

Faculté of Sciences and Technologie  
Department of Mechanical Engineering

كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم الهندسة الميكانيكية

N° d'ordre : M...../GM/2022

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

*Thème*

**Recensement des pathologies des structures en charpente  
métallique opérationnelles à Mostaganem : proposition des  
solutions des rénovations**

Présenté par :

❖ HAMDANE LARBI

❖ GUENOUNA SENOUCI

*Soutenu le 14 / 07 / 2022 devant le jury composé de :*

Président	Pr. ZENASNI Ramande	Université de Mostaganem UMAB
Examineur	Dr. BENKHETAB Mohamed	Université de Mostaganem UMAB
Encadreur	Dr. BENDOUKHA Mohamed	Université de Mostaganem UMAB

Année Universitaire : 2021 / 2022

## ملخص

تتميز المباني الصناعية عن غيرها بالمساحة الكبيرة المغطاة، ولهذا الغرض ازداد الطلب على الهياكل المعدنية بمجرد التفكير في إنشاء المصانع والورش ذات الأهمية الكبيرة، حيث يستجيب هذا الهيكل للطلب بشكل أفضل من غيره (الخرسانة والخشب) تتعرض المنشآت المعدنية للعديد من الأمراض مثل الصدأ والتآكل والتي يمكن أن تسرع من انتهاء صلاحية المباني في حالة عدم الصيانة، لذلك يجب مراقبة الهياكل المعدنية وتفتيشها لمنع الضرر.

## RESUME

Les bâtiments industriels se distinguent des autres par la grande surface couverte, et à cet effet, la demande de structures métalliques a augmenté rien qu'en pensant à la construction d'usines et d'ateliers de grande importance, car cette structure répond mieux à la demande que d'autres (béton et bois), et les constructions métalliques sont exposées à de nombreuses pathologies telles que la rouille et la corrosion qui peuvent accélérer l'expiration des bâtiments en l'absence d'entretien, de sorte que les structures métalliques doivent être surveillées et inspectées afin d'éviter des endommagements.

## ABSTRACT

Industrial buildings are distinguished from others by the large covered area, and for this purpose the demand for metal structures has increased just thinking of the construction of factories and workshops of great importance, since this structure responds better to demand than others (concrete and wood), and metal constructions are exposed to many pathologies such as rust and corrosion which can accelerate the expiration of buildings in the absence of maintenance, so that structures metal should be monitored and inspected to prevent damage

# **SOUMAIRE**

Introduction général :	04
Chapitre I : Etude bibliographique sur la charpente métallique	
I. Présentation d'un ouvrage en charpente métallique :	06
I.1 La composition d'un portique :	06
I.2 Les portiques :	07
I.3 Le portique à trois articulations :	07
I.4 Le portique à pieds de poteaux articulés :	07
I.5 Le portique à pieds de poteaux encastres :	07
I.6 Le portique totalement encastres :	08
I.7 Profilés à larges ailes HEA, HEB et HEM :	08
I.8 Profilés normaux NP et UNP :	09
I.9 Profilés avec ailes parallèles IPE, UPE et IPET :	09
I.10 Profils creux (carrés, rectangulaires et ronds) :	09
II. Elaboration de l'acier :	12
II.1 Définition :	12
II.2 Les produits sidérurgiques en acier Fabrication des tôles et des profilés :	14
II.3 Les avantages et les inconvénients :	15
II.4 Définition et rôle d'un assemblage :	17
II.5 Modes d'assemblage :	18
Chapitre II : Pathologie Des Constructions En Acier	
I. Introduction :	22
II. Les origines de sinistres d'une structure métallique :	23
II.1 Les sinistres ont principalement pour origine :	24
II.2 Etat d'équilibre stable et instable :	28

II.3 Les précautions à prendre lors de la réhabilitation d'une structure métallique :	29
II.4 La corrosion :	30
II.5 L'oxydation des métaux :	34
II.6 Préserver votre ouvrage métallique de la corrosion, c'est garantir la durabilité et la pérennité :	

### Chapitre III : Relevés pathologique – cas des constructions en acier de la région de Mostaganem

I. Introduction :	36
II. Etude de cas de L'hôpital municipal d'Ain Tadles :	38
III. Etude de cas de La complexe de sucre Berahal à Mostaganem :	42
IV. Destruction de bâtiments :	45
V. Etude de cas de Station d'essence d'AIN TEDLES :	46

### *Chapitre IV : Etude d'un portique métallique (Hall métallique en construction).*

I. Introduction :	48
II. Charge de neige :	48
III. Etude de vent :	48
IV. La méthode des nœuds :	52
VI. Les calculs des Nombre de boulon :	56
VII. Conclusion Générale :	60

# ***Remerciements***

*Nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.*

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Monsieur **BENDOUKHA MOHAMED**, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Nous remercions également les membres du jury d'avoir accepté de juger notre travail :*

*Professeur **ZENASNI** et Monsieur **BENKHETAB***

*Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs du département de Génie Mécanique pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.*

*Merci à tous*

# Introduction Générale

Le principe général connu par tous les professionnels techniques activant dans le secteur industriel chargé des études de dimensionnement des structures et des constructions mécaniques et autres sont chargés chacun dans son domaine à s'assurer de la résistance de ces dernières qui seront assujettis à des charges ponctuelles, réparties, constantes ou variables. Par ailleurs ces ouvrages doivent faire face aussi à d'autres phénomènes tels que les effets atmosphériques, climat, les effets du vent de la neige éventuellement. De plus, des endommagements peuvent subvenir aussi à travers le matériau lui-même ne serait-ce que le vieillissement.

Le but de notre présente étude est les constructions en charpente métallique, elle est sujet de nombreuses pathologies dues à la complexité de leur structure. Cette dernière peut subir des dégradations due à plusieurs facteurs, soit un défaut dans la conception et la réalisation de l'ouvrage, des erreurs lors de l'étude et la conception, soit l'effet du temps avec la participation d'autres effets tel que la corrosion, fatigue, déformation thermique, etc.

Il va sans le dire que ces paramètres influent négativement sur la résistance de la structure métallique jusqu'au point où elle ne pourra plus supporter les efforts appliqués et risque de se rompre.

En Algérie, depuis le 19<sup>ème</sup> siècle, on commence à construire des ouvrages en acier, surtout des ponts. Après l'indépendance, on a continué à réaliser des structures métalliques comme les salles de sports et les halls industriels, les stations d'essence NAFTAL et certaines entreprises publics et privées.

Plusieurs d'entre elles commencent à avoir des signes de vieillissement propres à l'acier (corrosion, déformation...). A partir de ce fait, il y avait lieu de s'intéresser au patrimoine des structures métalliques civiles et industrielles de la région de Mostaganem et faire une évaluation de l'état de lieux, évaluer leurs états physiques et apprécier la gravité des endommagements constatés. [1]

Nous nous sommes intéressé à **03** ouvrages métalliques de la wilaya de MOSTAGANEM, qui sont :

- L'hôpital d'AIN TADLES
- Usine de sucre de MEZGHRANE
- Station d'essence d'AIN TADLES

Nous tenterons à travers ce mémoire de fin d'étude, de recenser les ouvrages métalliques et de répertorier leurs états afin de proposer des solutions.

Pour ce faire nous avons divisé notre travail en 3 chapitres. Le premier est purement bibliographique et essaye de dresser l'état de l'art.

Dans le chapitre II, nous présenterons quelques ouvrages en charpente métallique existant dans la wilaya de MOSTAGANEM. Dans le troisième et dernier nous allons aborderons un calcul d'un ouvrage d'art en charpente métallique.

# Chapitre I : Etude bibliographique sur la charpente métallique

Dans le présent chapitre nous allons passer en revue la bibliographie afin de connaître tous les facettes de la charpente métallique.

Une ossature métallique est une structure dans laquelle les appuis, les poteaux, les poutres sont réalisés en acier. Ces éléments de construction "rigides" permettent de dégager de grands espaces utiles au sol. La portée des éléments d'ossature peut atteindre plusieurs dizaines de mètres. En outre le poids de ces éléments d'ossature, comparé à ceux d'une même structure en béton armé (ou maçonnerie) est réduite et allégé considérablement les charges transmises au sol.

La charpente métallique s'intéresse à la conception, au dimensionnement et à la réalisation d'ossatures porteuses d'ouvrages divers. Ces ouvrages sont les bâtiments, les ponts, les pylônes, les silos, les engins de levage et de manutention, les écluses, etc.... [2]

## I. Présentation d'un ouvrage en charpente métallique :

### I.1 La composition d'un portique :

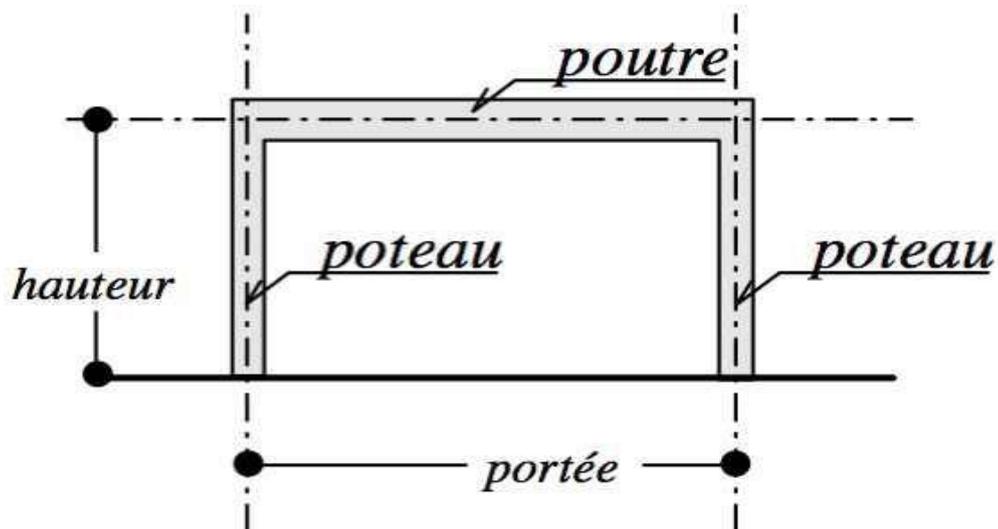


Figure I.1 : portique [3].

### ***1.2 Les portiques :***

Les portiques permettent d'assembler de manière continue les poutres ou les arbalétriers et les poteaux, sont l'un des éléments caractéristiques de la construction métallique. Les portiques peuvent être constitués de I et de H, de tubes, de PRS à section variable ou non, de caissons, d'éléments en treillis. Tous les éléments de ces types de structure participent à la résistance aux efforts verticaux aussi bien qu'horizontaux. Ils exercent donc des efforts horizontaux sur leurs appuis. Par ailleurs, la plus grande inertie des éléments poutre et poteaux des portiques est nécessairement dans le plan du portique, de manière à assurer la plus grande résistance en flexion dans ce plan. Ils peuvent avoir deux ou trois articulations, ou être complètement rigides. Lorsque plusieurs panneaux sont rigidifiés dans une même file ou sur plusieurs étages superposés, on obtient des « portiques multiples ». On distingue quatre types de portiques à rez-de-chaussée suivant que les liaisons sont articulées ou rigides. Notons que les assemblages réels sont la plupart du temps semi-rigides. [2]

### ***1.3 Le portique à trois articulations :***

Ce portique est isostatique. Il présente la caractéristique d'avoir un moment nul à la clef quel que soit le cas de charge. La dimension est réduite à cet endroit et permet ainsi d'optimiser la hauteur libre. En outre, les tassements différentiels et les variations thermiques peuvent être absorbés par cette structure. En revanche, sous l'effet de charges horizontales, la déformation de ce portique est plus importante que pour les modèles suivants. Ce type de portique se retrouve fréquemment dans les halles et les toitures à versants inclinés, moins dans les bâtiments à étages. Es. [2]

### ***1.4 Le portique à pieds de poteaux articulés :***

Ce portique articulé à la base des poteaux est hyperstatique. C'est la rigidification des assemblages poteaux-poutres qui assure la stabilité des panneaux (cadres). Il utilise moins de matière que le portique à trois articulations. Avec une traverse brisée ou en biais, il est utilisé dans les halles ; avec une traverse droite, on le retrouve dans les bâtiments à étages. [2]

### ***1.5 Le portique à pieds de poteaux encastrés :***

Du fait des encastremets en pied, les sections peuvent être moins importantes que dans les cas précédents pour résister aux moments de flexion. La limitation des déplacements sous l'action des forces horizontales conduit à l'augmentation des sections des poutres et des poteaux. [2]

### ***I.6 Le portique totalement encastré :***

Ces portiques ont un degré d'hyperstatique supérieur. Ils sont utilisés lorsque des charges très importantes sont mises en œuvre et lorsque la portée doit être très grande. En revanche, cette structure absorbe peu les tassements différentiels et les variations thermiques. C'est une forme courante dans les bâtiments à étages. Cependant les « nœuds » (assemblages) peuvent être gênants, au niveau des planchers par exemple, à cause des goussets ou des équerres nécessaires à l'assemblage. Les bases des portiques peuvent être fixées sur des infra structures en béton armé ou des fondations, ou sur des poteaux et des poutres de l'étage inférieur. Ce sont des structures relativement coûteuses, mais elles présentent l'avantage d'un moindre encombrement de l'espace et d'un usage plus flexible dans le temps en cas de changement d'affectation des locaux ou des immeubles. [2]

#### **Profils classiques**

<b>Poutrelles IPE</b>	<b>Poutrelles IPN</b>	<b>Poutrelles H</b>	<b>Poutrelles U (ailes droites)</b>	<b>Poutrelles U (ailes inclinées)</b>
				
IPE 80 à 600 ; 750 IPE A 80 à 600 IPE O 180 à 600 IPE R 140 à 600	IPN 80 à 500 ; 550	HEA HEB HEM HEC 300 HEAA 100 à 1100 HL 1000 & 1100 HD 260 à 400 HP 220 à 400 100 à 1100	UAP 80 à 300 UAP-A 250 & 300	UPN 80 à 400 UPN-A 240 à 400

**Tableau I.1 :** profilés classiques [14].

### ***I.7 Profilés à larges ailes HEA, HEB et HEM :***

En raison de leurs larges ailes, ces profilés conviennent également aux sollicitations excentrées (flexion simultanée selon les deux axes). Attention : la désignation du profilé ne correspond à la hauteur réelle de la section que dans la série HEB. [3]

### ***I.8 Profilés normaux NP et UNP :***

Les profilés normaux sont un peu plus avantageux que ceux avec des ailes inclinées. Ceux-ci conviennent aux constructions soudées. Les profilés à ailes inclinées sont rarement employés pour les constructions boulonnées. [3]

### ***I.9 Profilés avec ailes parallèles IPE, UPE et IPET :***

Les profilés IPE ont une section élancée et sont employés surtout comme poutres sollicitées en flexion (en raison de l'étroitesse de leurs ailes, ils conviennent moins comme barres comprimées). Les profilés UPE sont parfois employés par paires, ce qui évite les torsions provoquées par leur asymétrie. Les profilés IPE divisés en deux par l'entrepreneur (IPET) sont employés dans les treillis et comme croisillons dans les toitures vitrées. Les profilés UAP, semblables aux UPE, ne sont plus produits. [3]

### ***I.10 Profils creux (carrés, rectangulaires et ronds) :***

Les profils creux sont utilisés principalement comme poteaux et pour des treillis, car ils sont idéals pour sollicitation centrée. Comparés aux profilés HEA, les profils creux ont une superficie légèrement plus réduite (moins à peindre). Leur diamètre extérieur reste le même, indépendamment de l'épaisseur de leur paroi (gradation invisible). On distingue entre profils usinés à froid (RRK, léger et avantageux) et ceux usinés à chaud (RRW, résistant mieux au flambage, épaisseur accrue dans les zones d'angle). [3]



**Figure I.2 :** Profilés creux [3].

### Profils creux :

	Profils creux ronds	8 × 1 à 508 × 17
	Profils creux carrés	8 × 1 à 400 × 17
	Profils creux rectangulaires	12 × 8 × 1 à 500 × 300 × 17

**Tableau I.2 :** Ronds et carrés RND et VKT [14].

Les ronds et les carrés sont utilisés principalement comme tirants, dans le cas de larges sections aussi en compression, par exemple dans les poteaux mixtes (protection incendie).

### Profils minces :

	Cornières à ailes égales	15 × 1,5 à 100 × 5
	Cornières à ailes inégales	20 × 15 × 2 à 100 × 50 × 5
	Coulisses	11 × 30 à 200 × 80 épaisseurs 2 à 6
	Profils C	30 × 11,5 × 2 à 140 × 50 × 3
	Profils Omégas	17 × 25 × 12 × 1,5 à 70 × 38 × 30 × 4
	Profils Sigma	200 à 360 épaisseurs 1 à 3,5
	Profils Zed	120 à 250 épaisseurs de 1 à 5

**Tableau I.3 :** Profils minces [14].

Fers « marchands » :

	Cornières à ailes égales	20 × 20 × 3 à 200 × 200 × 24
	Cornières à ailes inégales	30 × 20 × 3 à 200 × 100 × 14
	Petits fers U	30 × 15 × 3 à 70 × 40 × 6
	T égaux à congés	25 × 25 × 3 à 80 × 80 × 9
	Plats d'usage général	16 × 5 à 150 × 10
	Ronds d'usage général	Ø 12 à 250
	Carrés d'usage général	8 à 90
	Hexagones	sur plat 8 à 24

Tableau I.4 : Fers marchands [14].

Tôles nervurées :

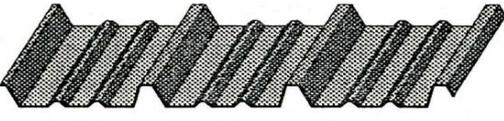
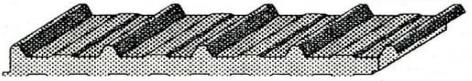
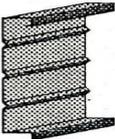
	Couverture sèche
	Support d'étanchéité (étanchéité rapportée)
	Panneau isolant sandwich (couverture)
	Bardage
	Plateau (parement pour bardage double peau)
	Panneau isolant sandwich (pour bardage)

Tableau I.5 : Tôles nervurées [14].

Comme tous les profilés ont comme matières de base l'acier nous allons rappeler dans ce qui suivra les méthodes d'élaboration de cette matière métallique largement utilisés dans l'industrie en générale.

Dans la mesure ou tous les éléments constituant les portiques sont en acier nous présentons dans ce qui suit les méthodes d'élaboration des aciers d'une manière générale et en pour les structures en charpente métallique en particulier.

## II. ELABORATION DE L'ACIER :

### II.1. Définition :

L'acier est le principal matériau utilisé pour les constructions métalliques. C'est un produit métallurgique obtenu à partir du minerai de fer. Il est fabriqué en transformant le minerai de fer en fonte en le chauffant avec du coquer dans un haut fourneau (fig.3 et 4).

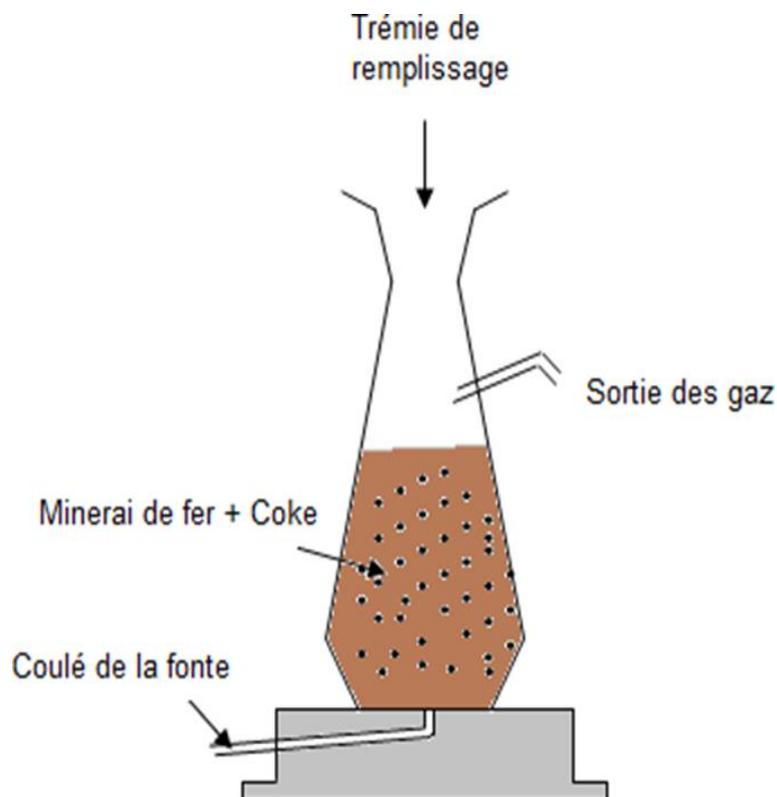
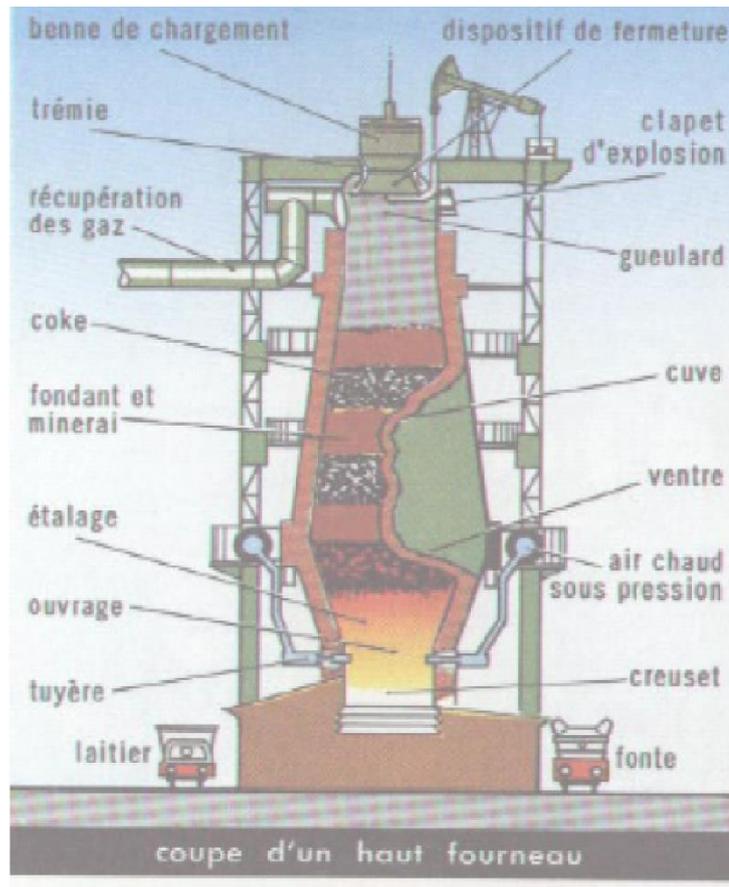


Figure I.3 : Four Martin [4].



**Figure I.4** : Coupe d'un haut fourneau [4].

A la suite de cette opération le métal obtenu est :

- Du fer si tout le carbone a disparu ;
- De l'acier doux s'il contient au moins 0.1% de carbone ;
- De l'acier dur s'il contient entre 0.5 et 1.0% de carbone. **[4]**

**Remarque 1 :**

C'est la teneur en carbone, essentielle pour les caractéristiques mécaniques qui détermine les domaines d'application de l'acier. **[4]**

**Remarque 2 :**

De nombreux aciers spéciaux sont fabriqués en incorporant aux aciers naturels divers éléments tels que :

Le nickel, le chrome, le tungstène, le silicium etc.

Les aciers inoxydables sont ainsi des alliages composés de fer (73%), de chrome (18%), de nickel (8%) et de carbone (1%). [4]

## II.2. Les produits sidérurgiques en acier Fabrication des tôles et des profilés :

Le laminage (fig.6) est un procédé employé dans l'industrie sidérurgique pour faire des tôles et des profilés. Le principe consiste à faire passer entre deux cylindres un lingot qui épousera la forme de l'espace disponible en s'allongeant et en s'aplatissant.

Pour obtenir des profilés, barres ou rails, on utilise des cylindres cannelés. [4]

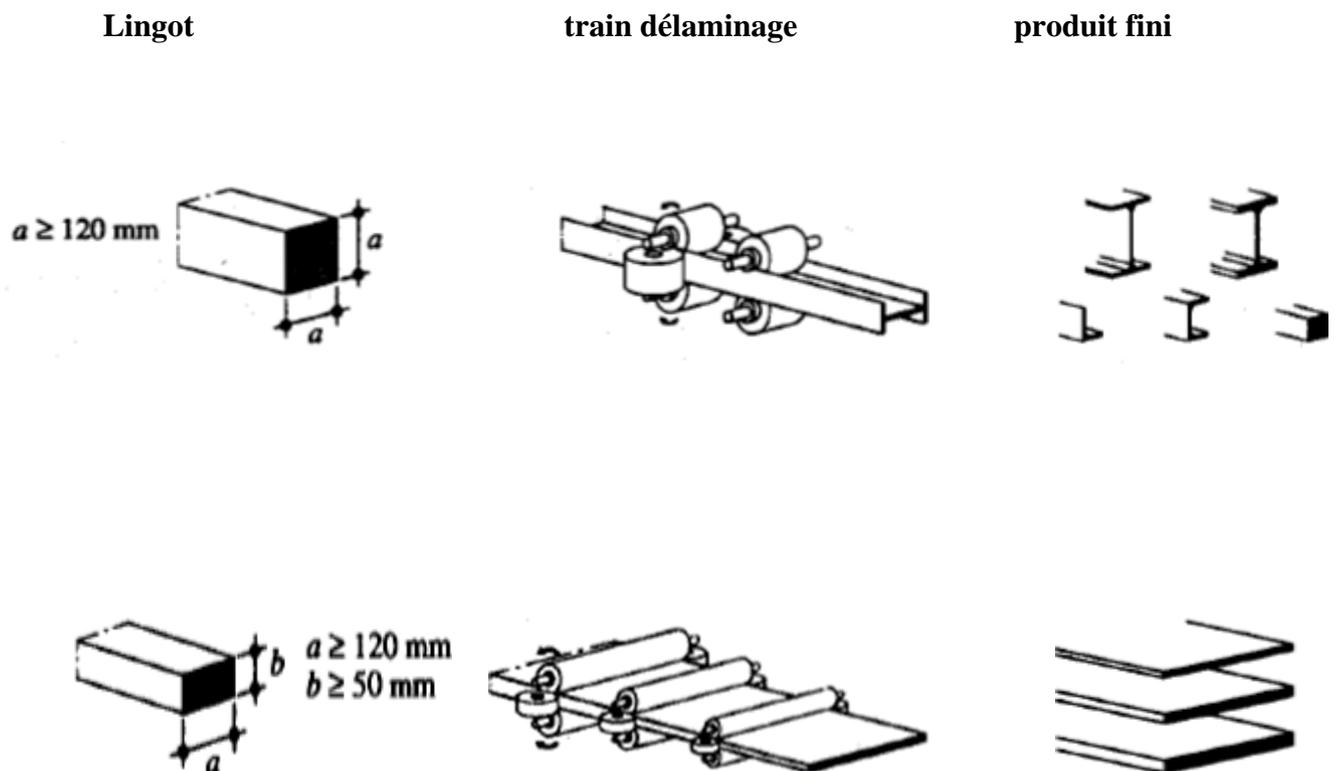


Figure I.5 : Phase principale du laminage à chaud [4].

### ***II.3. Les avantages et les inconvénients :***

Nous citons ci-dessous quelques avantages de l'utilisation de l'acier dans la construction des portiques.

1. L'acier est modérément bon marché par rapport à d'autres matériaux de construction.
2. Les structures en acier sont très résistantes au feu lorsqu'elles sont comparées à une structure en bois, car le bois est un matériau combustible, et moins résistantes au feu lorsqu'elles sont comparées à une structure RCC.
3. L'un des avantages de l'utilisation d'une structure en acier en cours de développement est la capacité de l'acier à couvrir de plus grandes distances avec des solives de plafond en acier. Cela permet aux architectes d'élargir leurs choix, en leur permettant de créer de nouveaux/grands espaces en utilisant des éléments en acier qui n'étaient tout simplement pas accessibles avec des matériaux différents.
4. L'acier peut être facilement et efficacement fabriqué et livré en grande quantité. Les structures en acier peuvent être livrées hors site dans les ateliers et ensuite rassemblées à proximité. Cela permet de gagner du temps et d'accroître l'efficacité du processus général de développement.
5. Les structures en acier peuvent résister aux poids extérieurs, par exemple aux tremblements de terre, aux orages et aux cyclones. Une structure en acier bien construite peut durer plus de 30 ans si elle est bien entretenue.
6. La flexibilité est l'un des grands avantages de la structure en acier, ce qui signifie qu'elle tend à être planifiée en fonction des exigences de conception. On planifie ainsi une structure en acier de manière à ce qu'elle puisse résister aux vents violents ou aux tremblements de terre, en particulier dans le cas des ponts ou des hautes tours.
7. Grâce à la simplicité de fabrication des parties d'une structure en acier, il est facile de les installer et de les assembler sur place et, de plus, il n'est pas nécessaire de faire des devis et de découper les pièces à proximité.
8. Parmi les avantages courants de l'utilisation de bâtiments en acier, on peut citer la conception, la solidité et la durabilité, la légèreté, la facilité et la rapidité d'installation,

la polyvalence, la flexibilité, la ductilité, la facilité de fabrication en différentes tailles, la résistance au feu, la résistance aux insectes et aux parasites, la résistance à l'humidité et aux intempéries, l'adaptabilité, la rentabilité, le respect de l'environnement, l'efficacité énergétique, l'amélioration de la qualité de la construction, les structures temporaires, la sécurité et la résistance et l'indice de risque.

Comme tous processus nous citerons aussi quelques inconvénients :

1. Le flambage est un problème pour les structures en acier. Plus la longueur du segment d'acier augmente, plus les risques du flambage augmentent.
2. L'acier n'est disponible que dans les aciéries où il est produit et doit être transporté sur de longues distances jusqu'au site de construction, pas du tout comme le béton ou les différents matériaux qui pourraient être accessibles sur le site même du développement.
3. En raison de l'activité de la rouille dans l'acier, des peintures coûteuses doivent être remises en état de temps en temps. Ainsi, la résistance aux conditions graves s'accroît.
4. Malgré le fait que l'acier est un matériau flexible, il est difficile d'apporter des corrections sur le terrain si un ou plusieurs composants ne s'adaptent pas correctement. Une grande partie de la structure métallique rend performante l'adhésion à une procédure d'assurance qualité stricte garantissant que tous les éléments d'une structure s'ajustent avec précision. Mais en réalité, ce n'est pas possible. On ne peut pas la former ou la couper à la forme idéale sur place une fois qu'elle est fabriquée.
5. L'acier ne peut pas être moulé dans n'importe quelle direction. Il doit être utilisé dans des structures dans lesquelles il existe initialement.
6. L'acier est un bon conducteur de chaleur, il touche les matériaux en contact et provoque souvent des incendies, qui se propagent rapidement aux différents segments d'une structure. C'est pourquoi les structures en acier peuvent nécessiter un traitement ignifuge supplémentaire.
7. Si l'acier perd sa grande propriété de ductilité, il y a plus de chances que les fractures augmentent.

8. Parmi les inconvénients courants de l'utilisation de bâtiments en acier, on peut citer les coûts d'entretien et d'investissement élevés, la susceptibilité au flambage, la fatigue et la fracture, le traitement ignifuge, les dommages causés par le feu et les erreurs de fabrication.

Tous les avantages et inconvénients des structures en acier sont expliqués afin de connaître toutes les informations sur l'acier. Afin de pouvoir utiliser l'acier de manière optimale pour le processus de construction.

Pour la réalisation de cette structure métallique, on doit réfléchir surement à quel type de charpente à adopter, ou elle doit être durable et résistante, pour cela, on doit assurer un meilleur assemblage.

#### ***II.4. DEFINITION ET ROLE D ' UN ASSEMBLAGE :***

La caractéristique essentielle des constructions métalliques est d'être composées d'un ensemble d'éléments barres (poteaux- poutres) constitués de profilés laminés ou soudés souvent en forme de (I ou de H) qu'il faut assemblés entre eux pour constituer l'ossature. Les liaisons entre ces différents éléments représentent ce qu'on appelle communément les assemblages. Ces derniers constituent des composants spécifiques à la construction métallique, ils jouent un rôle très important, on peut les définir comme organes de liaison qui permettent de réunir et de solidariser plusieurs éléments entre eux, en assurant la transmission et la répartition des diverses sollicitations entre les éléments assemblés, sans générer d'efforts parasites. Un assemblage mal conçu, mal calculé ou mal réalisé peut conduire à l'effondrement de la structure. De ce fait la conception et le calcul des assemblages est d'une importance capitale. [5]

## II.5. MODES D'ASSEMBLAGES :

### Le rivetage :

Les rivets ont été le premier moyen d'assemblage utilisé en construction métallique. Actuellement, l'emploi des rivets est limité et on leur préfère, dans la plupart des pays industrialisés, les boulons et la soudure. On les rencontre donc essentiellement dans des structures anciennes, datant du début de ce siècle. Leur diamètre varie généralement de 10 à 28 mm [5]

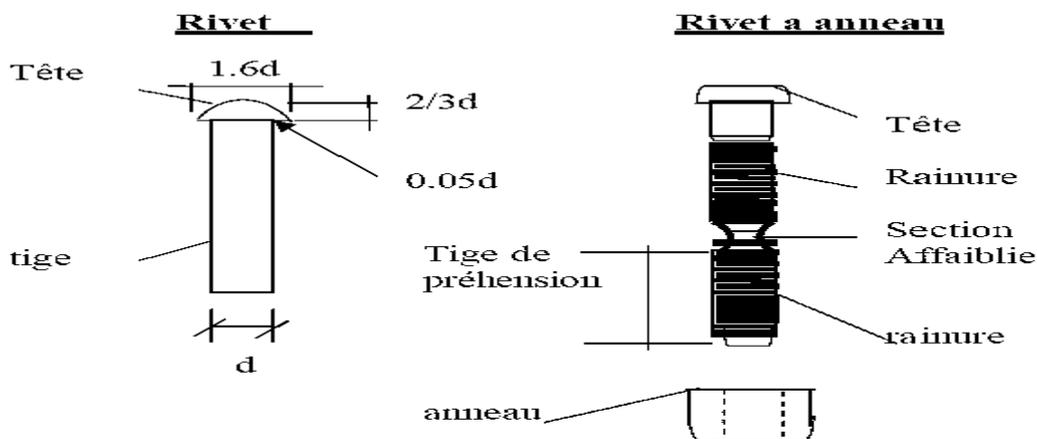


Figure I.6 : Rivet et rivet à anneau [5].

### Rivets à anneau :

Les rivets à anneau sont des éléments de connexion mécanique qui tiennent à la fois du rivet

(Dans la mesure où il a une même forme de tête et qu'il introduit une force de précontrainte) et du boulon (car une partie de sa tige est rainurée).

Les principales caractéristiques : la tige se compose de deux parties rainurées (et non pas filetées), séparées par une portion de tige dont la section est affaiblie. L'acier des rivets à anneau est un acier à Haute résistance. [5]

### Le boulonnage :

Les caractéristiques des différents types d'acier utilisés pour les Boulons

Présentent les valeurs de la limite d'élasticité  $F_{yb}$  et de la résistance à la traction  $F_{Ub}$  des

Quatre classes de qualité d'acier utilisées pour les boulons. [5]

boulons	Classe De qualité	$f_{yB} (N/mm^2)$	$f_{uB} (N/mm^2)$
De charpente	4.6	240	400
	5.6	300	500
A haute résistance	8.8	640	800
	10.9	900	1000

**Tableau I.6 :** caractéristiques mécaniques des aciers pour boulons [5].

Ce tableau montre également que l'on distingue deux types de boulons, qui se différencient par leurs caractéristiques mécaniques plus ou moins élevées :

**Les boulons de charpente métallique** (aciers 4.6 et 5.6) : ils sont employés couramment pour réaliser les assemblages faiblement sollicités des halles et des bâtiments.

**Les boulons à haute résistance** (aciers 8.8 et 10.9) : ils sont utilisés en général pour les assemblages de ponts, ainsi que pour les assemblages fortement sollicités ou soumis à des effets dynamiques. Seuls les boulons à haute résistance peuvent être précontraints, L'euro code 3 ajoute les classes de qualité 4.8, 5.8 et 6.8 à celles données dans le tableau et utilise la notion de boulon ordinaire à la place de boulon de charpente. [5]



**Figure I.7 :** assemblage par boulonnage [15].

## **Le soudage :**

Le soudage est un procédé, qui permet d'assembler des pièces par liaison intime de la matière, obtenue par fusion ou plastification.

Le soudage implique donc :

**A/** L'existence d'une source de chaleur suffisante pour obtenir la fusion du matériau elle peut être d'origine électrique (résistance, arc, plasma), chimique (combustion de gaz) et Mécanique (friction).

**B/**Une aptitude du matériau à être soudé, appelées soudabilité, la soudabilité à haute température dépend des qualités propres du matériau, mais également de divers paramètres limitatifs, tels que :

- ✓ Les modifications de la structure physico-chimique du matériau
- ✓ L'apparition de fissurations et de criques au refroidissement
- ✓ L'apparition de déformations géométriques dues aux effets de dilatation et retrait.
- ✓ La naissance de contraintes internes.

## **Le soudage présente, par rapport au boulonnage, plusieurs avantages :**

- Il assure la continuité de matière, et de ce fait garantit une bonne transmission de sollicitations
- Il dispense de pièces secondaire (goussets, attaches, ...)
- Il est de moindre encombrement et plus esthétique que le boulonnage.

## **En revanche, il présente divers inconvénients :**

- Le métal de base doit être soudable.
- Le contrôle des soudures est nécessaire et onéreux.
- Le contrôle des soudures est aléatoire.
- Le soudage exige une main-d'œuvre qualifiée et un matériel spécifique. [5]



**Figure I.8** : assemblage par soudage [15].

# Chapitre II : Pathologie Des Constructions En Acier

## I. Introduction :

Une ossature métallique constituée de barres horizontales qui s'appelle les poutres et des barres verticales qui s'appelle des poteaux reliés entre elle par des assemblages. Les deux dimensions de la section droite sont en général petites devant la longueur de la pièce, ce qui lui donne un aspect filaire [6]. La disponibilité d'une très grande variété de sections ou profils permet de faire les choix les plus judicieux en fonction des exigences du projet.

La liaison des barres ou des poutres entre elles s'effectue en fonction des efforts à transmettre d'un élément à l'autre et de la technique d'assemblages retenue : assemblage par boulons ou assemblage par soudage [7]. Les conditions aux limites des éléments ainsi réalisées au travers des assemblages ont une incidence directe sur la distribution des sollicitations dans les éléments et donc sur leur choix [8]. Il en résulte que la conception d'une ossature métallique doit viser une définition simultanée des barres et de leurs assemblages.



**Figure II .1** : Hall métallique en construction [18].

Toute structure subit des sollicitations ou actions extérieures qui provoquent des déformations, mais aussi des efforts internes, à savoir les contraintes.

Les contraintes sont principalement de cinq natures différentes :

- La traction, la flexion, la compression, le cisaillement, et la torsion.

– Il reste par ailleurs d'autres phénomènes mécaniques ou efforts extérieurs à prendre en compte :

– La résistance à la « rupture fragile » (résilience), et la fatigue.

Enfin, certaines sollicitations particulières sont à prendre en compte aussi :

– Les variations de température, les sollicitations dynamiques.

## **II. Les origines de sinistres d'une structure métallique :**

### ***II.1. Les sinistres ont principalement pour origine :***

-les erreurs matérielles au niveau des études, de la fabrication ou du montage.

-les causes accidentelles comme les charges exceptionnelles.

-l'ignorance au niveau du projet, de l'exécution, du montage et de l'utilisation.

-les erreurs de conception et d'étude d'environ 13 %, dont 3 % de ces erreurs rendent les structures Instables.

-des erreurs de bureau d'études : 45 %.

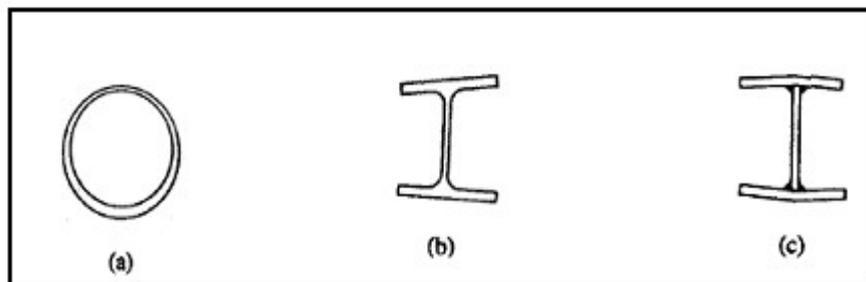
-les facteurs externes.

-les erreurs d'exécution.

-des défauts du matériau.

-les erreurs au montage 35 %, dont la moitié sont dues à des instabilités provisoires, l'autre moitié se Partageant entre malfaçons et fausses manœuvres.

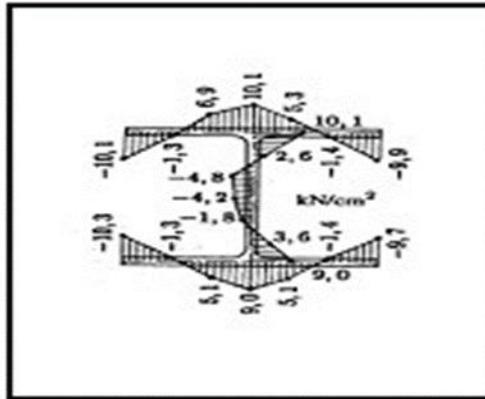
-la mauvaise utilisation et le défaut d'entretien.



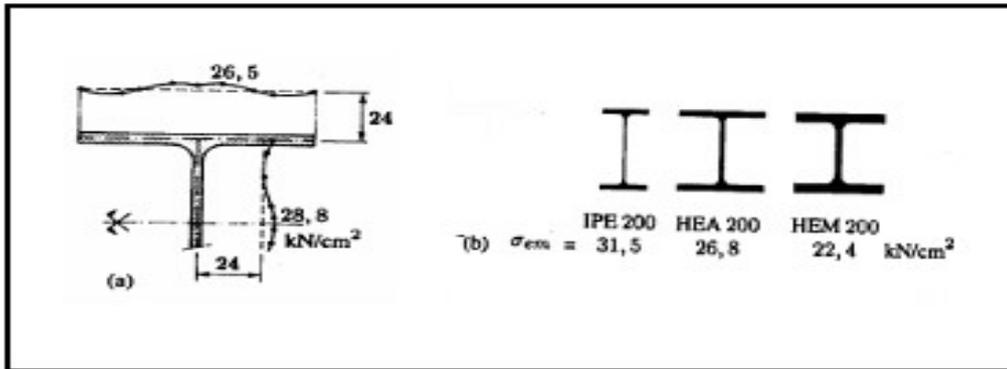
**Figure II .2 :** Imperfections géométriques [9]

(a) excentricité des tubes ; (b) tolérances de laminage ; (c) retrait des soudures.

**Les contraintes résiduelles :**



**Figure II.3 :** Contraintes normales résiduelles après laminage dans un HEA200 (Contraintes à la ligne moyenne, rabattues dans le plan de la section). [9]



**Figure II.4 :** Imperfections des caractéristiques mécaniques. [9]

**(a)** dispersion de la limite d'élasticités un profilé HEA200(Fe360) ; **(b)** moyenne de la limite D'élasticité dans divers types de profilé. [9]

**II.2. Etat d'équilibre stable et instable :**

D'une manière générale, on peut définir la stabilité comme la capacité d'un système physique de revenir à l'équilibre lorsqu'il est perturbé légèrement. Pour un système mécanique, on peut adopter la définition donnée par DIRICHLET : « L'équilibre d'un système mécanique est stable si, lorsque l'on déplace les points du système de leur position d'équilibre d'une quantité infinitésimale et en leur donnant à chacun d'eux une faible vitesse initiale, les déplacements des différents points du système restent, pendant le déplacement, contenus dans des limites imposées faibles ». Cette définition montre clairement que la stabilité détermine une qualité d'une solution (une solution d'équilibre) d'un système et que le problème de s'assurer la stabilité d'une solution concerne le « voisinage » de cette solution particulière.

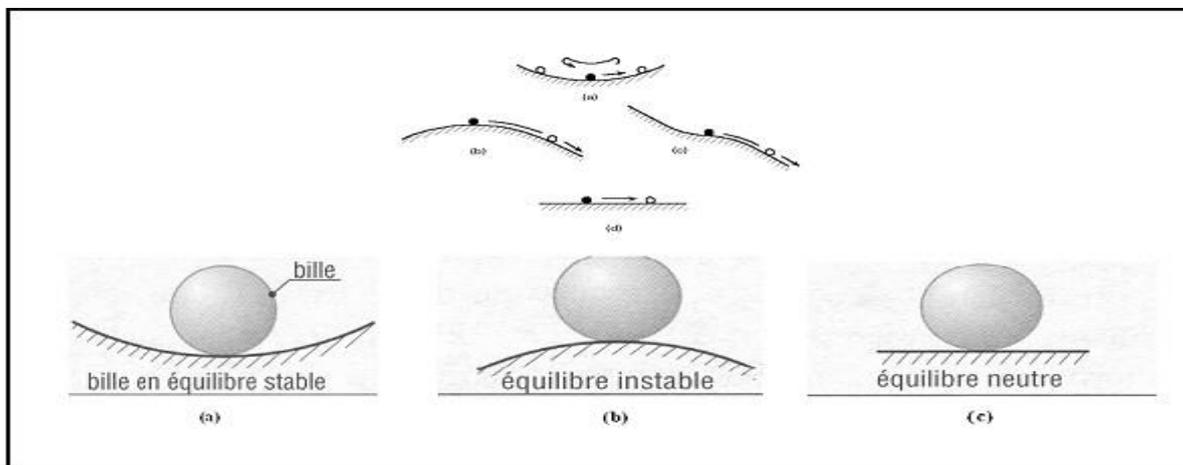
Si on considère un système élastique conservatif, initialement en état d'équilibre sous l'action d'un ensemble de forces, le système s'écartera de cet état d'équilibre seulement s'il subit une force perturbatrice temporaire. Si l'énergie fournie au système par cette force perturbatrice est  $W$ , on a alors :

$$W = T + V = \text{constante}$$

À cause du principe de conservation de l'énergie.

Dans cette relation,  $T$  représente l'énergie cinétique du système et  $V$  l'énergie potentielle. Une faible augmentation de  $T$  s'accompagne d'une diminution faible identique de  $V$ . Si le système est initialement en configuration d'équilibre d'énergie potentielle minimale, alors l'énergie cinétique  $T$  du déplacement libre correspondant décroît dans la mesure où  $V$  doit croître. Par conséquent, le déplacement depuis l'état initial restera faible et l'état d'équilibre est stable.

Pour des corps rigides, la stabilité peut être illustrée par l'exemple bien connu de la bille sur un support courbe. [10]



**Figure II.5 :** Les trois états d'équilibres : (a) stable ; (b) instable ; (c) neutre. [10]

### **II.2.1. Les critères d'instabilités élastiques des sections :**

Dans le domaine élasto-plastique, lorsqu'il y a écoulement plastique, les grandes déformations affectent les zones comprimées des pièces, qui peuvent présenter trois types de comportement caractéristiques, dénommés phénomènes d'instabilité, qui sont :

- Le flambement, qui affecte les barres simplement comprimées (flambement simple) ou comprimées et fléchies (flambement flexion), qui est très dangereux.
- Le déversement, qui affecte les semelles comprimées des pièces fléchies.
- Le voilement qui affecte les âmes des pièces fléchies. [10]

### II.2.1. A Flambement des colonnes :

Le flambement est en fait une sollicitation composée de compression et de flexion, mais dont l'étude est différente de la flexion composée parce que les méthodes sont différentes et que le flambement est un phénomène rapidement destructif. En effet, dans le cas du flambement, les déformations ne peuvent plus être supposées infiniment petites. De même, les forces extérieures ne sont plus proportionnelles aux déformations et, dans certains cas, de grandes déformations peuvent être causées par des accroissements de charge infimes. Tous ces phénomènes sont connus sous le nom d'instabilité élastique. Le risque de flambement d'un élément étant lié aux dimensions de cet élément, on dit que le flambement est un phénomène d'instabilité de forme. [8]

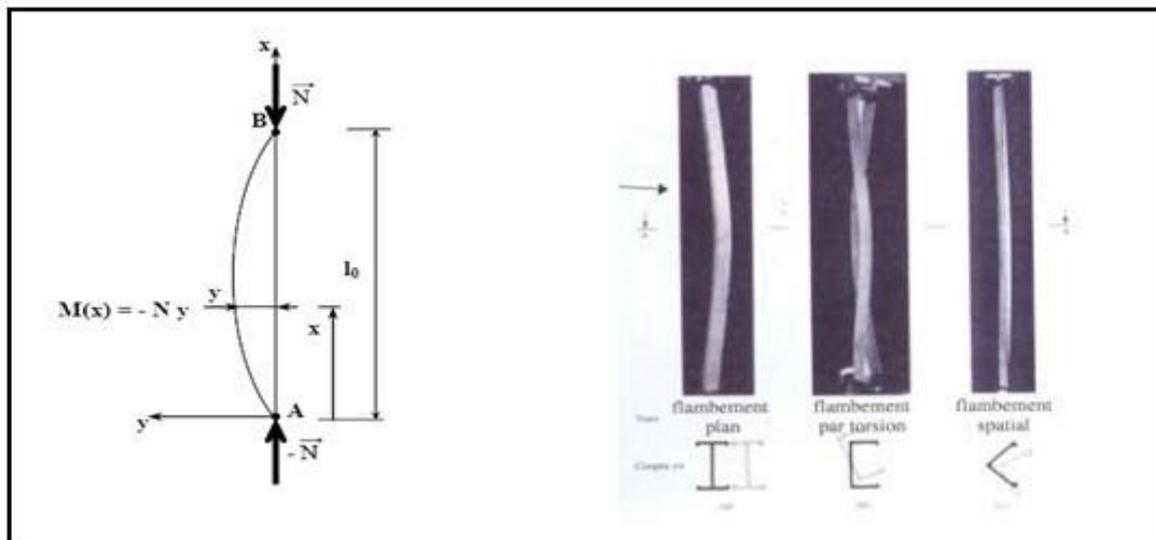


Figure II.6 : Le phénomène de flambement [11]

Les manières les plus efficaces d'améliorer la résistance au flambement consistent à accroître les dimensions de la section droite et/ou d'utiliser un contreventement et des maintiens de manière à modifier le mode de flambement.

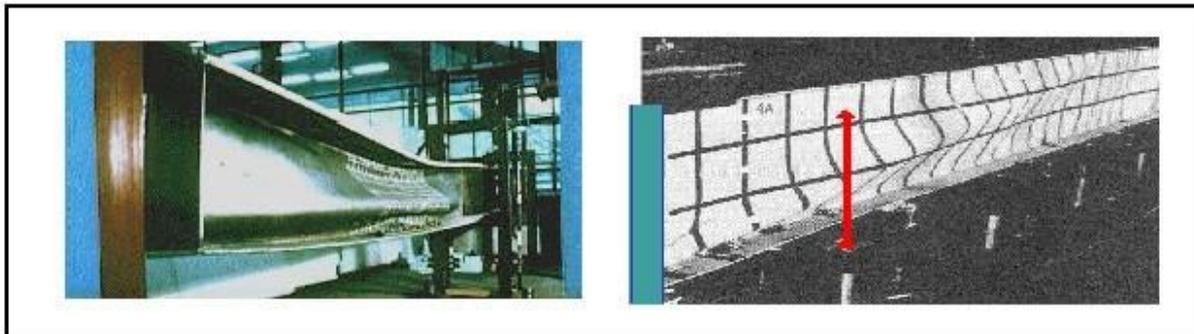
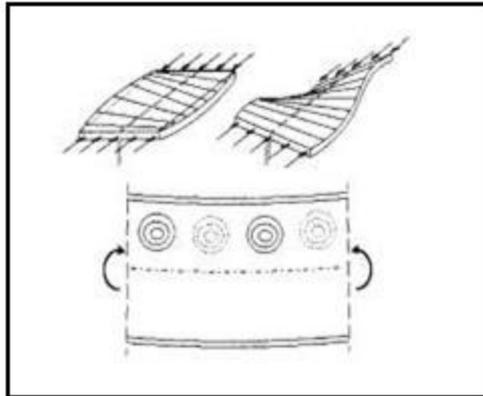
→ La stabilité d'un portique à ossature rigide est contrôlée par la stabilité de ses poteaux individuels.

→ La stabilité d'un portique à ossature souple est contrôlée par la rigidité de flexion des poteaux et des poutres et par la rigidité des liaisons poutres/poteaux. [11]

### II.2.1. b. Voilement des plaques :

Le voilement d'une âme de poutre est un phénomène de déformation de l'âme sous l'action des contraintes de compression et des contraintes de cisaillement. La solution effectuée pour la compensation du risque du voilement de l'âme est l'emplacement des raidisseurs

opportun définis par le calcul en fonction des efforts appliqués à la poutre. Le but de l'essai était de déterminer les limites dans le changement de direction de la semelle pour lesquelles l'âme peut ne pas être raidie. [13]



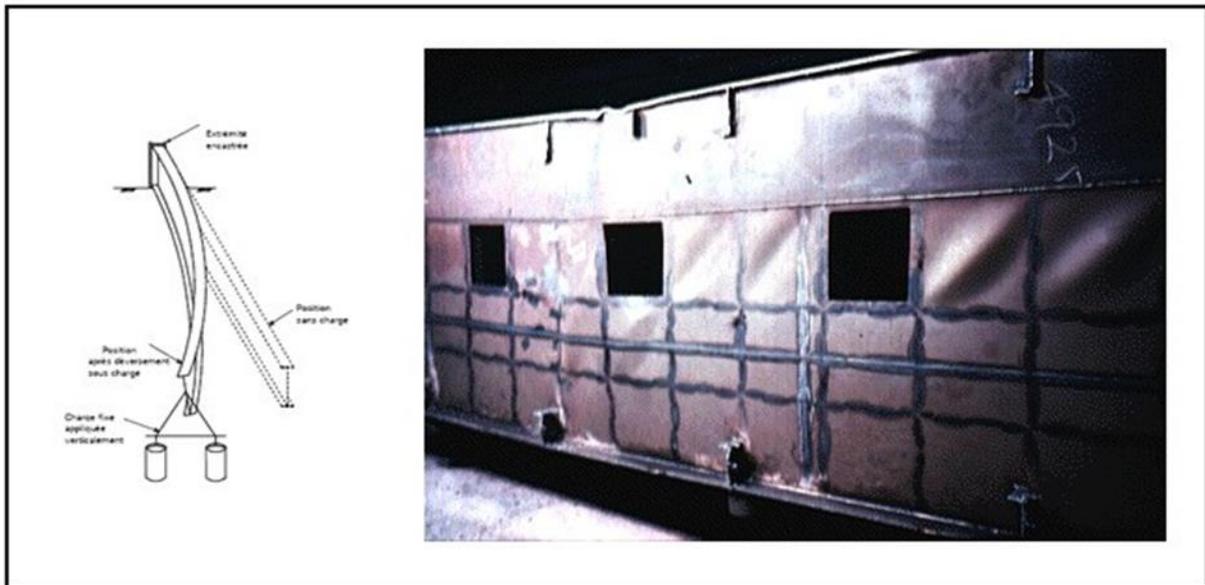
**Figure II.7 :** Le phénomène de voilement total de l'âme. [8]



**Figure II.8 :** Voilement local de la membrure de l'âme supérieure [8]

### ***II.2.1. c. Déversement des poutres :***

Les éléments fléchis qui ne sont pas soutenus latéralement présentent un risque de déversement ; ce type de ruine est plus probable encore si la section est soumise à torsion, notamment si les charges appliquées ne sont pas au droit du centre de torsion de la section. [7]



**Figure II.9 :** Le phénomène de déversement des poutres [7]

### ***II.3. Les précautions à prendre lors de la réhabilitation d'une structure métallique :***

Avant toute étude, il faut procéder à un diagnostic de la structure à réhabiliter :

- Relevé géométrique de la structure (portées, profils) ;
- Etat général (corrosion) ;
- Recherche des principes de stabilité ;
- Recherche des caractéristiques de l'acier (prélèvement, essai, soudabilité éventuelle) ;
- Recherche de la charge portante maximale admissible (poids propre + surcharges) ;
- Moyens d'assemblage.

En fonction des résultats de cette enquête, les solutions de réhabilitation et/ou renforcement pourront être envisagées. Il faudra rester dans l'esprit initial de la conception ; ainsi, des rivets défectueux pourront, par exemple, être remplacés par des boulons précontraints et non pas par des boulons. [7]

#### ***II.4. La corrosion :***

Les métaux fer et acier sont élaborés à partir de minerais dans lesquels ils sont contenus principalement sous la forme d'oxydes. La corrosion est le phénomène naturel qui tend à ramener le métal sous la forme où il est le plus stable : l'oxyde.

En présence de l'eau et de l'oxygène de l'air, le fer se corrode en formant un oxyde ferrique hydraté, brun rougeâtre, la rouille. La rouille se présente, à la surface du métal, sous la forme lamellaire. [12]



**Figure II.10** : corrosion des métaux [12].

La formation de l'oxyde de fer est due à un phénomène électrochimique : les impuretés présentes dans le fer ou l'acier, ou sur sa surface, forment un couple électrique avec le fer. Un courant de faible intensité se crée, l'eau constituant la solution électrolytique. Pendant l'électrolyse, le fer se décompose et forme la rouille en réagissant avec l'oxygène de l'air.

Pour l'acier, l'oxyde ne forme pas une couche protectrice du métal de base ; la formation de rouille dure tant que le métal est en contact avec l'oxygène de l'air et de l'eau. La réaction est plus rapide aux endroits où la rouille est déjà formée.

L'électrolyse peut être accélérée en présence d'acide ; la corrosion est favorisée par la présence de substances ou atmosphères corrosives :

- Produits transportés par les trains : sels, soufre, acides. Gaz d'échappement des engins de traction.
- Atmosphère industrielle et / ou maritime. [12]

### II.1. La corrosion des métaux ferreux (Fer, Acier, Fonte) :

La corrosion se définit de différentes façons :

- Attaque d'un matériau sous l'action chimique ou électrochimique du milieu ambiant.
- Réaction inter-faciale irréversible d'un matériau avec son environnement qui implique une « consommation » du matériau, ou une dissolution dans le matériau d'une composante de l'environnement.
- Destruction des matériaux par des moyens non mécaniques.

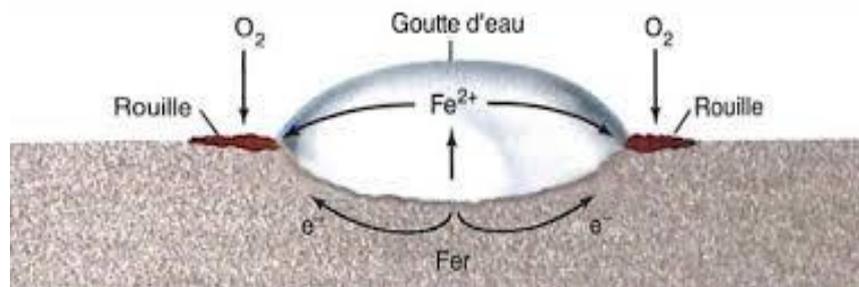
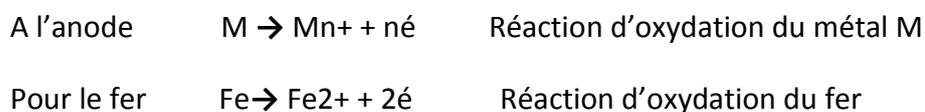


Figure II.11 : le processus de corrosion [5].

Retour des métaux et Alliages à leur état naturel de minerais (processus inverse de la métallurgie extractive). Quelle que soit la définition adoptée, le résultat est le même. Il conduit soit à la réparation, soit au changement de la structure endommagée. [12]

### II.5 L'oxydation des métaux :

**a) La réaction d'oxydo-réduction :** La corrosion est un phénomène d'oxydation qui affecte de nombreux métaux. La rouille, elle, est un produit de l'oxydation du fer et donc de l'acier. Les demi-réactions d'oxydo-réduction qui se produisent initialement sur toutes les surfaces sont les suivantes :



En milieu basique ( $pH > 7$ ), présence d'oxygène :

A la cathode  $O_2 + 2 H_2O + 4e^- \rightarrow 4 OH^-$  Réaction de réduction de l'oxygène

En milieu acide (pH < 7) :

A la cathode  $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$  Réaction de réduction de l'hydrogène :  
dégagement gazeux de dihydrogène.

La réaction se fait par échange d'électrons ( $e^-$ ) et se produit grâce à un environnement conducteur. L'apparition de micro piles à la surface du métal et la présence d'oxygène, dans l'environnement direct, permettent la réaction d'oxydation. [12]

### **b) Notion de potentiel :**

Lorsqu'un métal est immergé dans une solution électrolytique quelconque (eau douce, eau de mer.), on peut mesurer son potentiel de dissolution à l'aide d'une électrode de référence et d'un multi voltmètre à haute impédance d'entrée. Dans chaque solution, il est possible d'établir la « série galvanique », c'est à dire un classement des différents métaux et alliages en fonction de ce potentiel mesuré. La tendance à la corrosion des métaux est liée à leur potentiel : un métal est d'autant plus facilement attaqué par un milieu extérieur que son potentiel est plus négatif. Les potentiels des métaux sont calculés pour un milieu environnant donné. [12]

### **c) Couplage galvanique :**

Lors d'un couplage électrique entre deux métaux ou alliages différents, il va s'établir un courant électrique entre eux, résultant de leur différence de potentiel. Ce processus est alors assimilé au fonctionnement d'une pile galvanique composée de deux électrodes et d'une solution électrolytique.

L'eau baignant une surface métallique contient toujours des traces de sels minéraux et de l'oxygène en solution. Elle joue le même rôle que l'électrolyte d'une pile électrique.

Les couples électriques sont dus à deux causes principales :

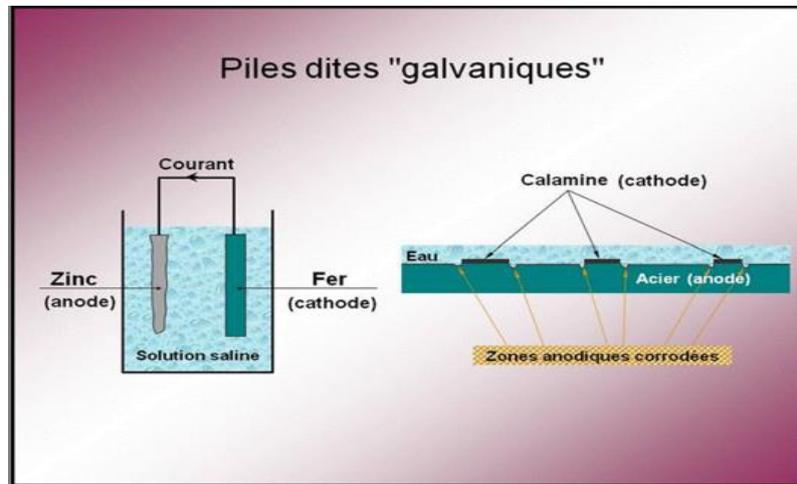
- **Hétérogénéité du métal** : aussi homogène que soient le fer ou l'acier, il existe toujours des irrégularités de composition chimique ou de constitution physique, capables de créer une différence de potentiel entre deux points de la surface métallique lorsqu'elle est recouverte de solution électrolytique.
- **Hétérogénéité de la solution** : l'eau contient toujours de l'oxygène en solution, mais sa concentration n'est pas identique en tous points. Il peut donc également naître une différence de potentiel entre deux régions de la surface du métal, même si celui-ci pouvait être considéré comme parfaitement homogène. [12]

### **d) Pile galvanique :**

La série galvanique classe les métaux selon leur résistance à la corrosion dans un milieu donné, mais, donne également des indications sur le risque d'attaque d'un métal par un autre lors de la mise en contact de métaux ou alliages de potentiels différents. Cette attaque est

appelée corrosion galvanique. Elle est d'autant plus grande que la différence de potentiel générée entre les deux métaux (la DDP) est élevée.

On observe généralement un accroissement de la vitesse de corrosion à la surface de l'alliage le moins noble, au potentiel le plus bas (anodique), et diminution ou suppression provisoire de la corrosion à la surface de l'alliage le plus noble, au potentiel le plus haut (cathodique). C'est le principe de la protection galvanique par anode sacrificielle pour les structures enterrées ou immergées [12]



**Figure II.12 :** Fonctionnement d'une pile galvanique [12].

#### e) Protection par anode sacrificielle :

La mise en évidence de ce processus électrochimique de la pile a permis de développer la protection de métaux par d'autres métaux, via la formation ponctuelle d'anodes sacrificielles. On protège alors le fer (acier) par du zinc (galvanisation, métallisation ou peinture riche en zinc) qui se « sacrifie » pour le protéger lorsqu'il est mis en contact avec un milieu corrosif. Quand il n'y a plus de zinc, le fer commence alors son oxydation. [12]

#### 1.2 Les formes de corrosion des structures métalliques :

Comportement à la corrosion d'un matériau en service dépend d'une multitude des Facteurs :

- Composition chimique et microstructure du métal ;
- Composition chimique de l'environnement ;
- Paramètres physiques (température, convection, irradiation, etc.) ;
- Sollicitations mécaniques (contraintes, chocs, Frottements). [20]

### 1) La corrosion uniforme :

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. [20]



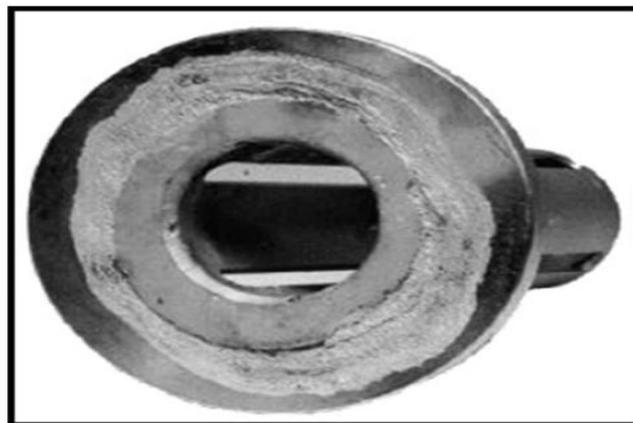
**Figure II.13** : Desserrage de rivet suite à rouille [12].

### 2) 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. [20]

### 3) 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. [20]



**Figure II.14** : Corrosion caverneuse sous un joint [12].

#### **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. [20]

#### **5) La corrosion *sélective* :**

C'est l'oxydation d'un composant de l'alliage, conduisant à la formation d'une structure métallique poreuse. [20]

#### **6) La corrosion-érosion :**

Elle est due à l'action conjointe d'une réaction électrochimique et d'un enlèvement mécanique de matière. Elle a souvent lieu sur des métaux exposés à l'écoulement rapide d'un fluide. [20]

#### **7) La corrosion sous contrainte :**

C'est une fissuration du métal, qui résulte de l'action commune d'une contrainte mécanique et d'une réaction électrochimique. [20]

#### **8) La corrosion galvanique :**

Appelée aussi corrosion bimétallique, est due à la formation d'une pile électrochimique entre deux métaux. À dégradation du métal le moins résistant s'intensifie. [20]

#### **9) 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. [20]

### ***II.6. Préserver votre ouvrage métallique de la corrosion, c'est garantir la durabilité et la pérennité***

Le choix du dispositif de protection **anticorrosion** représente une étape clé pour assurer la pérennité de l'ouvrage, que ce soit une construction neuve ou un projet de réhabilitation. La démarche de conseil s'appuie sur l'analyse de paramètres déterminants afin de fournir une réponse aux phénomènes de corrosion et à leurs protections associées.

**Notre objectif :** Atteindre le seuil de longévité fixé par votre client et adapté à l'ouvrage par des procédés appropriés.

Le CTICM, spécialiste de la conception et du dimensionnement des structures en acier, met à votre disposition son expertise technique dans le domaine de la protection anticorrosion qui s'articule selon quatre points :

- Protection d'ouvrages neufs : Conception d'une solution de protection optimisée et personnalisée selon la situation et l'objectif. Validation de vos prescriptions et modes d'applications. Elaboration du programme d'entretien de l'ouvrage.
- Diagnostics sur ouvrages existants : Expertise de l'ouvrage et évaluation de l'état de conservation de la structure métallique et de sa protection. Programme de travaux de rénovation et d'entretien pour pérenniser la charpente et/ou les éléments métalliques.
- Maitrise d'œuvre et assistance à maitrise d'ouvrage et maitrise d'œuvre : Accompagnement administratif et technique dans la mise en place et le suivi de travaux de protection anticorrosion.
- Contrôles anticorrosion : Contrôles tierce partie au cours de l'exécution de travaux de protection anticorrosion dans le cadre d'une mission de contrôle externe, extérieure ou autre.

Le CTICM peut en outre vous accompagner sur la gestion de votre site d'application : mise en place d'une certification, préservation de la santé et de l'environnement, maîtrise des déchets, ... [13]

# Chapitre III : Relevés pathologique – cas des constructions

## En acier de la région de Mostaganem

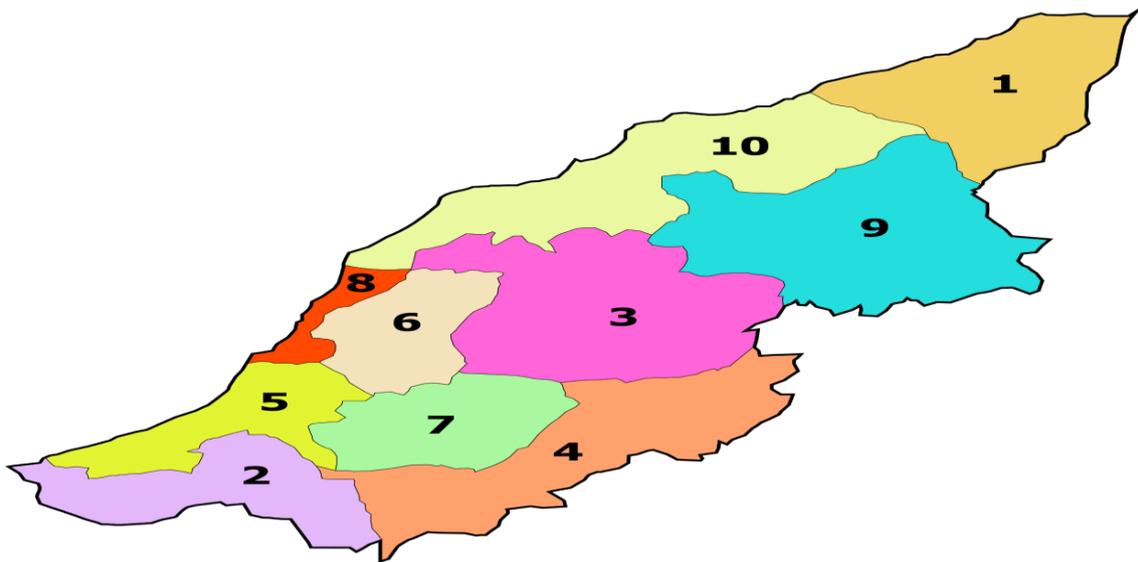
### I. Introduction :

Le fer a commencé à faire son apparition comme élément de construction au XVIII<sup>e</sup> siècle, alors que les matériaux usuels à cette époque étaient le bois et la pierre. Il s'agissait alors d'assurer des fonctions d'ornementation et de renforcement des ossatures (essentiellement de maintenir les pierres dans leur position initiale par agrafage).

XIX<sup>e</sup> siècle : Avec l'introduction du fer comme élément de construction, les méthodes de conception furent bouleversées. Le concepteur ne travailla plus en effet avec des éléments singuliers, en fonte, moulés en atelier, mais avec des profilés standard en I, T, L, etc., dont l'assemblage permettait d'obtenir les solutions recherchées. Ce passage d'éléments uniques à des produits standardisés ne fut possible que grâce aux nombreux développements effectués dans le domaine des chemins de fer. Ce succès ne fut possible que grâce à l'introduction massive du rivet comme moyen d'assemblage, qui permettait une combinaison presque illimitée des produits de bases. **[14]**

Cette recherche comprend l'étude de l'état des structures métalliques dans la zone Mostaganem, donc nous avons visité des endroits où des installations existent des structures métalliques perdre quelques défauts .et pendant remarqué en eux. Ces lieux sont :

- L'hôpital d'AIN TEDLES
- Usine de sucre de MEZGHRANE
- Station d'essence d'AIN TEDLES



**Figure III.1:** Carte de Mostaganem avec le zonage des sites

Daïras de la wilaya de Mostaganem (Algérie) :

- 1 - Daïra d'Achaacha
- 2 - Daïra d'Ain Nouissi
- 3 - Daïra d'Ain Tadles
- 4 - Daïra de Bouguirat
- 5 - Daïra de Hassi Mameche
- 6 - Daïra de Kheiredine
- 7 - Daïra de Mesra
- 8 - Daïra de Mostaganem
- 9 - Daïra de Sidi Ali
- 10 - Daïra de Sidi Lakhdar



**Figure III.2 :** L'hôpital municipal d'Ain Tadles.

L'hôpital municipal d'Ain Tadles, qui est l'une des plus grandes villes et départements de l'État de Mostaganem, avec une population énorme d'environ 120 000 personnes, son bâtiment construit en 1986 avec une construction préfabriquée, a expiré, à un moment où il a été témoin de plusieurs opérations d'entretien et de réhabilitation qui la rendent utilisable. Jusqu'à l'achèvement d'une nouvelle installation conforme aux spécifications approuvées et aux normes acceptées, au regard des dangers de la substance ammonite qui cause le cancer, elle reste un fantôme effrayant pour tous, qu'il s'agisse des employés de l'institution ou des visiteurs et des patients.



**Figure III.3** : corrosion des éléments de la charpente de L'hôpital d'Ain Tedles.

On constate des corrosions assez prononcées au niveau des éléments dormant la structure en charpente métallique cela faute de d'une activité de maintenance et de remise en état. Il va sans dire que ce genre de construction ont été bâti pour remédier en urgence à la demande de la population dans certaines wilayas sur le plan santé en charpente métallique à cause de la rapidité de construction et c'était prévu à l'époque pour une durée déterminée.



**Figure III.4** : assemblage poteau-poutre.



**Figure III. 5** : maque de lisses de bardages



**Figure III. 6 :** assemblage poteaux-poteaux.

Le complexe Berahal à Mostaganem, la plus grande raffinerie de sucre de l'Ouest algérien, a été créé en 1974 avec une capacité de production de 250 tonnes de sucre par jour. Plus de 250 ouvriers travaillent dans cette usine. Elle a été restructurée en 2008, car elle souffrait d'un problème de pièces de rechange.



**Figure III.7** : Le complexe de sucre Berahal à Mostaganem.

Les diagonales des contreventements sont en forme T mais chaque diagonal est différent de l'autre (**Figure III. 8**)



**Figure III. 8 :** Les diagonales de contreventement horizontal.



**Figure III.9 :** corrosion des boulons d'assemblage.

Corrosion de l'interface et l'émergence de trous sur l'eau de pluie

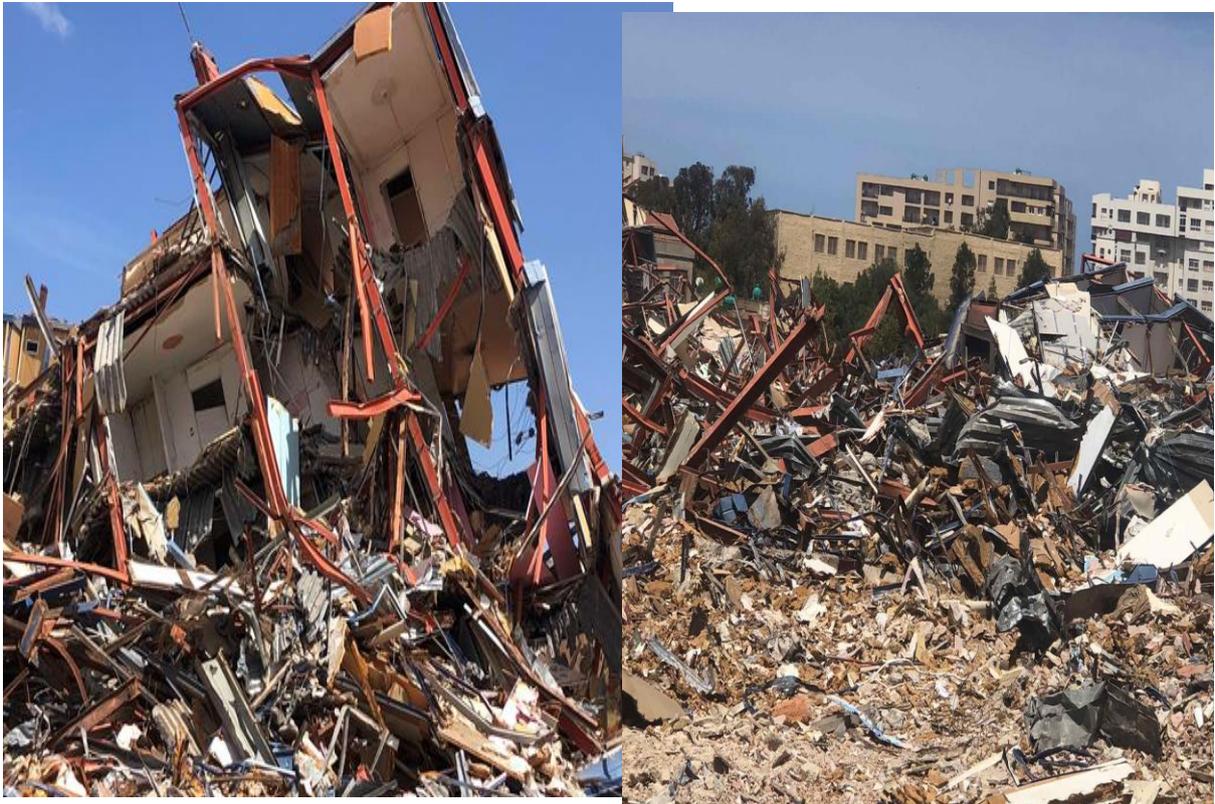


**Figure III. 10 :** trous apparaissant sur la destination.

## Processus des Bâtiments d'ES SEDIKIA ORAN

### ▶ Bâtiments d'ES SEDIKIA ORAN

### ▶ Bâtiments d'ES SEDIKIA ORAN





**Figure III. 11 :** destruction de bâtiments.

Vandalisme, et non démantèlement des bâtiments pour exploiter les pièces intactes pendant le processus de démolition. Ce processus est mené après le recasement de la population qui y résidait. A notre grand étonnement au lieu de démonter les éléments, boulonnés en plus, formants la structure en charpente celle-ci a été carrément démolies par conséquent la destruction des éléments qui pouvaient à notre sens être conservés afin de les contrôler et éventuellement réutiliser pour d'autres constructions, cela pour avoir des effets économiques certaines. Ces constructions étaient réalisées pour une durée déterminée et ça à résister durant quatre décennies.

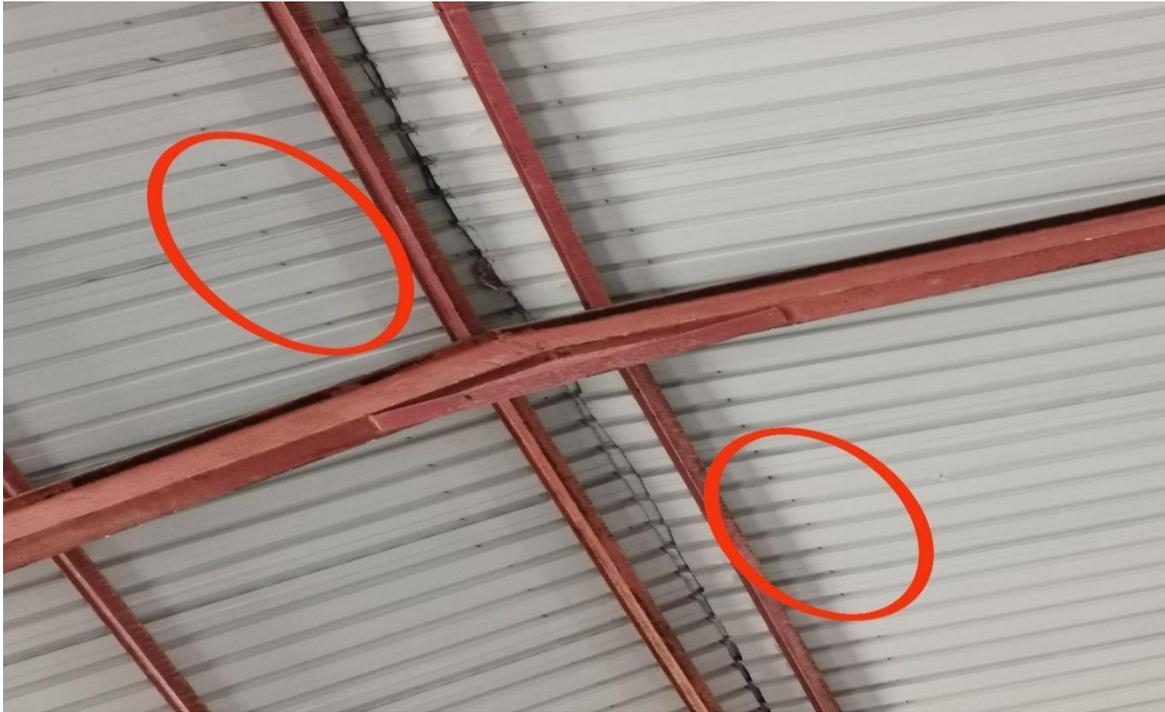


**Figure III. 12** : défaut d'instillation



**Figure III.13** : Absence de montage avec vis

Les crochets et les vis ne sont pas fixés (**Figure III.14**) et ils ne sont pas à leur place connecte.



**Figure III. 14 :** Les vis de fixation de la toiture.

Cet état des faits montre que les structures en charpente métallique ne sont pas utilisées et surtout entretenus à juste mesure. On pourra affirmer qu'il y a absence de professionnels spécifiques à ce genre de constructions afin d'augmenter leurs durées de vies.

# Chapitre IV : Etude d'un portique métallique (Hall métallique en construction)

## I. Introduction :

Le présent document technique réglementaire (DTR) fournit les procédures et principes généraux pour les déterminations des actions du vent et la neige sur l'ensemble d'une construction sur ses différentes parties. On applique le document technique réglementaire aux construction la hauteur est inférieure à 35 m. **Figure II.1:** Hall métallique en construction [24]. Pages 22

### II .1-Charge de neige :

La charge de neige sur le sol  $S_k$  par unité de surface est en fonction de la localisation géographique et de l'altitude du lieu considéré.

### II .2-La charge de la neige sur la toiture :

La charge minimale de la neige  $S$  par unité de surface horizontale de toiture ou toute autre surface soumise à l'accumulation de la neige s'obtient par la formule suivante :

$$S = \mu \times S_k$$

$\mu$  : Coefficient de forme des toitures.

## III. Etude du vent :

**Pression due au vent :** Notre construction appartient.

$$q_j = C_d \times W_{(z_j)} \dots \dots \dots [N/m^2]$$

$$W_{(z_j)} = q_{dyn}(Z_j) \times [C_{pe} - C_{pi}] \dots \dots \dots [N/m^2]$$

$$\Rightarrow q_j = C_d \times q_{dyn}(Z_j) \times [C_{pe} - C_{pi}] \dots \dots \dots [N/m^2]$$

$q_j$  : La pression due au vent.

$C_d$ : coefficient dynamique de la construction

$q_{dyn}$ : pression dynamique du vent calculé à la hauteur  $Z_j$  relative à l'élément de surface  $j$ .

$C_{pe}$ : est le coefficient de pression extérieur.

$C_{pi}$  : est le coefficient de pression intérieur.

$W[N/m^2]$ : est la pression nette.

Détermination de  $C_d$  :  $C_d$  est donné en fonction de :

B (m) : (dimension horizontale) perpendiculaire à la direction du vent.

H (m) : hauteur totale de la construction

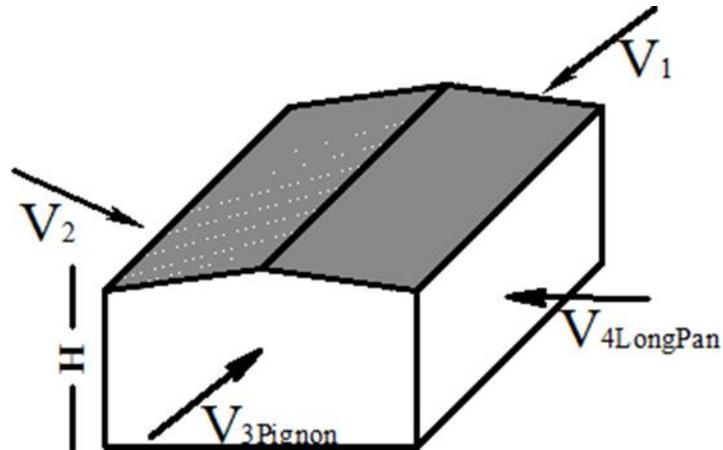


Figure IV. 1 : Sens de vent sur la structure [1].

### La Pression dû au Vent :

$$W_{(z_j)} = q_{dyn}(Z_j) \times [C_{pe} - C_{pi}] \quad [N/m^2]$$

Avec :

$$q_j = C_d \times W_{(z_j)} \quad [N/m^2]$$

### Détermination du Coefficient Dynamique : « Cd »

sens du vent V1	$\begin{cases} L = 31.2m \\ H = 11.24m \end{cases}$	$C_d = 0.92$
Sens du vent V2	$\begin{cases} L = 78.84m \\ H = 11.24m \end{cases}$	$C_d = 0.86$
Sens du vent V3	$\begin{cases} L = 31.2m \\ H = 11.24m \end{cases}$	$C_d = 0.92$

$$\text{Sens du vent V4} \quad \begin{cases} L = 78.84m \\ H = 11.24m \end{cases}$$

$$C_d = 0.86$$

On remarque que  $C_d < 1, 2$

Alors, la construction est supposée peu sensible aux excitations dynamiques.

$$W_{(z_j)} = q_{dyn}(Z_j) \times [C_{pe} - C_{pi}] \quad [N/m^2]$$

$$q_{dyn}(Z_j) = q_{pef} \times C_e(Z_j) \quad [N/m^2]$$

$C_e(Z_j)$  : coefficient d'exposition.

$$C_e(Z_j) = Ct(z)^2 \times C_r(Z)^2 \times \left(1 + \frac{7 \times K_T}{Ct(z) \times Cr(z)}\right)$$

$K_T$ : Facteur de terrain

$C_r$ : Coefficient de rugosité

$Ct$ : Coefficient de topographie

$Z$  : Hauteur considérée en (m).

Après consultation de la documentation nous prévenons la pression surfacique entre la moyenne de valeur généralement utilisé relevés de bibliographié de métrologiques de Mostaganem.

I	$Z_j$	$C_r(z_j)$	$C_e(z_j)$	$Q_{dyn}(N/m^2)$
1	1,13	0,53	0,99	371,25
2	3,38	0,62	1,48	505
3	4,51	0,67	1,62	577,5
4	9,03	0,78	1,94	627,5
5	10,16	0,9	2,01	653,75
6	11,24	0,82	2,07	675

**Tableau IV. 1** : Répartition des pressions dynamiques sur les parois [1]

$$Q_{dyn} = \sum \frac{371.25 + 505 + 577.5 + 627.5 + 653.75 + 675}{6}$$

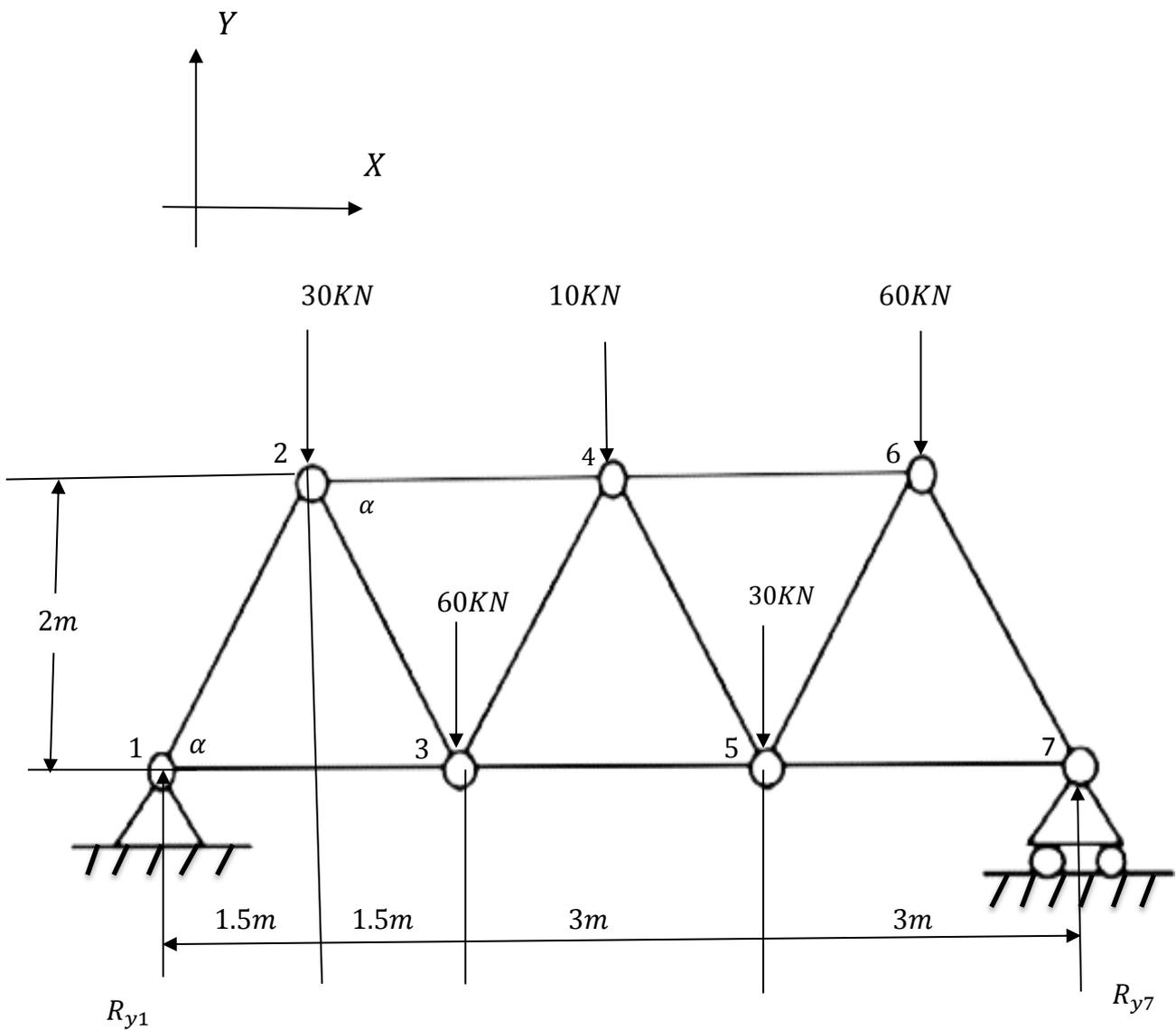
$$= 568.33(N/m^2)$$

Sens du vent V3  $\begin{cases} L = 31.2m \\ H = 11.24m \end{cases}$

$$C_d = 0.92$$

$$S = L \times H = 31.2 \times 11.24 = 350.688 m^2$$

$$F_{eff} = \frac{P}{S} = \frac{568.33}{350.688} = 1.621 N$$



### III. La méthode des nœuds :

-Les calculs des réactions d'appuis :

$$l = \sqrt{1.5^2 + 2^2} = 2.5 \text{ m}$$

$$\cos \alpha = \frac{2}{2.5} = 0.8 \quad \text{et} \quad \sin \alpha = \frac{1.5}{2} = 0.6$$

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow R_{y1} + R_{y7} - 30 - 10 - 60 - 60 - 30 = 0$$

$$R_{y1} + R_{y7} - 30 - 10 - 60 - 60 - 30 = 0$$

$$R_{y1} + R_{y7} = 190 \text{ KN}$$

$$\sum M/1 = 0$$

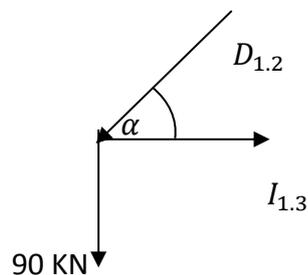
$$\begin{aligned} & \begin{pmatrix} 0 \\ -30 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 1.5 \\ 2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -60 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 3 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -10 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 4.5 \\ 2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -30 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 6 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -60 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 7.5 \\ 2 \end{pmatrix} \\ & + \begin{pmatrix} 0 \\ R_{y7} \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 9 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$$= 45 + 180 + 45 + 180 + 450 - 9R_{y7} = 0$$

$$R_{y7} = 100 \text{ KN}$$

$$R_{y1} = 190 - R_{y7} = 90 \text{ KN}$$

**Nœud 1 :**



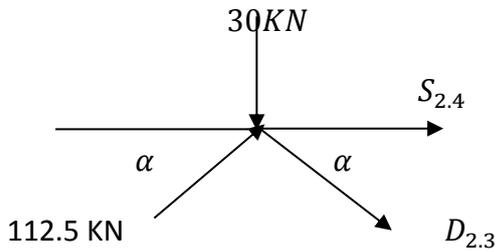
$$\sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow \begin{pmatrix} I_{1.3} \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 90 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -D_{1.2} \cos \alpha \\ -D_{1.2} \sin \alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{cases} I_{1.3} - D_{1.2} \cos \alpha = 0 \\ 90 - D_{1.2} \sin \alpha = 0 \Rightarrow D_{1.2} = \frac{90}{\sin \alpha} = 112.5 \text{ KN} \end{cases}$$

$$\Rightarrow D_{1,2} = 112.5 \text{ KN}$$

$$\Rightarrow I_{1,3} = -D_{1,2} \cos \alpha = 67.5 \text{ KN}$$

**Nœud 2 :**

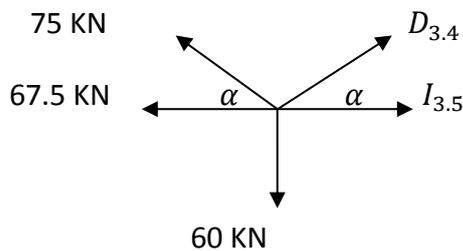


$$\sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ -30 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -S_{2,4} \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} D_{2,3} \cos \alpha \\ -D_{2,3} \sin \alpha \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 112.5 \cos \alpha \\ 112.5 \sin \alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{cases} -S_{2,4} + D_{2,3} \cos \alpha + 112.5 \cos \alpha = 0 \\ -30 - D_{2,3} \sin \alpha + 112.5 \sin \alpha = 0 \Rightarrow D_{2,3} = \frac{-30 + 112.5 \sin \alpha}{\sin \alpha} = 75 \text{ KN} \end{cases}$$

$$\Rightarrow S_{2,3} = D_{2,3} \cos \alpha + 112.5 \cos \alpha \Rightarrow S_{2,4} = 112.5 \text{ KN}$$

**Nœud 3 :**

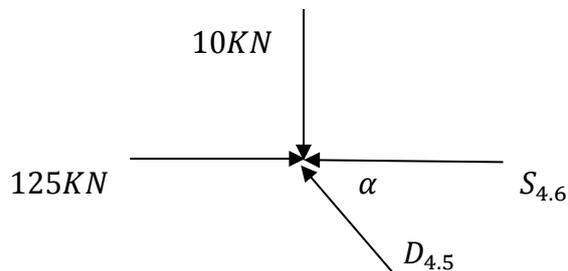


$$\sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow \begin{pmatrix} -67.5 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} I_{3,5} \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -60 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -75 \cos \alpha \\ 75 \sin \alpha \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} D_{3,4} \cos \alpha \\ D_{3,4} \sin \alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{cases} -67.5 + I_{3,5} - 75 \cos \alpha + D_{3,4} \cos \alpha = 0 \\ -60 + 75 \sin \alpha + D_{3,4} \sin \alpha = 0 \Rightarrow D_{3,4} = \frac{60 - 75 \sin \alpha}{\sin \alpha} = 0 \text{ KN} \end{cases}$$

$$I_{3,5} = 67.5 + 75 \cos \alpha - D_{3,4} \cos \alpha = 112.5 \text{ KN}$$

**Næud 4 :**



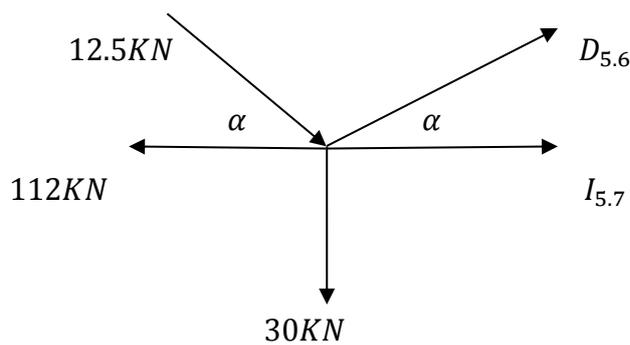
$$\sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow \begin{pmatrix} -112.5 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} S_{4.6} \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 10 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} D_{4.5} \cos \alpha \\ -D_{4.5} \sin \alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{cases} -112.5 + S_{4.6} + D_{4.5} \cos \alpha = 0 \\ 10 - D_{4.5} \sin \alpha = 0 \Rightarrow D_{4.5} = \frac{10}{\sin \alpha} = 12.5 \text{ KN} \end{cases}$$

$$\Rightarrow S_{4.6} = 112.5 - D_{4.5} \cos \alpha$$

$$\Rightarrow S_{4.6} = 112.5 - 12.5 \cos \alpha = 105 \text{ KN}$$

**Næud 5 :**



$$\sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow \begin{pmatrix} -112.5 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} I_{5.7} \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -30 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 12.5 \cos \alpha \\ -12.5 \sin \alpha \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} D_{5.6} \cos \alpha \\ D_{5.6} \sin \alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

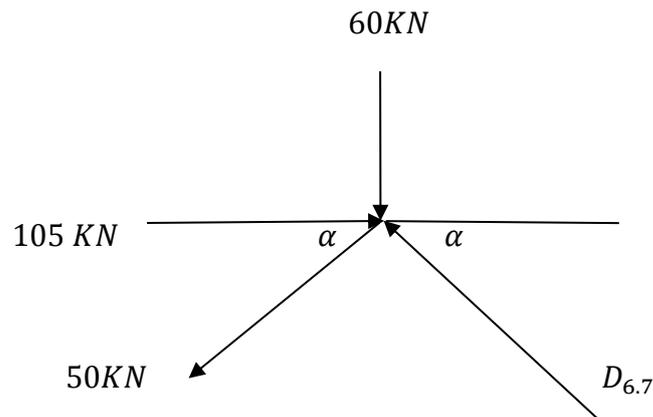
$$\begin{cases} -112.5 + I_{5.7} + 12.5 \cos \alpha + D_{5.6} \cos \alpha = 0 \\ -30 - 12.5 \sin \alpha + D_{5.6} \sin \alpha = 0 \Rightarrow D_{5.6} = \frac{30 + 12.5 \sin \alpha}{\sin \alpha} \end{cases}$$

$$\Rightarrow D_{5.6} = 50 \text{ KN}$$

$$\Rightarrow I_{5.7} = -12.5 \cos \alpha + 112.5 - D_{5.6} \cos \alpha$$

$$\Rightarrow I_{5.7} = -12.5 \cos \alpha + 112.5 - 50 \cos \alpha = 75 \text{ KN}$$

**Næud 6 :**

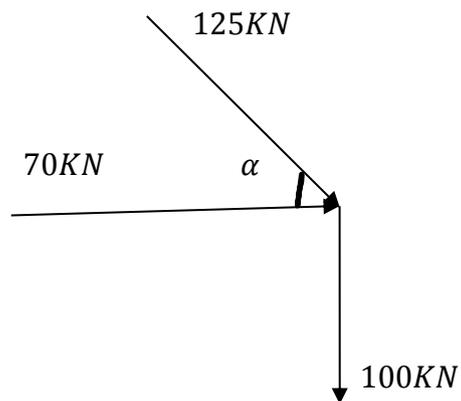


$$\sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow \begin{pmatrix} 105 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -60 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -D_{6.7} \cos \alpha \\ D_{6.7} \sin \alpha \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -50 \cos \alpha \\ -50 \sin \alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{cases} 105 - D_{6.7} \cos \alpha - 50 \cos \alpha = 0 \\ -60 + D_{6.7} \sin \alpha - 50 \sin \alpha = 0 \end{cases} \Rightarrow D_{6.7} = \frac{105 - 50 \cos \alpha}{\cos \alpha} = 125 \text{ KN}$$

$$D_{6.7} = 125 \text{ KN}$$

**Næud 7 :**



$$\sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow \begin{pmatrix} -70 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 100 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 125 \cos \alpha \\ -125 \sin \alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{cases} -70 + 125 \cos \alpha = 0 \\ 100 - 125 \sin \alpha = 0 \end{cases}$$

Les calculs des Nombre de boulon  $N_i$  :

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\sigma_e = 34 \text{ daN/mm}^2$$

$$\rho = 7.83 \text{ kg/m}^3$$

$$n = 2$$

$$l = 3\text{m}$$

$$\tau_{ad} = \frac{F}{S} = \frac{P_i + F_{eff} + F_i}{S}$$

$$\sigma_{ad} = \frac{\sigma_e}{n}$$

$$\tau_{ad} = 0.65\sigma_{ad} \Rightarrow 0.65 \frac{\sigma_e}{n}$$

$$\frac{P_i + F_{eff} + F_i}{S} \leq 0.65 \frac{\sigma_e}{n}$$

$$P = mg = v\rho g$$

$$S \geq \frac{n(P_i + F_i + F_{eff})}{0.65\sigma_e}$$

$$\frac{S}{A} \geq N_i$$

$$N_i \geq \frac{4S}{\pi D^2}$$

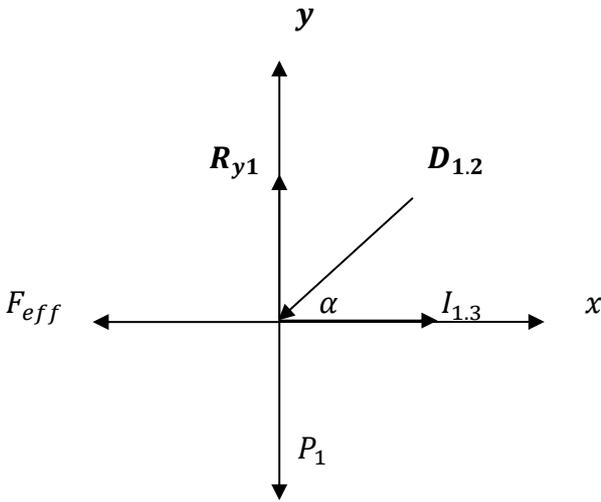
$$D = 12\text{mm}$$

$$IPE100 \quad a = 4.1\text{mm} \quad b = 55\text{mm} \quad h = 100\text{mm} \quad e = 5.7\text{mm} \quad h_1 = 75\text{mm}$$

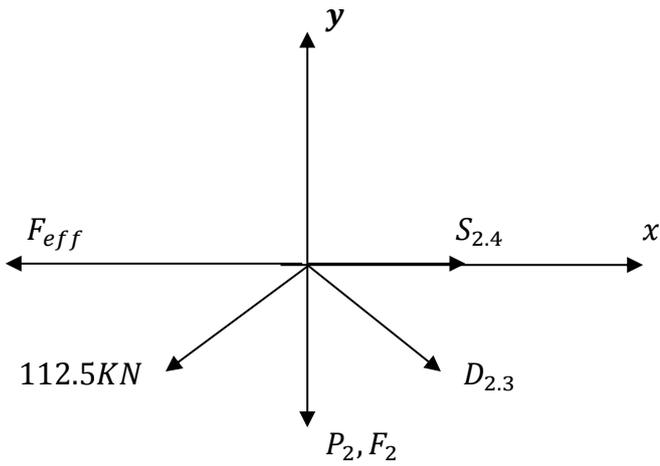
$$Poids = 8.1 \text{ kg/m}$$

Nous allons présenter dans ce qui suit le bilan statique des forces dans chaque nœud en prenant en compte la force dynamique due au vent  $F_{eff}$

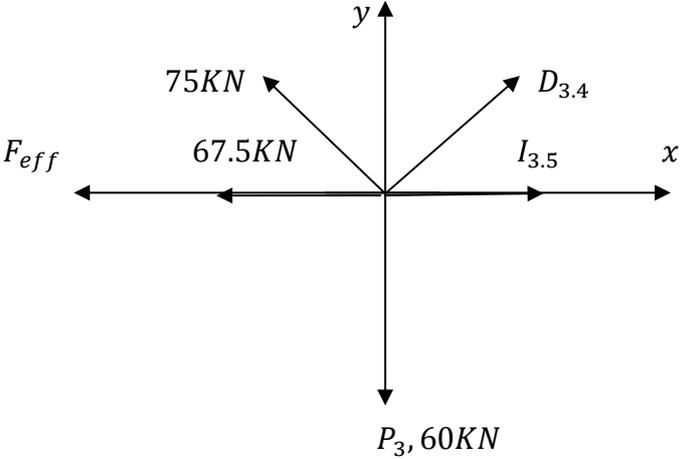
Nœud 1 :



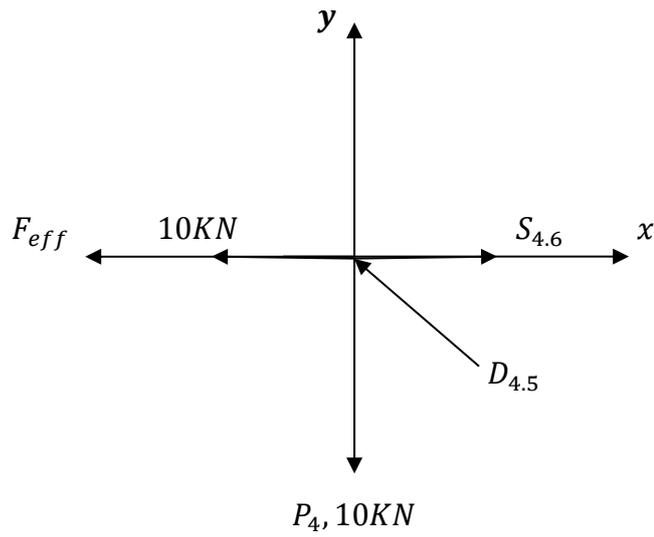
Nœud 2



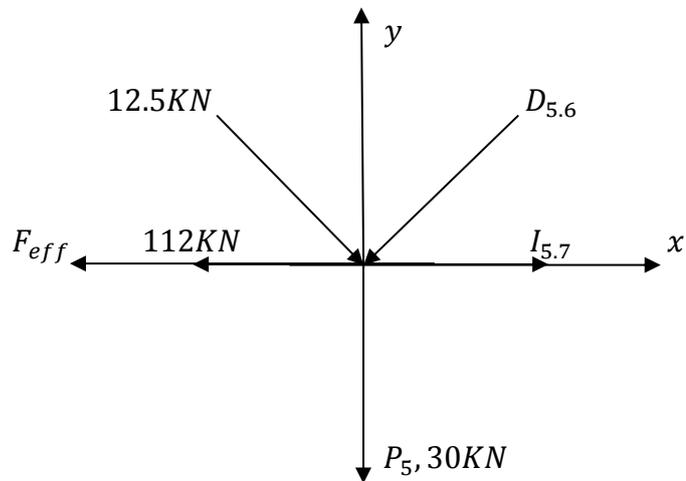
Nœud 3 :



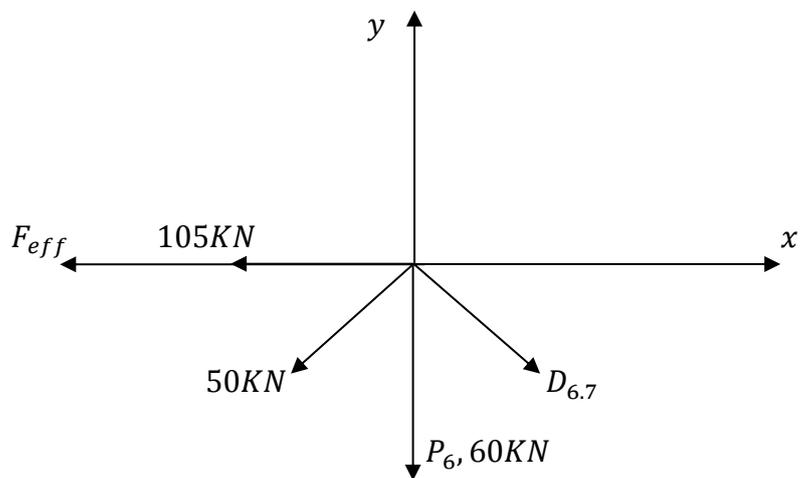
**Nœud 4 :**



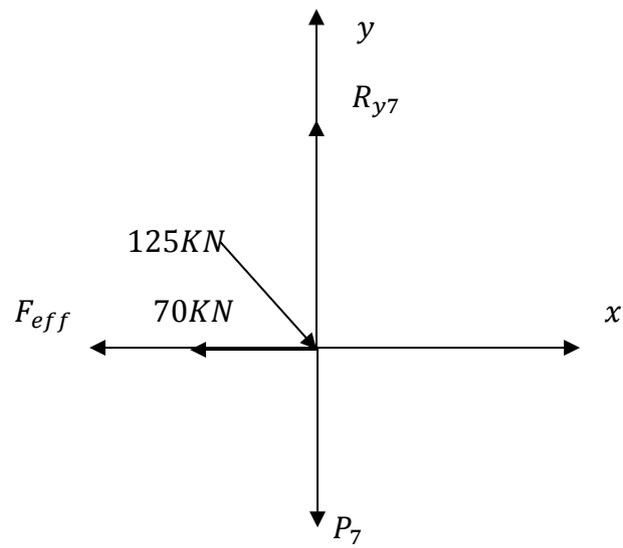
**Nœud 5 :**



**Nœud 6 :**



**Nœud 7 :**



	Nœud 1	Nœud2	Nœud 3	Nœud 4	Nœud 5	Nœud 6	Nœud 7
$ P_i $	238.38	357.57	476.76	476.76	476.76	357.57	238.38
$\sum F/x = 0$	45000	82500	15000	10000	23000	65000	30000
$\sum F/y = 0$	22261.62	7857.5	15476.76	2976.76	7976.76	15357.57	24761.62
$N_i$	4	7	2	1	3	6	3

## Conclusion Générale :

L'objectif de notre travail a été atteint car nous avons pu soulever les problèmes rencontrés et souvent négligés par les gérants des structures métalliques. Il faudra noter au passage que nous avons rencontré beaucoup de difficultés par la réticence des responsables de ces structures vis-à-vis de notre présence au sein de leur site.

Lors de notre étude sur la pathologie des structures métalliques au niveau de la wilaya de Mostaganem. Nous avons passé en revue les structures métalliques existantes. Nous avons répertorié toutes les structures en charpente métalliques parmi lesquelles nous pouvons citer l'hôpital de Ain Tedlas, l'usine de production de sucre et les stations-service NAFTAL réparties dans plusieurs régions de la wilaya de Mostaganem.

Lors de nos différentes visites des structures en acier, nous avons remarqué qu'elles souffrent de nombreuses pathologies, mais celle la plus présente dans les structures métalliques est la corrosion, en raison de l'absence totale de programmes d'entretien et de surveillance pour ce type de structures. En conséquence, cela augmente la taille des dommages au fil du temps et réduit ainsi la durée de vie du bâtiment ou de la structure. Nous avons également noté la présence d'erreurs de construction, et ce dans les assemblages et les fixations tels que les raidisseurs et tendeurs, les bardages, les gouttières et les côtés de la structure et ces erreurs montrent en quelque sorte les manquements des responsables en matière d'entretien des structures métalliques.

Nous avons terminé notre mémoire par une application de calcul d'une structure répertoriée en déterminant les forces appliquées dans chaque élément et le calcul du nombre de boulons nécessaires dans chaque nœud vérifiant la résistance.

Nous prévoyons la poursuite de notre travail de faire une étude comparative des différents types d'assemblage et d'élargir le champ d'action dans plusieurs sites de structure en charpente métallique.

## Références Bibliographiques

- [1] Fakiri. Abdel Haq, Mémoire de Master en Génie Civil. Charpente Met, Université de Tlemcen, année.....
- [2] <https://www.construiracier.fr/technique/solutions-constructives/structures/cadres-articles-et-les-portiques/>.
- [3] H. Baaziz, les fascicules de constructions métalliques, poutres et portiques de grandes portée, OPU, Institut de Génie civil, Université de Constantine, 07. 1993.
- [4] Lahlou DAHMANI -construction métallique notes de cours et application- université mouloud Mammeri Tizi-Ouzou. 2018
- [5] Traité De Génie Civil De L'école Polytechnique Fédérale De Lausanne, Volume 10 : MANFED.A HIRT ROFT BEZ 1994.
- [6] Techniques de l'Ingénieur, C 2 690 Pathologie des structures en acier, 2002.
- [7] MANFERD. H. ROLF BEZ, Construction métallique : Notions Fondamentales et méthodes de dimensionnement, Volume10.2006
- [8] Mécanique des structures et Résistance des Matériaux (Résumé du cours Résistance des matériaux |Chapitre 7 : Flambement).
- [9] FRANÇOIS FREY, Analyse des structures et milieux continus mécanique des Structures, (chap. 11-instabilité et flambement).2011
- [10] GROUPE DE TRAVAIL COURS APK, Association pour la promotion de l'enseignement de la construction acier,1991.
- [11] CAILLEBAUD, JEAN-LOUIS CHABOCHE, SAMUEL FOREST; HERMES ; PIERRELADEVEZE JEAN-PIERRE PELLE, Mécanique Non Linéaire, 2004.
- [12] Philippe RAMONDENC /Pathologie, Maintenance Et Réparation Des Ouvrages métalliques /Ecole Nationale Des Ponts Et Chaussées 2018.
- [13] <https://www.cticm.com/nos-prestations/protection-metaux-anticorrosion/>.
- [14] Les aciers de structure / institut hemes gramme / Ir. Jacques dehard professeur/2008
- [15] <https://skyciv.com/fr/technical/bolts-vs-welds-vs-rivets-for-steel-connections/>.
- [16] <https://www.souduredremire.com/services>.
- [17] <https://www.frisomat.africa/fr/votre-charpente-metallique/>.

**[18]** <https://www.expert-charpente.com/charpente-metal-comment-lutter-contre-corrosion/>.

**[19]** <https://images.app.goo.gl/m6RBp1FjQT6bxmLm9>.

**[20]** Dr.S.Bensaada /cours de corrosion l'auteur

## Les tableaux

**Tableau I.1** : profilés classiques [14]

**Tableau I.2** : Ronds et carrés RND et VKT [14]

**Tableau I.3** : Profilés minces [14]

**Tableau I.4** : Fers marchands [14]

**Tableau I.5** : Tôles nervurées [14]

**Tableau I.6** : caractéristiques mécaniques des aciers pour boulons [5]

**Tableau IV. 1** : Répartition des pressions dynamiques sur les parois [1]

## Les figures

**Figure I.1** : portique [3]

**Figure I.2** : Profilés creux [3]

**Figure I.3** : Four Martin [4]

**Figure I.4** : Coupe d'un haut fourneau [4]

**Figure I.5** : Phase principale du laminage à chaud [4]

**Figure I.6** : Rivet et rivet à anneau [5]

**Figure I.7** : assemblage par boulonnage [15]

**Figure I.8** : assemblage par soudage [16]

**Figure II.1** : Hall métallique en construction [18].

**Figure II.2** : Imperfections géométriques

**Figure II.3** : Contraintes normales résiduelles après laminage dans un HEA200 (Contraintes à la ligne moyenne, rabattues dans le plan de la section).

**Figure II.4** : Imperfections des caractéristiques mécaniques.

**Figure II.5** : Les trois états d'équilibres : (a) stable ; (b) instable ; (c) neutre.

**Figure II.6** : Le phénomène de flambement

**Figure II.7** : Le phénomène de voilement total de l'âme. [8]

**Figure II.8 :** Voilement local de la membrure de l'âme supérieure [8]

**Figure II.9 :** Le phénomène de déversement des poutres

**Figure II.10 :** corrosion des métaux [19]

**Figure II.11 :** le processus de corrosion [20]

**Figure II.12 :** Fonctionnement d'une pile galvanique [12]

**Figure II.13 :** Desserrage de rivet suite à rouille [12]

**Figure II.14 :** Corrosion caverneuse sous un joint [12]

**Figure III.1 :** Catre de Mostaganem avec le zonage des sites

**Figure III.2 :** L'hôpital municipal d'Ain Tadles.

**Figure III.3 :** corrosion L'hôpital d'Ain Tadles.

**Figure III.4 :** assemblage poteau-poutre.

**Figure III.5:** maque de lisses de bardages.

**Figure III.6 :** assemblage poteaux-poteaux.

**Figure III.7 :** Le complexe Berhal à Mostaganem.

**Figure III.8 :** Les diagonales de contreventement horizontal.

**Figure III.9 :** corrosion des boulons d'assemblage.

**Figure III.10 :** trous apparaissant sur la destination.

**Figure III. 11 :** destruction de bâtiments.

**Figure III. 12 :** défaut d'instillation.

**Figure III.13 :** Absence de montage avec vis.

**Figure III. 14 :** Les vis de fixation de la toiture.

**Figure IV. 1 :** Sens de vent sur la structure.