align: center;">Semelle supérieure</p>
	<b>Cause de corrosion :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Les connecteurs sont corrodés à cause du contact entre la dalle en béton et l'acier.</li> <li>✓ Humidité</li> <li>✓ la dalle est saturée à l'eau</li> </ul>
	<b>Etat de surface :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sur les surfaces qui ne sont pas exposées à l'air (humidité)</li> </ul>
	<b>Taux de corrosion :</b>	45%
	<b>Entretien ?</b>	Il faut le faire

## **Le pont routier « EL MEDIG »**

### **1. Introduction**

Le pont de EL MEDIG est un pont mixte de type bipoutre, dans ce cas des ouvrages à poutres, la charpente métallique est constituée des poutres principales et intermédiaire en acier, de hauteur variable, elles-mêmes obtenues par assemblage de tôles par soudure. On obtient des profilés reconstitués soudés (PRS), par opposition aux profilés standards réalisés par laminage.

### **2. Présentation de l'ouvrage**

#### **2.1. Localisation de l'ouvrage**

Le pont route mixte au PK 7+300 a été mis en service en 1989, est situé dans la sortie de Tlemcen

Pour la localisation de l'ouvrage, la technologie Google Earth a été utilisée pour la détermination des coordonnées cartésiennes qui sont comme suit :

Latitude : 34°53'52. 1"N ; Longitude : 1°15'36. 6"W

#### **2.2. Les caractéristiques de l'ouvrage**

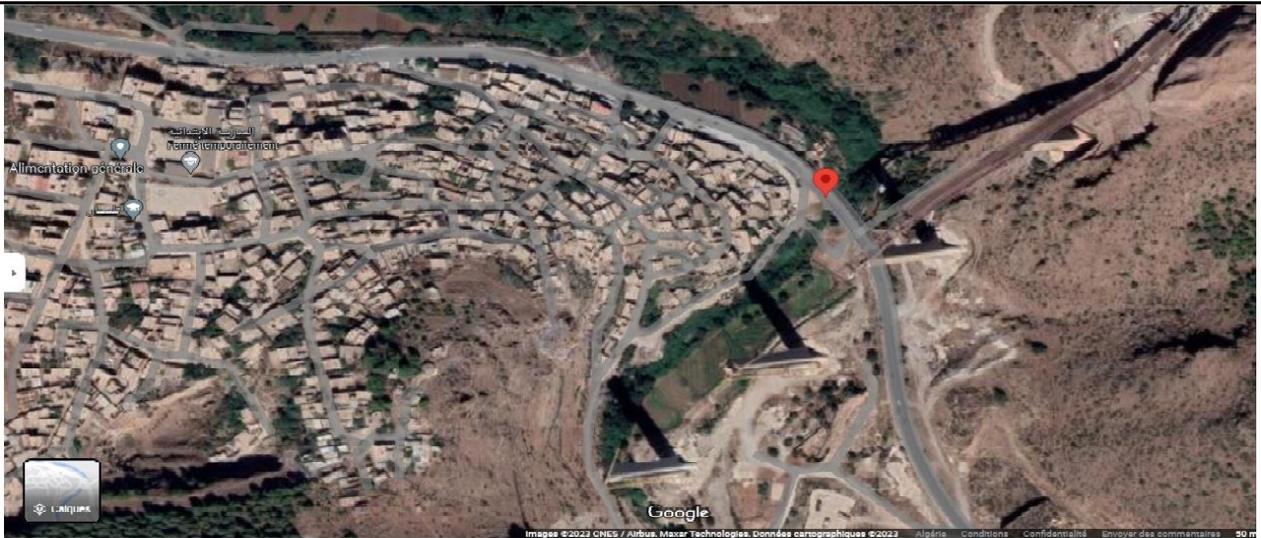
- Longueur: 60, 00 m
- Largeur de tablier: 7, 00 m
- Les surfaces : 420, 00m<sup>2</sup>

#### **2.3. Tableau descriptif de l'ouvrage et de ses pathologies**

Le formulaire suivant présente de manière succincte et méthodique les caractéristiques, données techniques, descriptions et éléments d'informations sur les pathologies rencontrées sur l'ouvrage.

<b>Situation du pont :</b>		Chetouane	<b>P. K. :</b>	7+300 DE RN 22C				
<b>Type de pont :</b>		<input type="checkbox"/> Pont métallique <input checked="" type="checkbox"/> Pont mixte acier-béton <input type="checkbox"/> Pont B. A. <input type="checkbox"/> Pont B. P.						
<b>Classe du pont :</b>		2E	<b>Nombre de voies :</b>	2				
<b>Maitre d'ouvrage :</b>		Wilaya	<b>Maitre d'œuvre :</b>	SAPTA				
<b>Date de construction du pont :</b>		En 1989	<b>Constructeur :</b>	SAPTA				
<b>Nbre Travées :</b>	1	<b>Nbre de Poutres :</b>	6	<b>Nbre Entretoises / Travée :</b> 9				
<b>Type de piles :</b>	À chevêtres un Colonne	<b>Type Appareils d'appuis :</b>	Néoprène en élastomère frettée	<b>Nbre Appareils d'appuis :</b> 12				
<b>Hauteur libre sous pont :</b>		8m						
<b>Types d'élément</b>		<b>Désordres</b>	<b>Critères de classement</b>	<b>Classes :</b>				
				1   2   2E   3   3U				
<b>Structure</b>	<b>Tablier</b>	En Béton armé	Bon état	✓				
	<b>Poutre</b>	En Acier (PRS)	Bon état	✓				
	<b>Entretoise</b>	En Acier. Latérale en treillis	Bon état	✓				
	<b>Assemblages boulonnés</b>	Les boulons	Manque quelques boulons			✓		
	<b>Soudures</b>	Sur les connecteurs et PRS	Bon état	✓				
<b>Appuis</b>	<b>Appareils d'appuis</b>	Néoprène en élastomère frettée	Bon état	✓				
	<b>Piles</b>	À chevêtre sur Colonne	Bon état	✓				
	<b>Culées</b>	Mur en Béton	Bon état	✓				
<b>Equipements</b>	<b>Chaussée</b>	Couche de roulement en Béton Bitumineux	Bon état	✓				
	<b>Trottoirs</b>	En Béton: 2 × 1, 50m	Bon état	✓				
	<b>Bordures de trottoirs</b>	En Béton	Bon état	✓				
	<b>Corniches</b>	En Béton	Bon état	✓				
	<b>Evacuation des eaux</b>	Tube PVC	Bon état	✓				
	<b>Joints de chaussées</b>	Joint à lèvres	Bon état	✓				
	<b>Talus</b>	Bon état apparent sauf problème de végétation	Nécessite un nettoyage et dégradation du talus par la végétation			✓		

**Situation géographique de l'ouvrage**



Vue aérienne de l'ouvrage d'El MEDIG.

**Photos descriptives de l'ouvrage**



Vue de dessous du pont.

**Relevés pathologiques particuliers**

- ✓ Décalage des boulonneries ou glissement



Manque des boulons.

- ✓ Des trous dans l'âme et la cause est inconnue



Trou dans l'âme des poutres.

- ✓ Fissure au droit des joints, les imperfections du béton, les décalages verticaux entre le joint et l'enrobé.



Fissure au droit des joints.

**Relevés de la corrosion**

- ✓ Corrosion du noyau de fer due au vieillissement à l'érosion de la couche protectrice (peinture).

<b>Corrosion</b>	<b>Identification des zones :</b>	<p>✓ Début de corrosion entre la semelle supérieure et la dalle en béton</p>  <p>Entretoise coté rive.</p>
	<b>Cause de corrosion :</b>	✓ Saturation de la dalle avec de l'eau
	<b>Etat de surface :</b>	✓ Sur les surfaces qui ne sont pas exposées à l'air (humidité)
	<b>Taux de corrosion :</b>	5%
	<b>Entretien ?</b>	Entretien fait en 2016 par la SEROR

## Pont ferroviaire de 10 m biais d'Ouled Mimoun

### 1. Introduction

Le pont de Ouled Mimoun est un pont métallique (Fer puddlé) de liaison ferroviaire qui accomplit des fonctions de grandes importances, le pont fait face à de multiples pathologies telles que la corrosion et la fragilité aux chocs.

### 2. Présentation de l'ouvrage

#### 2.1. Historique de l'ouvrage

Le pont métallique ferroviaire sur le chemin de grande communication de Sebdu à Ouled Mimoun 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 ».

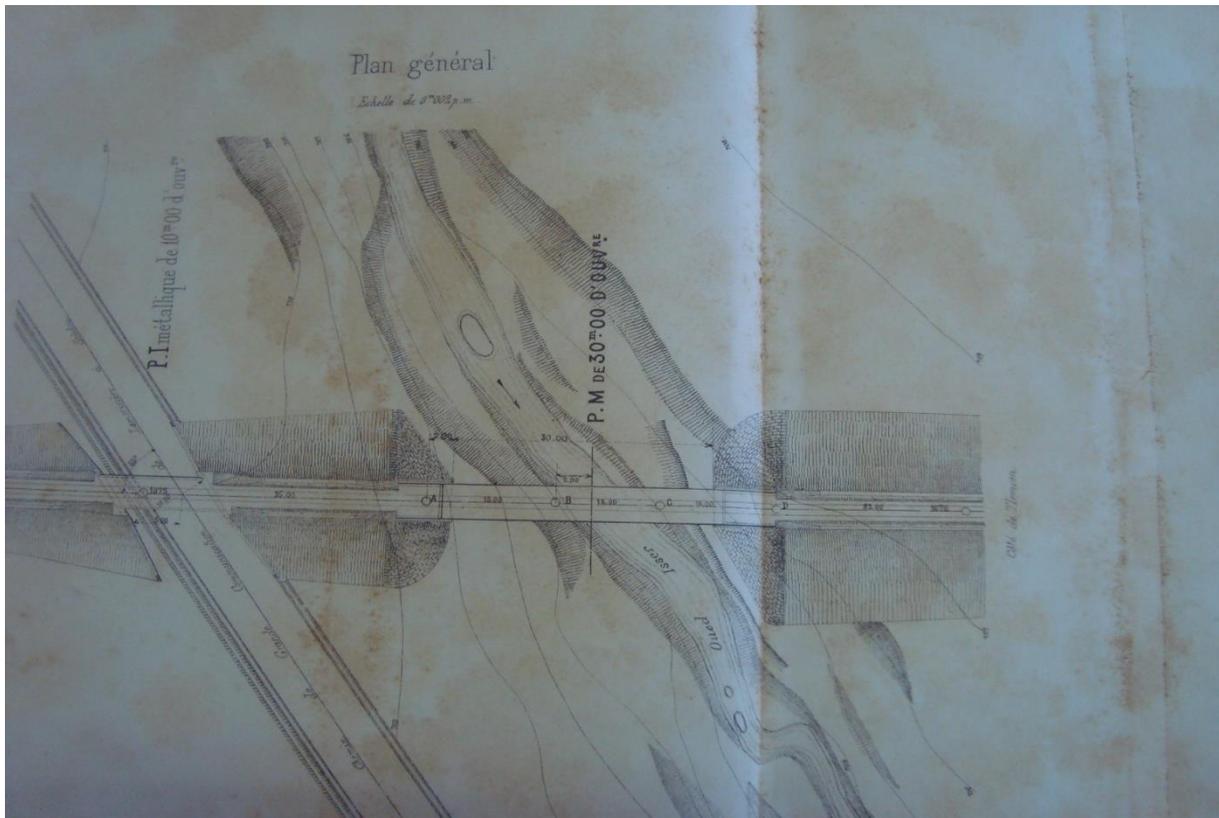


Photo 3. 1: Plan de masse avec vue sur les ponts biais de 10m et de 30m sur Oued Isser.

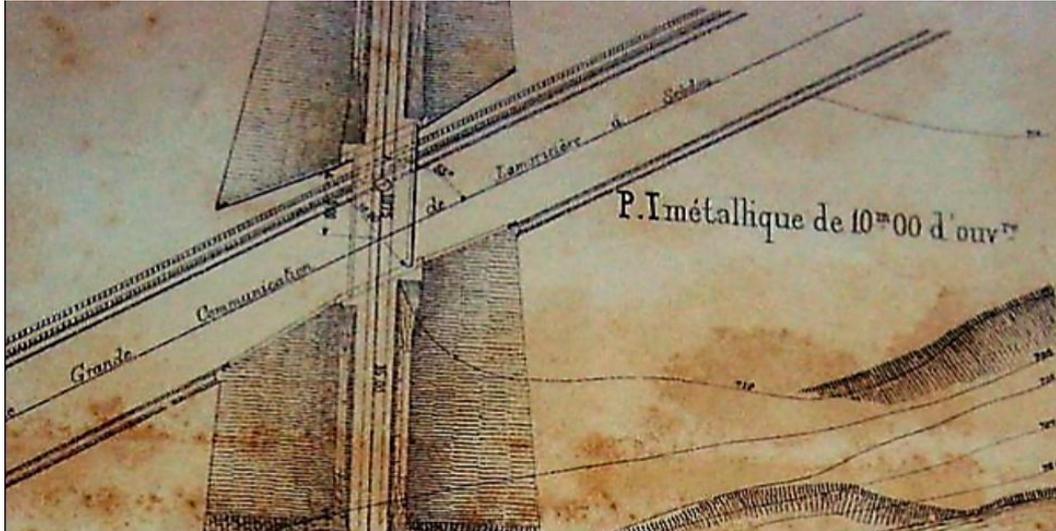


Photo 3. 2: Plan initial du pont biais de 10m.

### 1. Localisation de l'ouvrage de 10 m biais

Le pont rail métallique au PK 107+370, est situé à environ 32 Km de la ville de Tlemcen, et à 400m à l'ouest de la gare ferroviaire de la commune de Ouled Mimoun. C'est un passage supérieur par apport à la route communale RN 22B qui mène AIN ISSER au sud.

Pour la localisation de l'ouvrage, la technologie Google Earth a été utilisée pour la détermination des coordonnées cartésiennes qui sont comme suit :

Latitude : 34°54'7. 10"N ; Longitude: 1°1'51. 62"W

### 2. Les caractéristiques de l'ouvrage

- Longueur : 13,5 m
- Largeur de tablier : 5, 7m
- Surface de tablier: 76, 95 m<sup>2</sup>

### 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. Le pont est composé de deux (2)poutres principales, de cinq (5) poutrelles courantes et deux (2) biaises, douze (12) longerons courants et deux (2) en porte-à-faux, vingt-deux (22)contreventements latéraux, vingt-quatre (24)montants, douze (12) goussets et une tôle striée mince pour le tablier.

### 4. Tableau descriptif de l'ouvrage et de ses pathologies

Le formulaire suivant présente de manière succincte et méthodique les caractéristiques, données techniques, descriptions et éléments d'informations sur les pathologies rencontrées sur l'ouvrage.

<b>Situation du pont :</b>		Ouled Mimoun	<b>P. K. :</b>	00+150(RN°22B)				
<b>Type de pont :</b>		<input checked="" type="checkbox"/> <b>Pont métallique</b> <input type="checkbox"/> <b>Pont mixte acier-béton</b> <input type="checkbox"/> <b>Pont B. A.</b> <input type="checkbox"/> <b>Pont B. P.</b>						
<b>Classe du pont :</b>		3U	<b>Nombre de voies :</b>	1(Ligne ferroviaire)				
<b>Maitre d'ouvrage :</b>		Wilaya	<b>Maitre d'œuvre :</b>	Compagnie Algérienne des Chemins de fer				
<b>Date de construction du pont :</b>		En 1889	<b>Constructeur :</b>	Compagnie Algérienne des Chemins de fer				
<b>Nbre Travées :</b>	1	<b>Nbre Poutres :</b>	4	<b>Nbre Entretoises / Travée :</b> 5				
<b>Type de piles :</b>	/	<b>Type Appareils d'appuis :</b>	En acier	<b>Nbre Appareils d'appuis :</b> Double: 2 Simple: 2				
<b>Hauteur libre sous pont :</b>		Coté Sebdou: 3, 75m	Coté Ouled Mimoun: 3, 87m					
<b>Types d'élément</b>		<b>Désordres</b>	<b>Critères de classement</b>	<b>Classes :</b>				
				<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2E</b>	<b>3</b>	<b>3U</b>
<b>Structure</b>	<b>Tablier</b>	Tôle métallique à 2 poutres principales (Assemblage par des rivets)	Nécessite un traitement à savoir le sablage ainsi une peinture anti rouille				✓	
	<b>Poutre</b>	Métallique (en Fer puddlé)	Nécessite d'un changement des semelles inferieures endommagées					✓
	<b>Entretoise</b>	Métallique (en Fer puddlé)	Nécessite d'un changement des semelles inferieures endommagées					✓
	<b>Assemblages boulonnés</b>	Rivets	Nécessite de changer les rivets et ajouter qui manque					✓
	<b>Soudures</b>	/	/					
<b>Appuis</b>	<b>Appareils d'appuis</b>	En acier	Nécessite de nettoyer et de remplacer ce qui doit être changé				✓	
	<b>Piles</b>	/	/					
	<b>Culées</b>	Mur en maçonnerie	Bon état	✓				

<b>Equipements</b>	<b>Chaussée</b>	Voie ferrée	Bon état	✓				
	<b>Trottoirs</b>	Métallique (en Fer puddlé)	Nécessite un traitement à savoir le sablage ainsi une peinture anti rouille					✓
	<b>Bordures de trottoirs</b>	Métallique (Fer puddlé)	Nécessite un traitement à savoir le sablage ainsi une peinture anti rouille					✓
	<b>Corniches</b>	Métallique (Fer puddlé)	Nécessite d'un changement des corniches endommagées				✓	
	<b>Evacuation des eaux</b>	/	Bon état	✓				
	<b>Joint de chaussées</b>	/	/					
	<b>Talus</b>	Végétation	Bon état	✓				

**Situation géographique de l'ouvrage**



Vue aérienne de l'ouvrage d'Ouled Mimoun 10 m.

**Photos descriptives de l'ouvrage**

Pont avant la maintenance :



Coté Sebdo (2018). Vue de dessous du pont.

Pont après la maintenance (en 2023):



Coté Sebdo vue droite. Vue de dessous du pont.



Vue supérieure du tablier du pont. Vue coté Sebdu.



Vue de semelle inférieure.

### **Relevés pathologiques particuliers**

- ✓ Les fissures des trous de rivet et les rivets disparaissent.
- ✓ La section est réduite du fait de la disparition de la fonte nodulaire sous choc accidentel et de la corrosion au niveau de la sole.
- ✓ Déchirure tôle quadrille. Démontage des liaisons poutre-plaque rivetées avec poinçonnage au niveau de l'assemblage

**Relevés de la corrosion**

- ✓ Corrosion du noyau de fer due au vieillissement et à l'érosion de la couche protectrice (peinture).
- ✓ Les autres rivets sont encore en bon état.
- ✓ Plusieurs têtes de rivets corrodées sur la semelle et les pièces environnantes.

**Corrosion**

**Identification des zones :**

a. La semelle est déformée plastiquement et fissurée, la Corrosion est sévère, la fissure se dilate au niveau du rivet, provoquant la déchirure de la semelle, et la bande est déformée après l'impact d'un camion surdimensionné



Semelle inférieure.

b. Les têtes de rivets à impact sont presque toujours en état de corrosion.



Tête de rivet - Corrosion

Zones déformées après accidents multiples

		 <p>Propagation de la corrosion. Trou au niveau de l'âme de la fibre inférieur du panneau.</p>  <p>Trou au niveau de l'âme.</p>
<p><b>Cause de corrosion :</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sur les surfaces qui ne sont pas exposées à l'air (humidité)</li> <li>✓ Corrosion : Des zones déformées après effritement de la peinture, Déchirure et déformation.</li> </ul>	
<p><b>Etat de surface :</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La rouille de surface due à un manque de protection contre la corrosion peut entraîner la dégradation des boulons.</li> </ul>	
<p><b>Taux de corrosion :</b></p>	<p>80%</p>	
<p><b>Entretien ?</b></p>	<p>Les ouvrages de la SNTF sont régulièrement entretenus. La dernière maintenance relative à cet ouvrage a eu lieu au mois de janvier 2023.</p>	

## L'ouvrage ferroviaire métallique de 30 m sur Oued Isser



Photo 3. 3 : Pont ferroviaire métallique sur Oued Isser.

### 1. Localisation de l'ouvrage de 30 m

Le pont rail métallique au PK 107+405 a été mis en service en 1889, est situé environ 32 Km de la ville de Tlemcen, 400m à l'ouest de la gare ferroviaire de la commune de Ouled Mimoun

Pour la localisation de l'ouvrage, la technologie Google Earth a été utilisée pour la détermination des coordonnées cartésiennes qui sont comme suit :

Latitude :  $34^{\circ}54'06.5''N$  ; Longitude:  $1^{\circ}1'53.8''W$

### 2. Les caractéristiques de l'ouvrage

- ✓ Longueur : 45, 1 m
- ✓ Largeur de tablier : 4, 55m
- ✓ Surface de tablier: 146, 055 m<sup>2</sup>

### 3. Présentation géométrique de l'ouvrage:

L'ouvrage est un pont métallique ferroviaire à poutres latérales en treillis d'une seule travée de 45, 10 m de portée. Le pont est composé de deux (2) poutres en treillis, quatorze (14)entretoises et deux(2) en porte-à-faux, une tôle striée mince pour le tablier.

### 4. Tableau descriptif de l'ouvrage et de ses pathologies

Le formulaire suivant présente de manière succincte et méthodique les caractéristiques, données techniques, descriptions et éléments d'informations sur les pathologies rencontrées sur l'ouvrage.

<b>Situation du pont :</b>		Ouled Mimoun		<b>P. K. :</b>	107+405			
<b>Type de pont :</b>		<input checked="" type="checkbox"/> <b>Pont métallique</b> <input type="checkbox"/> <b>Pont mixte acier-béton</b> <input type="checkbox"/> <b>Pont B. A.</b> <input type="checkbox"/> <b>Pont B. P.</b>						
<b>Classe du pont :</b>		2	<b>Nombre de voies :</b>		1 (Ligne ferroviaire)			
<b>Maitre d'ouvrage :</b>		Wilaya	<b>Maitre d'œuvre :</b>		Compagnie Algérienne des Chemins de fer			
<b>Date de construction du pont :</b>		En 1889	<b>Constructeur :</b>		Compagnie Algérienne des Chemins de fer			
<b>Nbre Travées :</b>	1	<b>Nbre Poutres :</b>	2	<b>Nbre Entretoises / Travée :</b>		14		
<b>Type de piles :</b>	/	<b>Type Appareils d'appuis :</b>	En acier	<b>Nbre Appareils d'appuis :</b>		Double: 2 Simple: 2		
<b>Hauteur libre sous pont :</b>		7, 90 m						
<b>Types d'élément</b>		<b>Désordres</b>	<b>Critères de classement</b>	<b>Classes :</b>				
				<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2E</b>	<b>3</b>	<b>3U</b>
<b>Structure</b>	<b>Tablier</b>	Tôle métallique à 2poutres principales (Assemblage par des rivets)	Bon état	✓				
	<b>Poutre</b>	Latérale en treillis	Nécessite un traitement à savoir le sablage ainsi une peinture anti rouille		✓			
	<b>Entretoise</b>	Latérale en treillis	Nécessite un traitement à savoir le sablage ainsi une peinture anti rouille		✓			
	<b>Assemblages boulonnés</b>	Les boulons d'assemblages et les rivets	Nécessite de nettoyer et remplacé qui doit être changé		✓			
	<b>Soudures</b>	/	/					
<b>Appuis</b>	<b>Appareils d'appuis</b>	En acier (mobile et fixe)	Appareils d'appuis qui nécessitent un nettoyage profond et graissage		✓			
	<b>Piles</b>	/	/					
	<b>Culées</b>	Mur en maçonnerie	Bon état	✓				

<b>Equipements</b>	<b>Chaussée</b>	Voie ferrée	Bon état	✓				
	<b>Trottoirs</b>	Métallique (en Fer puddlé)	Bon état	✓				
	<b>Bordures de trottoirs</b>	Métallique (en Fer puddlé)	Bon état	✓				
	<b>Corniches</b>	Métallique (Fer puddlé)	Bon état	✓				
	<b>Evacuation des eaux</b>		Bon état	✓				
	<b>Joints de chaussées</b>	/	/					
	<b>Talus</b>	Pierre	Bon état	✓				

**Situation géographique de l'ouvrage**



Vue aérienne de l'ouvrage 1 d'OULED MIMOUN.

Photos descriptives de l'ouvrage



Coté vue de gauche. Coté vue de droite.



Vue de dessous du pont. Vue supérieure du tablier du pont.



Coté vue de droite.

**Relevés pathologiques particuliers**

- ✓ Les fissures des trous de rivet et les rivets disparaissent.

**Relevés de la corrosion**

- ✓ Corrosion du noyau de fer due au vieillissement et à l'érosion de la couche protectrice (peinture).
- ✓ Les autres rivets sont encore en bon état.
- ✓ Plusieurs têtes de rivets corrodées sur la semelle et les pièces environnantes.

- ✓ Effritement de la peinture et corrodé



**Corrosion**

**Identification des zones :**



		
		<p>Zones corrodé.</p>
		
		<p>Poutre inférieure.</p>
<p><b>Cause de corrosion :</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sur les surfaces qui ne sont pas exposées à l'air (humidité)</li> <li>✓ Corrosion des zones déformée après effritement de la peinture, déchirure et déformation</li> </ul>
<p><b>Etat de surface :</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La rouille de surface due à un manque de protection contre la corrosion peut entraîner la dégradation des boulons.</li> </ul>
<p><b>Taux de corrosion :</b></p>		<p>45%</p>
<p><b>Entretien ?</b></p>		<p>Régulièrement réalisé : non</p>

## Le pont ferroviaire «AGADIR»

### 1. Introduction

Le pont de Agadir est un pont métallique (Fer puddlé) de liaison ferroviaire qui accomplit des fonctions de grandes importances, le pont fait face à de multiples pathologies telles que la corrosion et la fragilité aux chocs.

### 2. Présentation de l'ouvrage

#### 2.1. Historique de l'ouvrage

Le pont métallique ferroviaire sur la Gare de Tlemccen 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-Tlemccen »

#### 2.2. Localisation de l'ouvrage

Le pont ferroviaire au PK 138, 920 a été mis en service en 1889, est situé à côté de Agadir dans de la ville de Tlemccen

Pour la localisation de l'ouvrage, la technologie Google Earth a été utilisée pour la détermination des coordonnées cartésiennes qui sont comme suit :

Latitude : 34°53'10. 7"N ; Longitude : 1°18'12. 4"W

#### 2.3. Les caractéristiques de l'ouvrage

- Longueur: 16, 90 m
- Largeur de tablier: 4, 55 m
- Surface du tablier: 34, 13  $m^2$

#### 2.4. Tableau descriptif de l'ouvrage et de ses pathologies

Le formulaire suivant présente de manière succincte et méthodique les caractéristiques, données techniques, descriptions et éléments d'informations sur les pathologies rencontrées sur l'ouvrage.

<b>Situation du pont :</b>		Tlemccen		<b>P. K. :</b>	138, 920			
<b>Type de pont :</b>		<input checked="" type="checkbox"/> <b>Pont métallique</b> <input type="checkbox"/> <b>Pont mixte acier-béton</b> <input type="checkbox"/> <b>Pont B. A.</b> <input type="checkbox"/> <b>Pont B. P.</b>						
<b>Classe du pont :</b>		2E	<b>Nombre de voies :</b>		1(Ligne ferroviaire)			
<b>Maitre d'ouvrage :</b>		Wilaya	<b>Maitre d'œuvre :</b>		Compagnie Algérienne des Chemins de fer			
<b>Date de construction du pont :</b>		En 1889	<b>Constructeur :</b>					
<b>Nbre Travées :</b>	1	<b>Nbre Poutres :</b>	6	<b>Nbre Entretoises / Travée :</b>		12		
<b>Type de piles :</b>	/	<b>Type Appareils d'appuis :</b>	En acier	<b>Nbre Appareils d'appuis :</b>		12		
<b>Hauteur libre sous pont :</b>		4, 7						
<b>Types d'élément</b>		<b>Désordres</b>	<b>Critères de classement</b>	<b>Classes :</b>				
				<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2E</b>	<b>3</b>	<b>3U</b>
<b>Structure</b>	<b>Tablier</b>	Métallique à 2 poutres principales (Assemblage par des rivets)	Bon état	✓				
	<b>Poutre</b>	2exterieurs : poutre en Fer puddlé 2 Intermédiaires en caissons	Bon état	✓				
	<b>Entretoise</b>	En Fer puddlé	Bon état	✓				
	<b>Assemblages boulonnés</b>	Les boulons et les rivets		✓				
	<b>Soudures</b>	/	/					
<b>Appuis</b>	<b>Appareils d'appuis</b>	Platine en acier et tige	Nettoyage de zone d'appui	✓				
	<b>Piles</b>	/	/					
	<b>Culées</b>	Mur en maçonnerie	Nécessite une réparation			✓		
<b>Equipements</b>	<b>Chaussée</b>	Voie ferrée	Bon état	✓				
	<b>Trottoirs</b>	/	/					
	<b>Bordures de trottoirs</b>	Gardes corps	Bon état	✓				
	<b>Corniches</b>	/	/					
	<b>Evacuation des eaux</b>	/	Bon état	✓				

	<b>Joints de chaussées</b>	/	/				
	<b>Talus</b>	Bon état apparent sauf problème de végétation	Nécessite un nettoyage et dégradation du talus par la végétation		✓		
<b>Corrosion</b>	<b>Identification des zones :</b>	Aucun					
	<b>Cause de corrosion :</b>	/					
	<b>Etat de surface :</b>	/					
	<b>Taux de corrosion :</b>	0%					
	<b>Entretien ?</b>	Régulièrement réalise : non					

**Situation géographique de l'ouvrage**



Vue aérienne de l'ouvrage de Agadir.

Photos descriptives de l'ouvrage



Vue coté TLEMCCEN. Vue coté AGADIR.



Vue de dessous du pont. Vue supérieure du tablier du pont.



Coté AGADIR vue de gauche.

**Relevés pathologiques particuliers**

- ✓ L'œil et la graisse soit dégagées par locomotive, soit le graissage des boulons et les rails.
- ✓ La semelle supérieure d'entretoise est déversée, seules les 2 semelles supérieurs doivent être changés et les rivets bien places.



La semelle supérieure de l'entretoise.

- ✓ Fissure de 3ml au niveau du mur de soutènement nécessite une réparation



Côté droit.

**Relevés de la corrosion**

L'état général est assez bon (entretenu régulièrement pas la SNTF)

## **Le pont ferroviaire « SUR LA ROUTE D'EL OURIT »**

### 1. Introduction

Le pont un pont métallique (Fer puddlé) de liaison ferroviaire qui accomplit des fonctions de grandes importances, le pont fait face à de multiples pathologies telles que la corrosion et la fragilité aux chocs.

### 2. Présentation de l'ouvrage

#### 2.1. Historique de l'ouvrage

Le pont métallique ferroviaire sur la Gare de Tlemcen 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 « Taïba-Tlemcen »

#### 2.2. Localisation de l'ouvrage

Le pont ferroviaire au PK 138, 082 a été mis en service en 1889, est situé à sidi Boumediene dans la ville de Tlemcen

Pour la localisation de l'ouvrage, la technologie Google Earth a été utilisée pour la détermination des coordonnées cartésiennes qui sont comme suit :

Latitude : 34°52'57. 1" ; N Longitude : 1°17'44. 0"W

#### 2.3. Les caractéristiques de l'ouvrage

- Longueur: 15, 00 m
- Largeur de tablier: 4, 70 m
- Surface du tablier: 70, 5  $m^2$

#### 2.4. Tableau descriptif de l'ouvrage et de ses pathologies

Le formulaire suivant présente de manière succincte et méthodique les caractéristiques, données techniques, descriptions et éléments d'informations sur les pathologies rencontrées sur l'ouvrage.

<b>Situation du pont :</b>		Tlemccen		<b>P. K. :</b>	138, 082			
<b>Type de pont :</b>		<input checked="" type="checkbox"/> <b>Pont métallique</b> <input type="checkbox"/> <b>Pont mixte acier-béton</b> <input type="checkbox"/> <b>Pont B. A.</b> <input type="checkbox"/> <b>Pont B. P.</b>						
<b>Classe du pont :</b>		2	<b>Nombre de voies :</b>	1(Ligne ferroviaire)				
<b>Maitre d'ouvrage :</b>		Wilaya	<b>Maitre d'œuvre :</b>	Compagnie Algérienne des Chemins de fer				
<b>Date de construction du pont :</b>		En 1889	<b>Constructeur :</b>	Compagnie Algérienne des Chemins de fer				
<b>Néré Travées :</b>	1	<b>Néré Poutres :</b>	4	<b>Néré Entretoises / Travée:</b>	6			
<b>Type de piles :</b>	/	<b>Type Appareils d'appuis :</b>	En acier	<b>Nbre Appareils d'appuis :</b>	12			
<b>Hauteur libre sous pont :</b>		5, 15						
<b>Types d'élément</b>		<b>Désordres</b>	<b>Critères de classement</b>	<b>Classes :</b>				
				<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2E</b>	<b>3</b>	<b>3U</b>
<b>Structure</b>	<b>Tablier</b>	Métallique à 2 poutres principales (Assemblage par des rivets)	Tôle déformée	✓				
	<b>Poutre</b>	2 Intermédiaires en caissons	Bon état	✓				
	<b>Entretoise</b>	En Fer puddlé	Bon état	✓				
	<b>Assemblages boulonnés</b>	Les boulons et Rivets	Commencé à se décaper la peinture et rouillée		✓			
	<b>Soudures</b>	/	/					
<b>Appuis</b>	<b>Appareils d'appuis</b>	Platine en fer puddle et Tige d'encrage (Fixe)	Il faut un nettoyage de la zone d'appui		✓			
	<b>Piles</b>	/	/					
	<b>Culées</b>	Mur en maçonnerie	Bon état	✓				
<b>Equipements</b>	<b>Chaussée</b>	Voie ferrée	Bon état	✓				
	<b>Trottoirs</b>	/	/					
	<b>Bordures de trottoirs</b>	Gardes corps	Commencé à se décaper la peinture et rouillée		✓			
	<b>Corniches</b>	En Fer puddlé	Bon état	✓				
	<b>Evacuation des eaux</b>	/	Bon état	✓				
	<b>Joints de chaussées</b>	/	/					

	<b>Talus</b>	<b>Pierre</b>	<b>Bon état</b>	✓				
--	--------------	---------------	-----------------	---	--	--	--	--

**Situation géographique de l'ouvrage**



Vue aérienne de l'ouvrage.

**Photos descriptives de l'ouvrage**



Vue coté TLEMCEN. Vue coté SAF SAF.



Vue supérieure du tablier du pont. Vue de dessous du pont.



Coté SAF SAF vue de gauche.

**Relevés pathologiques particuliers**

✓ Petite déformation de 2Tôles.



Tôle déformée.

**Relevés de la corrosion**

✓ Corrosion du noyau de fer due au vieillissement et à l'érosion de la couche protectrice (peinture).

**Corrosion**

**Identification des zones :**

✓ Corrosion des semelles inferieurs et effritement de la peinture.



semelles inferieurs.

		 <p style="text-align: center;">Gardes corps corrodé.</p>
	<b>Cause de corrosion :</b>	✓ Due au vieillissement et à l'érosion de la couche protectrice (peinture)
	<b>Etat de surface :</b>	✓ La rouille de surface due à un manque de protection contre la corrosion peut entraîner la dégradation des boulons.
	<b>Taux de corrosion :</b>	5%
	<b>Entretien ?</b>	Régulièrement réalisé : non

## 2. Conclusion

Malgré les difficultés et le manque de moyens liés aux méthodes d'imagerie de qualité structurale, nous avons su apporter notre expertise car cette méthode est basée sur l'inspection visuelle des dégradations.

Tous les ponts que nous avons visités sont parmi les plus anciens ouvrages du réseau routier et ferroviaire Algérien. Suite à mon relevé pathologique et mon appréciation visuelle on peut dire que les ouvrages se trouvent dans un bon état mais il faut être vigilant sur l'entretien de certains éléments (boulons, poutres, contreventements, rivets et tôles).

Les méthodes et techniques pour assurer la réparation et la rénovation des ponts métalliques dégradés font l'objet du chapitre suivant.

## **CHAPITRE 4 : RECOMMANDATIONS DE SUIVI ET D'ENTRETIEN**

### 1. Introduction

Les méthodes et techniques de réparation sont très complexes et de plus en plus diversifiées, et leur mise en œuvre nécessite des connaissances spécialisées et une parfaite maîtrise de moyens de plus en plus complexes. Le choix de la technique de réparation dépend de sa faisabilité, du temps requis, des coûts directs (démolition, réparations et travaux temporaires) et des coûts indirects (déviation de circulation, accidents, etc.).

### 2. Définitions des interventions sur un pont

#### 2.1. Entretien courant

L'entretien courant comprend essentiellement :

- ✓ Le nettoyage des dispositifs d'écoulement des eaux : gargouilles, barbacanes, fosses, caniveaux, drains etc. ...
- ✓ Le nettoyage de la chaussée et l'enlèvement des dépôts qui se créent sur ses rives.
- ✓ Le nettoyage des joints de chaussée, des joints de trottoirs et leurs équipements.
- ✓ Le nettoyage des trottoirs, notamment ceux comportant des barettes amovibles
- ✓ Le nettoyage des sommiers d'appui, de l'intérieur du tablier, des dispositifs de mines éventuels.
- ✓ Le contrôle de l'état et le nettoyage des dispositifs de retenue (garde-corps, glissières, barrières) et des accès de visite (trappes, portes, échelles, nacelles).
- ✓ L'élimination de toute la végétation nuisible sur l'ensemble de l'ouvrage et à ses abords (perrés, talus).
- ✓ Le nettoyage des parements de tous graffitis et affiches.
- ✓ L'enlèvement de corps flottants à l'amont des piles.
- ✓ Le maintien en état de la signalisation relative à l'exploitation de l'ouvrage et située sur les voies adjacentes (limitation de gabarit ou détonnage).
- ✓ Le contrôle de l'état de tous les équipements liés à l'usage de la voie portée ou de la brèche franchie, et supportés par l'ouvrage, tels que candélabres, bornes d'appel d'urgence, signalisation vertical, réseaux des concessionnaires, en particulier le contrôle des dispositifs de fixation de ces équipements à l'ouvrage.

#### 2.2. Entretien spécialisé

Les réparations professionnelles concernent principalement les équipements et les éléments de protection, mais aussi les défauts structurels mineurs. Elle diffère de la maintenance de routine par les méthodes spécifiques qu'elle nécessite et les techniques spéciales utilisées. Les opérations de maintenance professionnelle les plus courantes sont :

- ✓ Opérations sur les défauts mineurs de la structure
  - Protection des barres d'armature très localement exposées, nivellement occasionnel et peu profond des finitions en béton très localement en dommages,
  - Protection et réparation des joints d'ancrage des barres d'armature précontraint,
  - Remplacez les rivets ou les boulons individuellement.
- ✓ Opérations sur les équipements et les éléments de protection
  - Maintenance des installations hydrauliques,
  - Peinture des garde-corps et des éléments métalliques équipement,
  - Réfection de bordures de chaussées, dalles sous chaussées, maladie locale sur la corniche,
  - Réparation mortier étanche, couche d'usure, peinture de trottoir,

- Inhibe la prise d'eau et protège les finitions d'humidité de ruissellement,
- Réparer ou fabriquer des équipements de maintenance et d'inspection,
- Ossature métallique repeinte,
- Maintenir la protection cathodique des pièces métalliques renforcement structurel ou béton,
- Réparer ou installer des éléments de protection.

### 2.3. Buts de l'inspection visuelle

#### ✓ Qualifier

Spécifique à une maladie d'origine et de conséquences particulières. Cette qualification nous permet de savoir à quelle maladie nous sommes confrontés et donc quel type de traitement/rééducation faire.

#### ✓ Localiser

La position structurelle d'une question indique son degré d'importance et son origine. De plus, l'emplacement peut identifier immédiatement les zones nécessitant une attention urgente et sélectionner les travaux en fonction des restrictions d'accès.

#### ✓ Quantifier

Le but est de comprendre l'étendue du problème afin d'évaluer la méthode de réparation la plus appropriée.

#### ✓ Comparer

L'état de l'ouvrage est comparé à l'état précédent ou à l'état de référence afin de détecter et signaler en temps utile toute nouvelle anomalie ou toute évolution anormale d'anomalies existantes.

### 2.4. Réparation

La capacité portante ou la capacité d'une structure est sa capacité à supporter la charge nominale pour laquelle elle a été conçue et dimensionnée. La réparation est une opération effectuée sur une structure pour préserver ou restaurer la structure à sa capacité portante d'origine. Les actions de réparation les plus couramment effectuées sont :

- ✓ Pour la maçonnerie
  - Le rejointoiement
  - La reconstitution de pierres altérées
  - L'injection
  - La reconstruction partielle
  - La pose de tirants d'enserments des tympans ou des murs en retour
  - La réalisation d'une contre-voute.
- ✓ Pour le béton
  - L'injection de fissures du béton
  - La reconstitution de béton dégradé sur une profondeur importante ou une surface étendue
  - L'adjonction d'armatures
  - L'application d'une précontrainte additionnelle
- ✓ Pour le métal
  - La réfection d'assemblages boulonnés ou rives
  - La reconstitution ou le remplacement de pièces d'un ouvrage métallique

- ✓ Pour les fondations
  - La reprise de fondation en sous œuvre
  - Le confortement de fondation par rideaux de palplanches métalliques, par injection du sol, et par bétonnage de cavités.
- ✓ Pour les appuis
  - Le changement des appareils d'appui.

### 2.5.Méthode de réparation

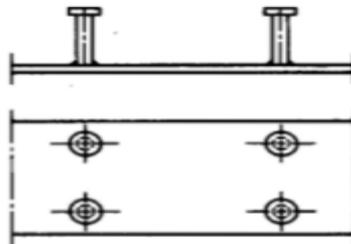
La protection contre la corrosion d'une charpente métallique peut être obtenue soit par un revêtement anticorrosion, soit par l'emploi d'acier patinable ou acier inoxydable, pour augmenter la durée de vie et éviter le risque de corrosion. Généralement, les revêtements protecteurs appliqués par peintures sont composés par d'une couche de fond, simple ou multiple, qui sert la protection contre la corrosion (peinture antirouille) et de liaison avec la couche de finition, ces revêtements sont caractérisés par l'étanchéité, la teinte, la brillance, la texture et la résistance aux influences extérieures. Et aussi les revêtements protecteurs appliqués par trempage (zingage à chaud), ce procédé permet de traiter les endroits de difficiles d'accès ou les zones des joints de montages par boulonnage. [23]

#### 2.5.1. Remplacement des pièces

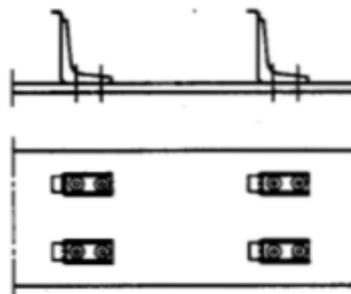
##### 2.5.1.1. Les connecteurs

Les connecteurs sont les éléments qui assurent la liaison entre les barres d'acier et le béton. Afin d'éviter le glissement relatif des deux matériaux sur leurs surfaces de contact, ainsi que la séparation des plaques des poutres métalliques, les connecteurs sont certifiés être classés en plusieurs catégories :

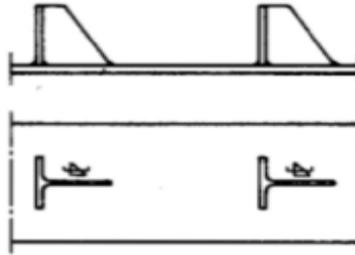
- ✓ Goujons à tête :



- ✓ Equerres en acier façonné à froid :



- ✓ Butées :



### 2.5.1.2. Assemblage :

Un assemblage est un dispositif qui associe plusieurs pièces pour assurer le transfert et la répartition des différentes contraintes entre les pièces sans contraintes parasites, notamment de torsion. Le type d'assemblage que nous allons utiliser est du type boulon précontraint HR (Haute Résistance), en acier à haute limite élastique avec une rondelle sur la tête. Lors du boulonnage, il est serré fortement, ce qui a pour effet de lui appliquer une pré charge qui agit parallèlement à l'axe du boulon.

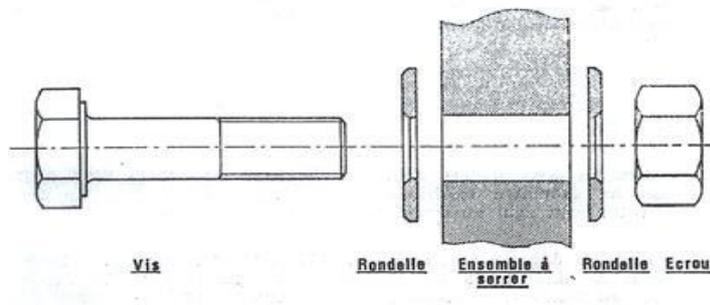


Figure 4. 1 : boulon précontraint HR.

- Défauts de pose: principalement liés à une mauvaise taille et sélection des boulons : la Longueur de tige est insuffisante et ne répond pas aux conditions de pose.
- La corrosion peut prendre plusieurs formes, à commencer par la rouille de la surface

En raison d'un manque de protection contre la corrosion ce sont les boulons qui se dégradent en premiers. La corrosion spécifique des écrous sur les anciennes constructions dans les assemblages boulonnés courants est souvent le résultat de l'utilisation d'aciers désulfurés pour améliorer l'usinabilité.

- La corrosion entre les composants peut provoquer des contraintes de traction excessives sous la tête.

### 2.5.1.3. Le soudage

Le soudage est l'opération d'assemblage qui assure la continuité métallique de deux pièces par phénomène de fusion locale.

Les défauts des soudures peuvent être nocifs de différentes façons. Ils peuvent :

Affaiblir la résistance statique de l'assemblage

Initier une fissure de fatigue

Provoquer une rupture fragile, si d'autres facteurs défavorables sont réunis.

### 2.5.1.4. Rivetage

Les rivets sont les éléments d'assemblage final. Il se présente sous la forme d'une tige cylindrique, généralement métallique, pleine, munie à une extrémité d'une « tête », partie d'une plus grande section.



Figure 4. 2 : Rivet.

- ✓ L'autre extrémité sera emboutie à chaud pour former une deuxième tête pour maintenir l'élément à assembler. Cette opération s'appelle le rivetage.
- ✓ La tête du rivet doit être centrée. La tête ne doit pas être décalée de l'axe de l'arbre de plus de  $0,15 d_0$ , où  $d_0$  est le diamètre du trou.
- ✓ Les têtes de rivet doivent être exemptes de fissures et de bosses.
- ✓ Les rivets doivent avoir un bon contact avec les pièces assemblées sur la surface extérieure du pli et dans le trou. Aucun mouvement ou vibration ne doit être détecté.
- ✓ Les colliers légèrement réguliers et centrés ne sont acceptables que lorsqu'un nombre limité de rivets est impliqué dans l'ensemble.
- ✓ Vous pouvez spécifier la surface extérieure d'une pièce qui ne doit pas présenter de marques causées par des rivets.
- ✓ Pour remplacer un rivet défectueux, si nécessaire, le trou est alésé à un diamètre immédiatement supérieur à la taille du rivet retiré, et l'élément d'assemblage endommagé doit être réparé. Ces matériaux sont interdits si la température du métal est inférieure à  $5^{\circ}\text{C}$ .

### 2.5.2. Traiter la corrosion

#### 2.5.2.1. Le sablage

Le sablage industriel des métaux, également appelé grenailage ou décapage ou décalaminage, implique l'application de grains abrasifs mélangés à de l'air comprimé par un jet pneumatique à travers un tuyau terminé par une buse. Ce principe supprime toutes les rugosités ainsi que tous les points de corrosion et neutralise les imperfections des surfaces vierges de fonderie ou des pièces rouillées ou ayant été traitées avec de la peinture, du vernis ou toute autre couche de surface.

Une fois la surface complètement décapée, nous pouvons procéder aux étapes suivantes.

#### 2.5.2.2. La brosse métallique

Une brosse à poils métalliques facilite le dégrassage des pièces rouillées. Pour éviter les rayures, ne pas utiliser une brosse dont les poils sont plus durs que la matière à nettoyer : brosse métallique acier uniquement sur pièces très rouillées.

#### 2.5.2.3. La peinture

Le système appliqué est sélectionné dans la liste des systèmes certifiés par l'ACQPA (Corrosion Protection Coatings Accreditation and Qualification Association). La liste couvre les structures offshore, mais aussi le génie civil ou les bâtiments, les structures industrielles et toutes sortes d'équipements en fer, en fonte ou en acier avec des éléments ayant une épaisseur minimale de 3 mm. Il s'agit de l'entretien des ouvrages neufs et des ouvrages supportant les

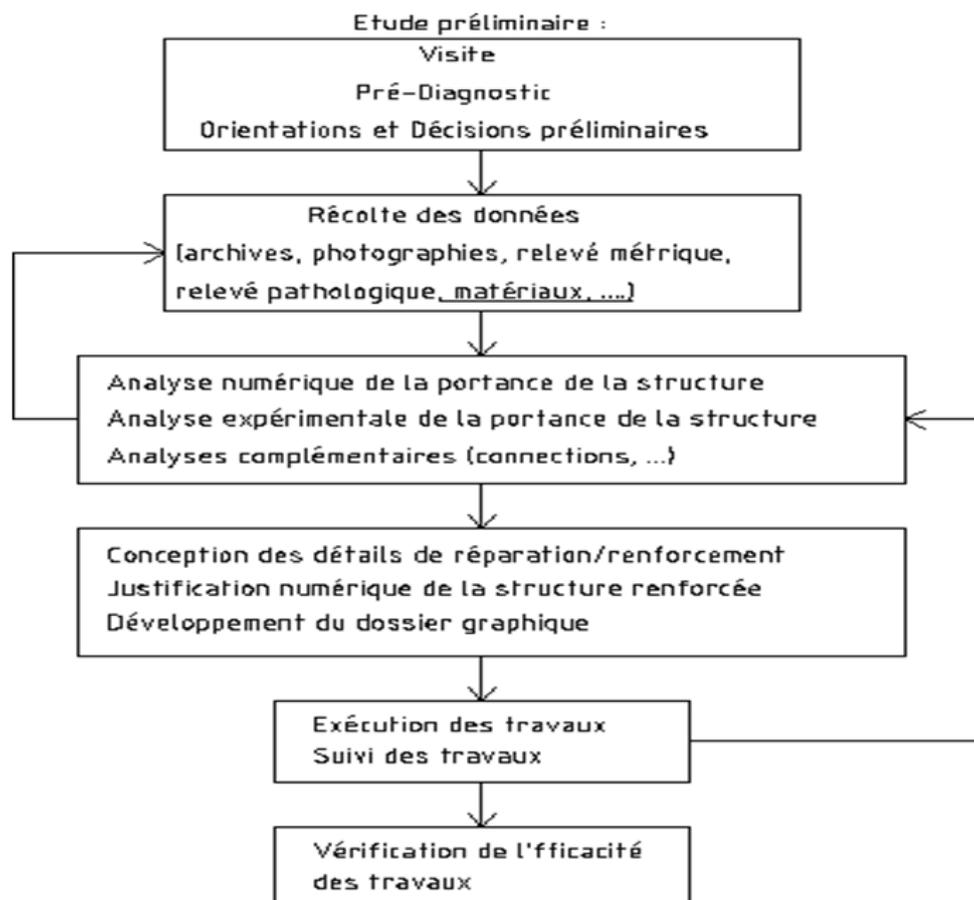
ouvrages bruts, galvanisés ou métallisés. La marque ACQPA pour les systèmes de peinture apporte à la maîtrise d'ouvrage (état, collectivité) un ensemble de garanties (résistance à la corrosion sur 15ans).



Figure 4. 3 : Un type de revêtement d'une peinture anti corrosion.

### 3. La méthodologie d'Auscultation

La méthodologie doit fournir un retour d'expérience du processus et la possibilité de reconsidérer les stratégies d'action lorsque les conditions ont détecté un changement à priori, qui sera défini mais non prévisible.



Organigramme de la méthodologie [24]

A partir des résultats du diagnostic des 6 ouvrages étudiés, on peut proposer les programmes d'intervention suivants pour une requalification de ces ouvrages d'art.

Ponts	Localisation	Photo	Taux de corrosion	Classe de l'Etat IQOA	Programme d'Intervention et Réparation
1	Bd Ain Sbaa Ali, Kifan, Tlemcen		45%	2E	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'acier du pont corrodé qui nécessite un traitement à savoir le sablage ainsi qu'une peinture anti rouille</li> <li>• Infiltrations des eaux dans l'extrémité et le trottoir, il faut colmater les trous.</li> <li>• Dégradation du talus par la végétation</li> </ul>
2	Oued Saf Saf, Chetouane		5%	2E	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aucune corrosion (Réparation faite en 2016)</li> <li>• Il faut ajouter les boulons manquants dans les assemblages en couvre-joint des entretoises.</li> </ul>

## CHAPITRE 4 : RECOMMANDATIONS DE SUIVI ET D'ENTRETIEN

3	Pont biais 10m, Ouled Mimoun, Tlemcen		0%	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aucune corrosion observée</li> <li>• Réparé en 2023</li> <li>• Bon état</li> </ul>
4	Pont 30m sur Oued Isser Ouled Mimoun, Tlemcen		45%	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'acier du pont corrodé qui nécessite un traitement à savoir le sablage ainsi qu'une peinture anti rouille.</li> <li>• Appareil d'appui qui nécessite un nettoyage profond et graissage.</li> </ul>

## CHAPITRE 4 : RECOMMANDATIONS DE SUIVI ET D'ENTRETIEN

5	Agadir, Tlemcen		0%	2E	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Appareil d'appui qui nécessite un nettoyage profond et graissage.</li> <li>• Nécessite un nettoyage</li> <li>• Reprise en sous œuvre des culées en pierres taillées fissurées</li> <li>• Dévégétalisations des murs des culées</li> </ul>
6	Sur la route d'El Ourit, Tlemcen		5%	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Appareil d'appui qui nécessite un nettoyage profond et graissage.</li> <li>• Nécessite un nettoyage</li> <li>• Reprise en sous œuvre des culées en pierres taillées fissurées</li> <li>• Dévégétalisations des murs des culées</li> </ul>

## Conclusion générale

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.

La restauration d'ouvrages est aujourd'hui devenue une nécessité économique et une exigence technique dans la gestion du patrimoine. Il s'agit d'entreprises spécialisées qui conjuguent longue expérience, maîtrise des moyens matériels et jouissance de compétences humaines hautement qualifiées.

Dans mon travail de projet de fin d'études, j'ai effectué des visites sur sites et lieux des ouvrages des voies ferrées et routiers, j'ai pu relever quelques pathologies tels que fissures et corrosions. Il est nécessaire de signaler la lenteur ou plus précisément la passivité de l'administration dans leur collaboration avec l'université dans le cadre des projets de fin d'études. On a constaté même la perte d'archives de certains ouvrages d'art relativement récents.

Les ouvrages du pont ferroviaire métallique et du pont mixte acier-béton que nous avons étudiés font partie du patrimoine historique des ouvrages anciens, et leur utilisation n'a cessé d'augmenter depuis leur construction il y a 130 ans, ce qui a naturellement entraîné leur vieillissement. Leur état de service doit être surveillé en permanence et maintenu en fonction de leur type. La maintenance et l'exploitation doivent correspondre aux hypothèses prises en compte lors de la conception.

L'évaluation de l'état de l'ouvrage du point de vue du matériau, de l'état structurel et de la fonction, ainsi que la détermination précise de la cause des obstructions dans les œuvres d'art sont des opérations très complexes, car les obstructions sont difficiles dans la plupart des cas. L'analyse et l'évaluation, tant leurs origines peuvent être diverses, renvoient parfois à la conception de l'ouvrage, mais sont très importantes et constituent la base nécessaire au choix d'une « stratégie de réhabilitation adéquate ».

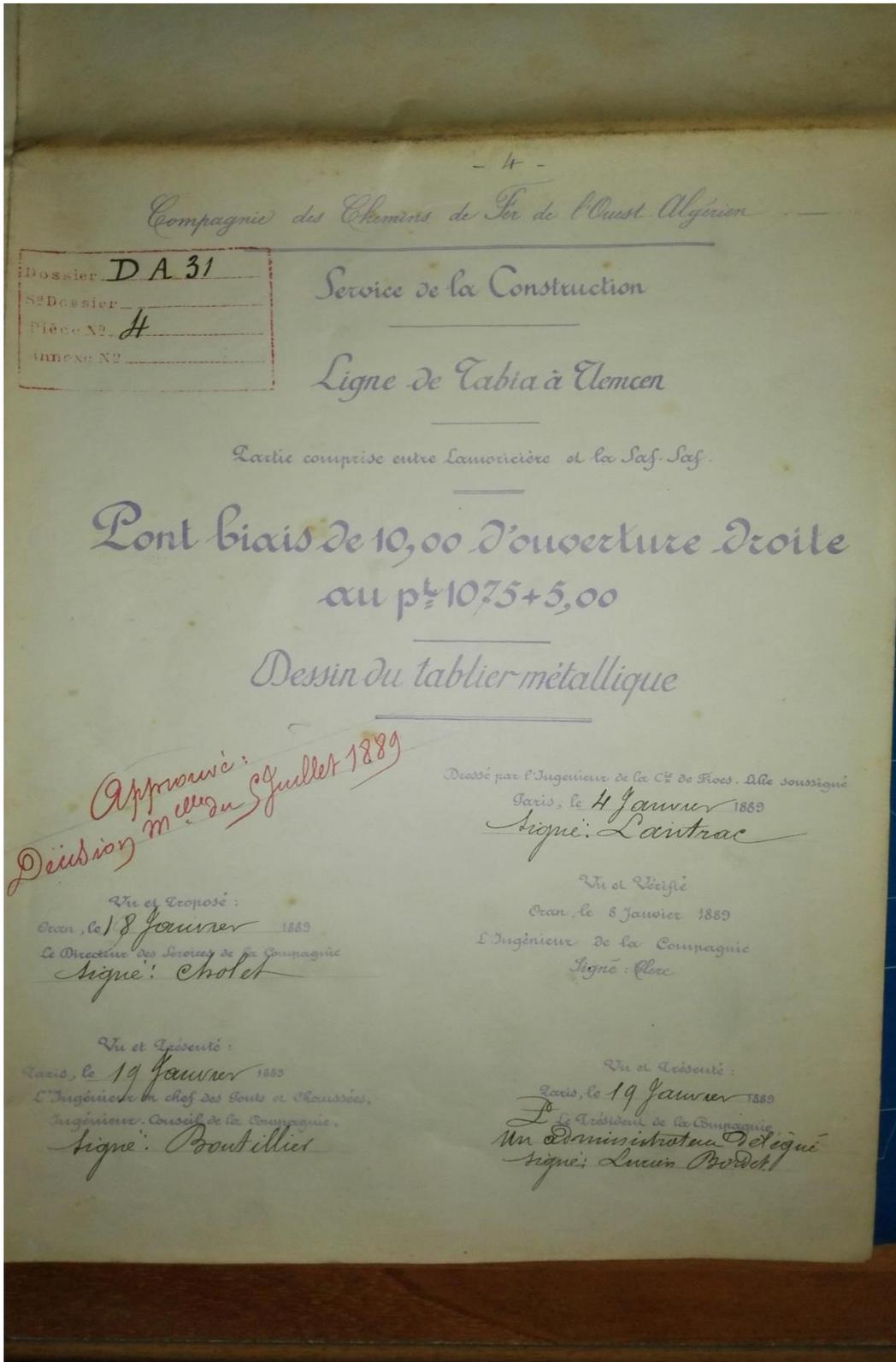
## Bibliographie

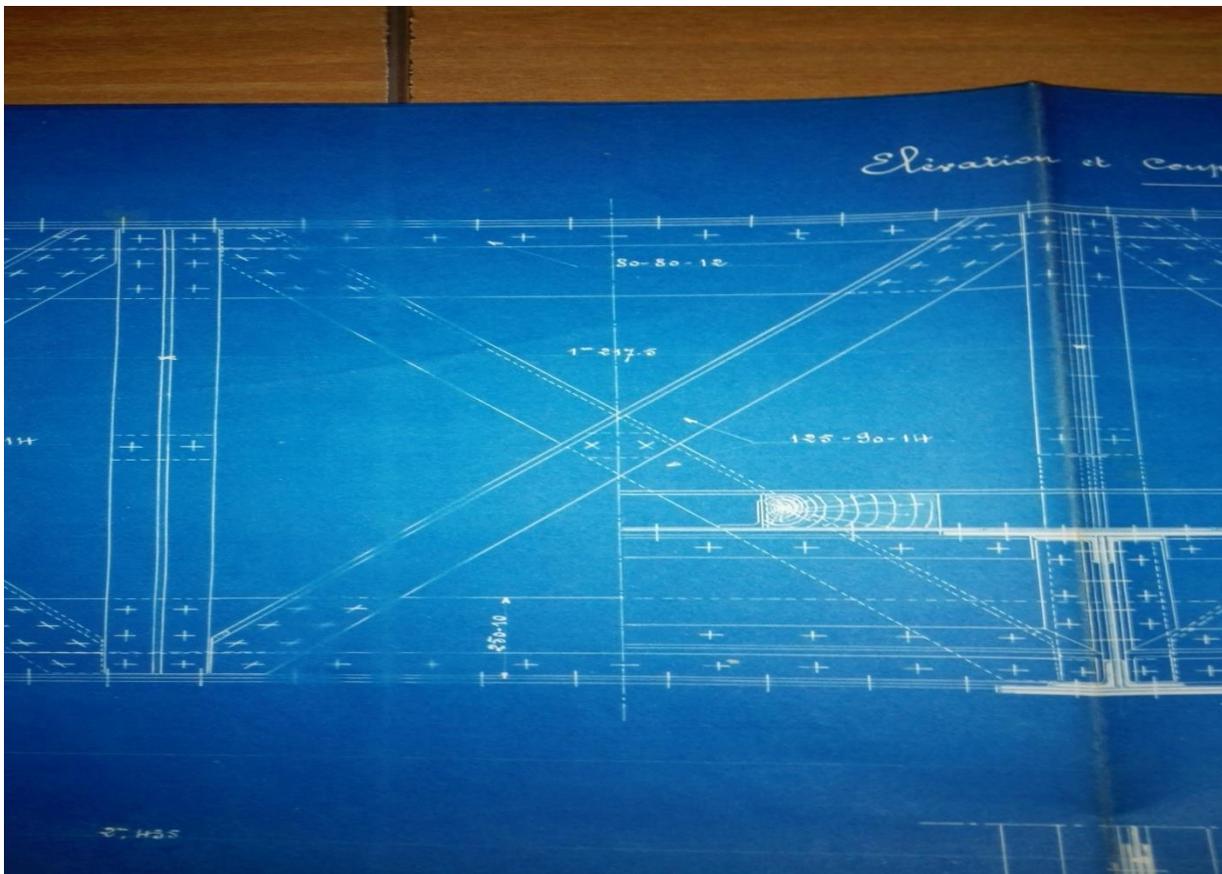
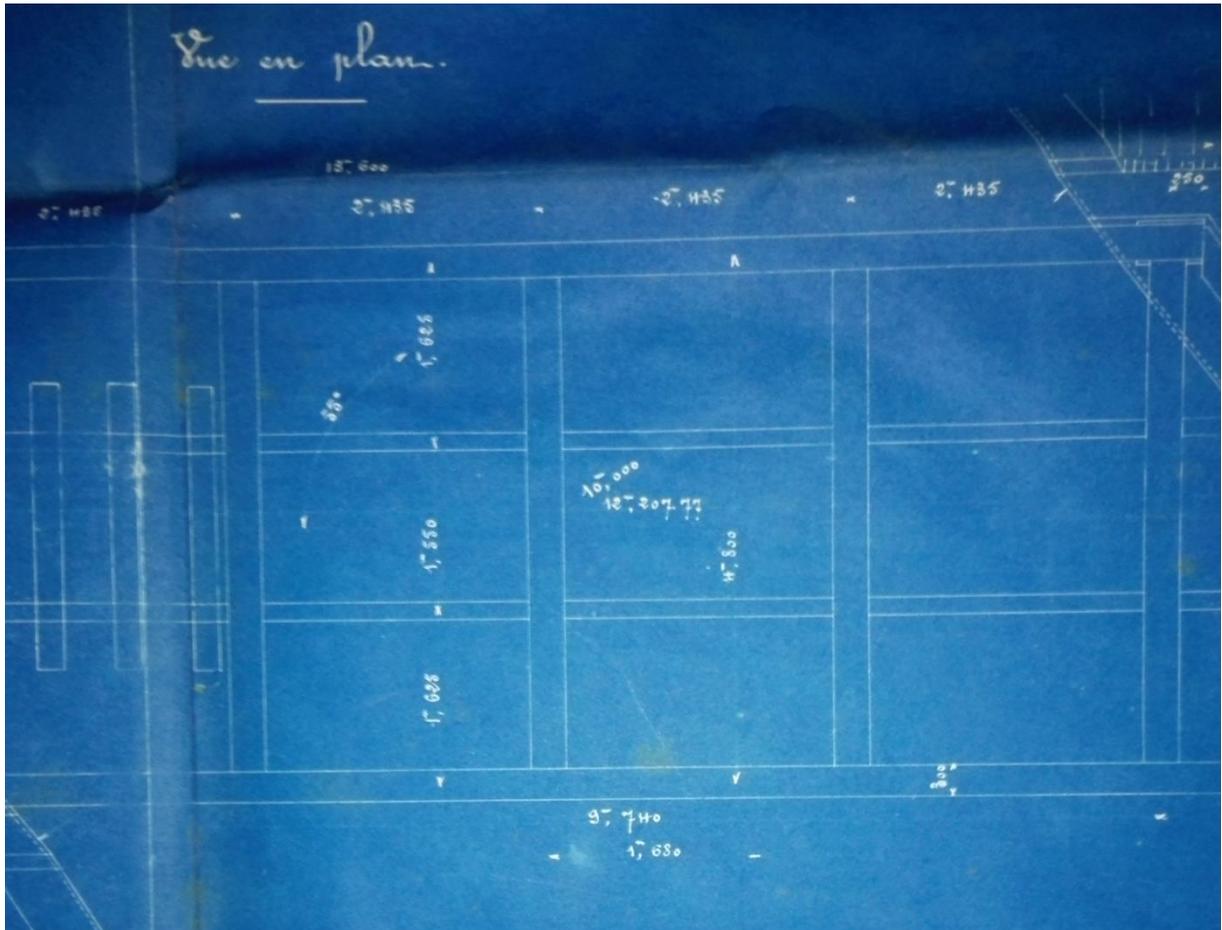
- [1]. J. Benard, A. Michel, J. Philibert et J. Talbot, *Métallurgie Générale*. s.l. : Masson Editeurs, 1969.
- [2]. R.Cazaud, *PROTECTION DES METAUX*. 1938. pp. 347-348. Vol. 21.
- [3]. BENSABRA. Hakim, *Cours corrosion et protection des métaux (CPM)*, Université de Jijel- Département de Génie des Procédés, 2016.
- [4]. Mehibil. R, *Etude de l'efficacité inhibitrice de quelques nouveaux inhibiteurs, dits non polluants, sur la corrosion de deux types d'alliages*. Skikda : Université de Skikda, 2008.
- [5]. Lefevre. B, *Corrosion des aciers revêtues de zones conférées des carrosseries automobiles*. Paris VI : Thèse de doctorant, Université de pierre et Marie curie, 2008.
- [6]. FAIZA. K, *Etude de l'efficacité de deux inhibiteurs de corrosion dans les milieu multiphasique (Eau, huile et gaz)*. 2008.
- [7]. KHIATI. Z, *Phénomènes de corrosion, protection des métaux*.
- [8]. R. REEVES, J. OM Bockris, B. E. Conway, E. Plenum Press. *Comprehensive Treatise of Electrochemistry* . New York : Yeager Editors, 1980. p. 87. Vol. 1.
- [9]. D. Landolt, *Traité des Matériaux, corrosion et chimie de surfaces des Métaux*, CH-1015 Lausanne , 1993. 1ère Edition.
- [10]. Vrignaud. E, *Les facteurs influants*, Ed: université. Picardie Amiens, 1998. 1-6.
- [11]. Normand. B, pébér, N et Richard, C et Wery, M. *prévention et lute contre la corrosion*, Ed: presses polytechnique et universitaire romandes, 2004. p. 703 et 710. 20.
- [12]. S. PAYAN. "Comportement à la corrosion galvanique de matériaux composites à matrice d'alliage d'aluminium renforcée par des fibres de carbone haut module", Thèse Doctorat: Université de Bordeaux, 2001.
- [13]. MALOU, Natacha.P., "Etude de la corrosion et maintenance des installations pétrolières de Shell Sénégal: Cas du dépôt de Jetée Nord", UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR, 2002-2003.
- [14]. R. IULIANO, J. El AHMEDI, T. NEUTELERS. *Corrosion des métaux*. Janvier 2014.
- [15]. *Guide STRESS "FABEM n°1", Réparation et rénovation des structures métalliques*, Edition du syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures, 2008.
- [16]. JD Persy, *Réparation et renforcement par soudure d'OA en fer puddle*, –BLLPC., mars-avril 1984. 130.
- [17]. J. Persy, LUC. E. *Réparation par soudure d'OA métalliques anciens* –BLLPC 167, mai-juin 1990.
- [18]. GETZON. B, Xè. *Congrès. Chimie Industrielle, Chin. Et Ind*, 1931. 25.

- [19]. M. Lafrance, R. Hubo, C. Perdrix,. Des aciers pour les ponts :Bulletin Ponts métalliques. -OTUA, 2000. n°20.
- [20]. JP Persy, Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art Annexe A-5 Evolution des caractéristiques des métaux pour construction métallique. – BLLPC, mars-avril 1984. 130.
- [21]. M. Lafrance, All. Des aciers pour les ponts – :Bulletin Ponts Métalliques. – OTUA., 2000. n°20.
- [22]. DTR-PROA-2008- MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS .
- [23]. M. A . HIRT, M. CRISINEL,. « Conception DES Charpentes métalliques », presses polytechniques et universitaires romandes, EPFL, Centre Midi, CH-1015, Lausanne,. 2005.
- [24]. BOUMECHRA, Nadir. Cours « Pathologies des ouvrages d'art », Master 2 TP, spécialité VOA.

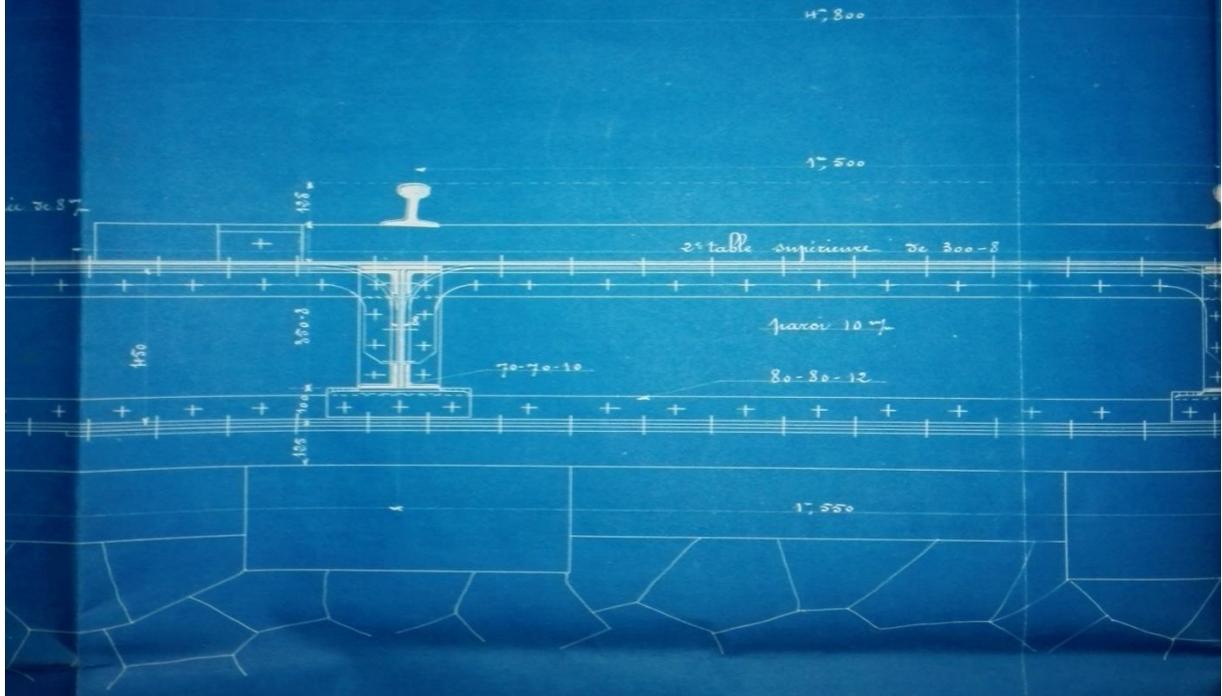
ANNEXE 1

Plans du pont Bais 10m Lamoricière (Ouled Mimoun)

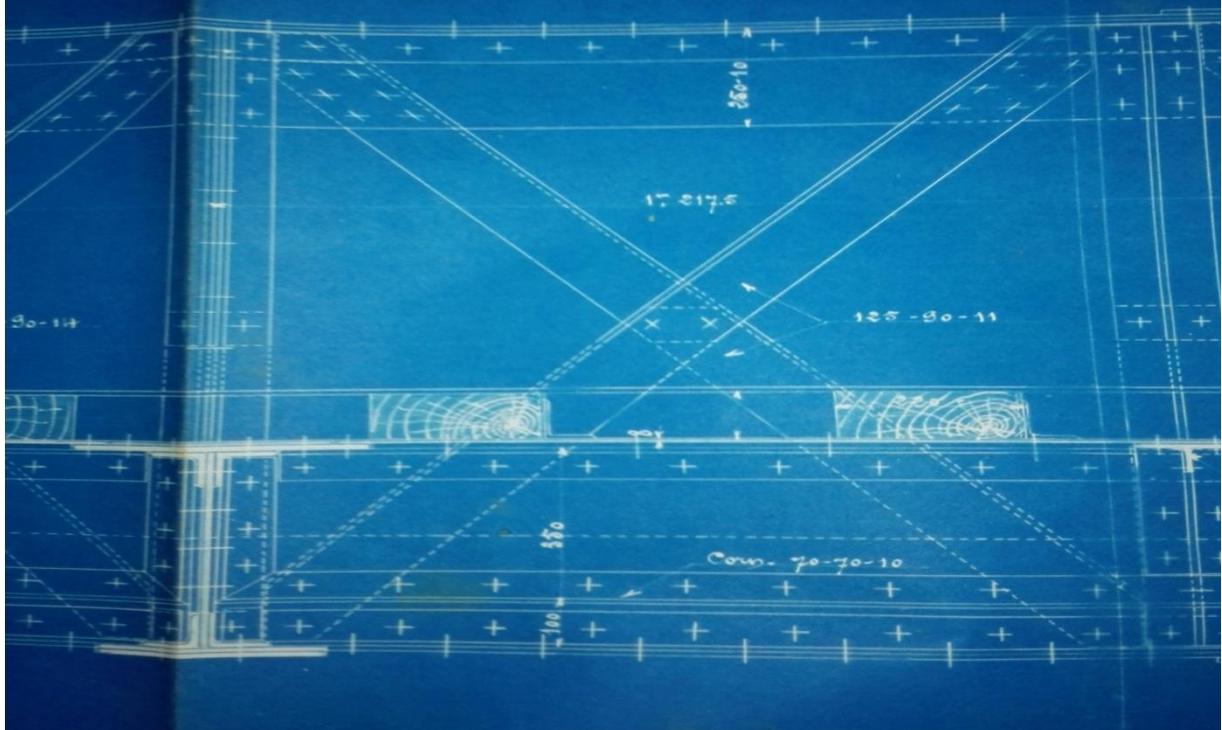


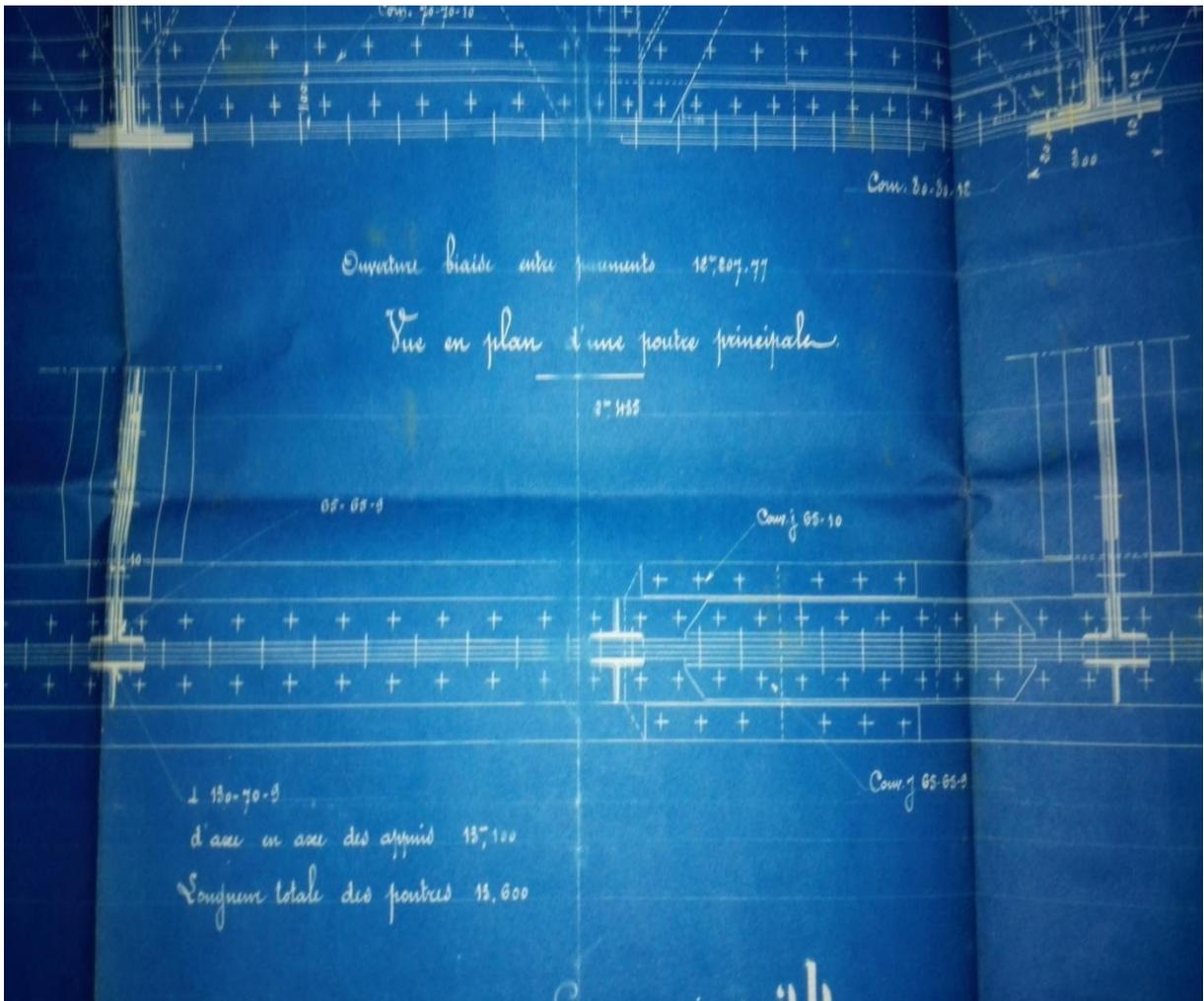
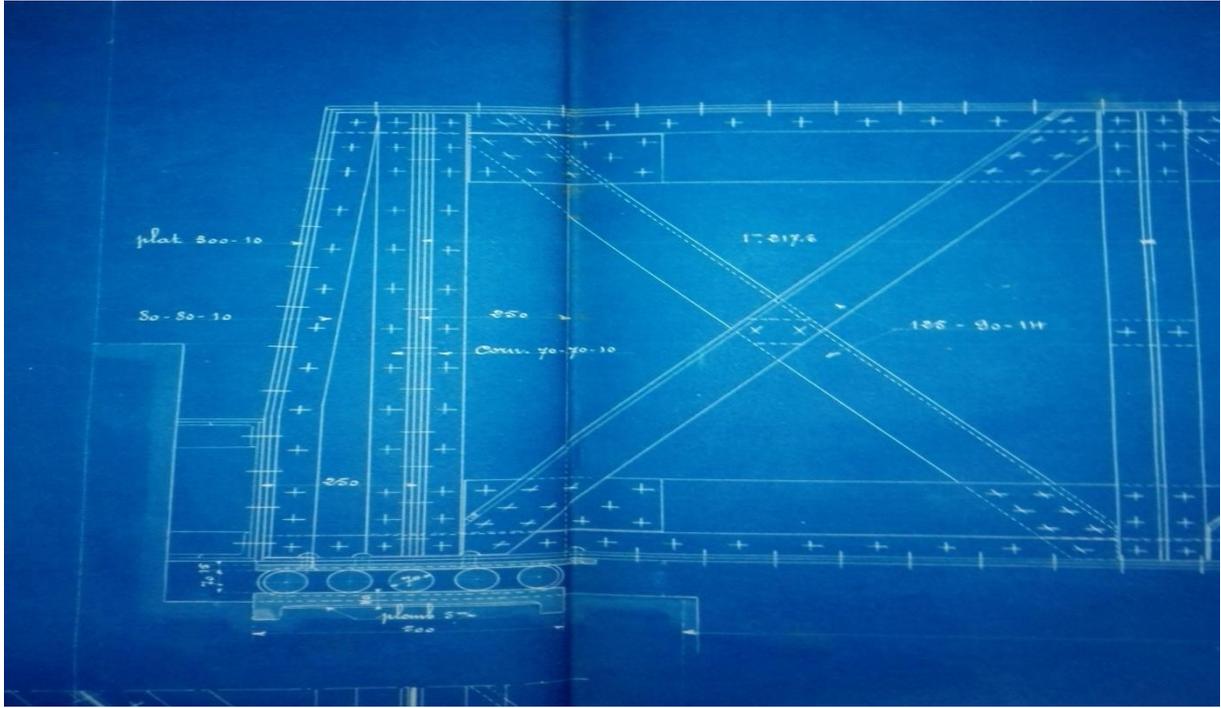


Coupe transversale dans le cours.



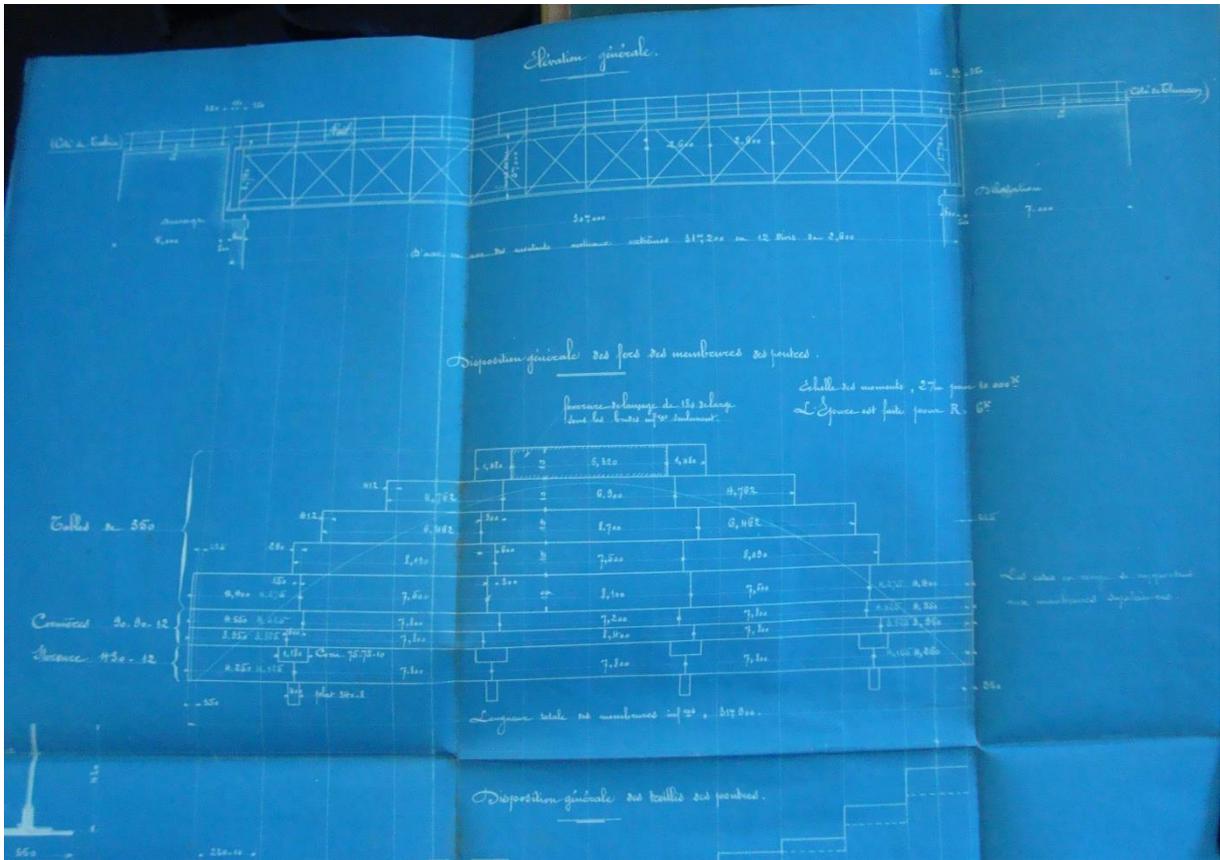
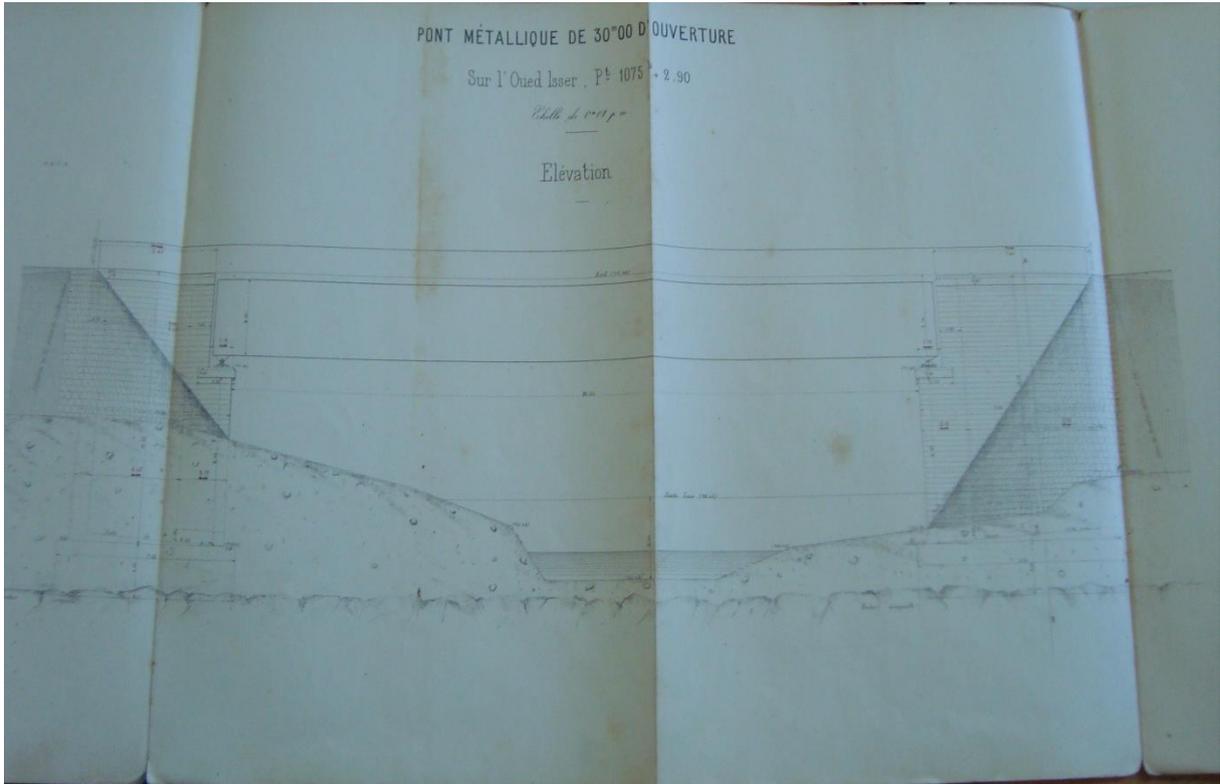
Elevation et Coupe Longitudinale.

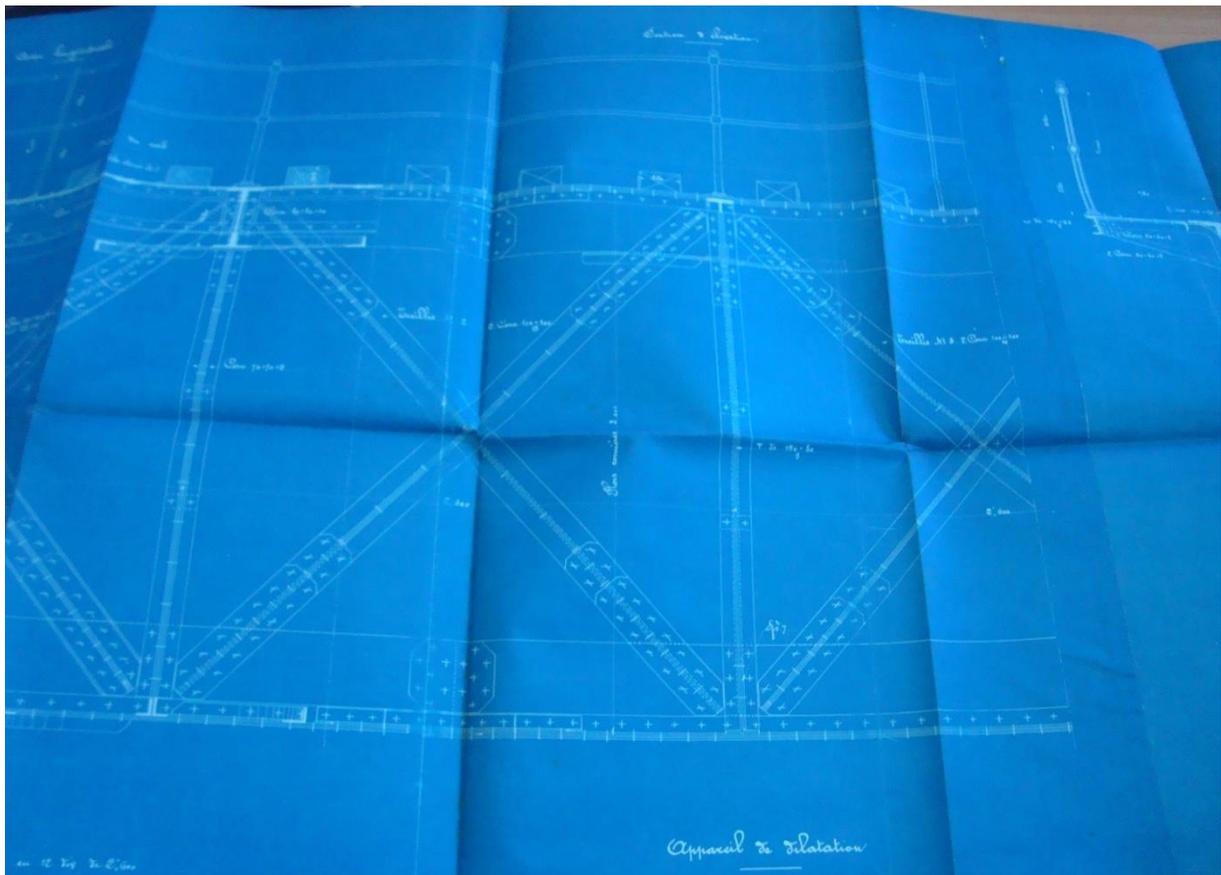
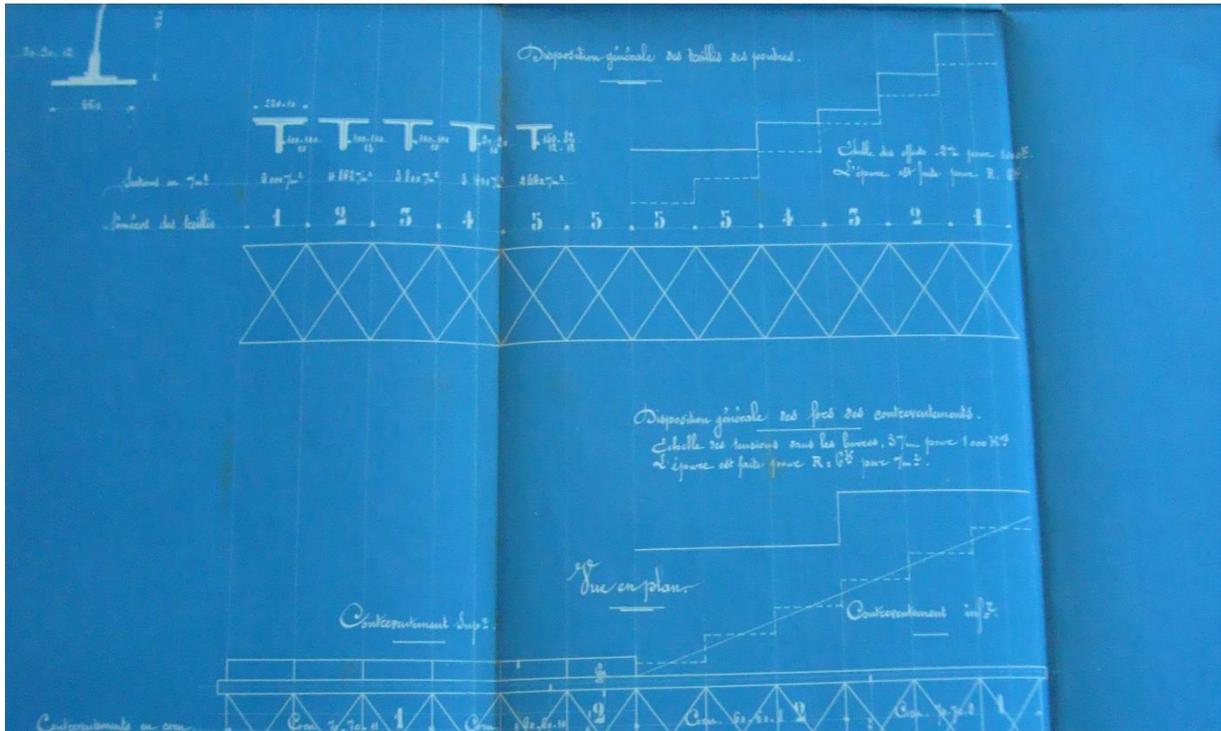




## ANNEXE 2

### Plans du pont :30m Lamoricière (Ouled Mimoun)







Appareil de dilatation

