

Introduction Générale

Une construction, qu'elle que soit sa destination (habitation, usage industriel, collectivité, spectacle,...) et son principe constructif (matériau, type de structure) doit être capable de résister aux efforts qui lui sont appliqués durant sa vie. Mais au cours du temps, le matériau de construction subit des altérations et endommagements variées, locales ou globales, chimiques, physiques ou mécaniques qui affaibliront leur résistance. On appelle ce phénomène, en général, le vieillissement.

Dans la charpente métallique, les cas pathologiques sont nombreux et variés dû à la complexité de leur structure. Une structure métallique peut subir des dégradations. Cela est dû 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 aussi l'effet du temps avec la participation d'autres effets rhéologiques tel que la corrosion, fatigue, déformation thermique,...etc. Ces facteurs influencent sur la résistance de la structure métallique et elle va diminuer petit à petit la résistance jusqu'à où les efforts appliqués deviennent plus grands que la résistance et la structure risque de se rompre.

En Algérie, depuis le 19^{ème} 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.

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 Tlemcen et faire une évaluation de l'état de lieux, évaluer leurs états physiques et apprécier la gravité des endommagements constatés.

Nous nous sommes intéressés à 11 ouvrages métalliques de la wilaya de Tlemcen, qui sont :

- 1- Stade colonel AKID LOTFI
- 2- La piscine olympique Ahmed Ghazi
- 3- L'ancien atelier de la Gare d'Agadir
- 4- Cinéma colisé (rebaptisée la salle Djamel Tchanderli)
- 5- salle de sport BENMANSOR Abdellah
- 6- Salle omnisport KARA ZAITRI Réda à Imama
- 7- Société Algérienne du Zinc (ALZINC)
- 8- Ancienne usine de Ghazaouat
- 9- Marché de sidi Djilali
- 10- Station d'essence d'Ouled Mimoun
- 11- Station d'essence de Sebdou

Notre mémoire de fin d'étude, concernant la problématique traitée, se compose des parties suivantes :

Dans le chapitre I, on a défini les pathologies des structures métalliques telle que la corrosion, les déformations, ...

Dans le chapitre II, un relevé pathologique de chaque structure visité dans la région de Tlemcen a été réalisé en récoltant un maximum d'informations.

Dans le chapitre III, la structure métallique de la salle de sport Kara Zaitri Réda à Imama a été étudiée pour vérifier sa stabilité actuelle aux états limites de service.

On finalise notre mémoire avec une conclusion générale.

Chapitre I : 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 reliées 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 [1]. 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 [2]. 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 [3]. Il en résulte que la conception d'une ossature métallique doit viser une définition simultanée des barres et de leurs assemblages.



Figure I. 1 : Hall métallique en construction [2].

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 ;
- la torsion.

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

- la résistance à la « rupture fragile » (résilience) ;
- la fatigue.

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

- les variations de température ;
- les sollicitations dynamiques.

II. Les origines des sinistres d'une structure métallique

II.1. Erreurs matérielles

II.1.1. Au bureau d'études

Ces erreurs sont les erreurs les plus fréquentes. Les erreurs que l'on trouve dans les coupes ou les chiffres sont mal présentés et en ligne les cotes sont mal implantées. Et l'on remarque ces erreurs lors de l'exécution en raison de l'incompatibilité qu'elles entraînent. Ce sont, par exemple, des erreurs d'opération, d'écriture de formules, etc.

Par exemple, sur les valeurs des caractéristiques des matériaux, les hypothèses de site, de charges d'utilisation. Les conséquences des deux derniers types sont souvent plus graves que les erreurs de dessin, car elles peuvent donner l'illusion d'une sécurité qui n'est pas atteinte en réalité (contraintes minimisées...).

II.1.2. À l'atelier

Le choix de qualité ou de nuance des aciers ne correspond pas à des aspects physiques différents **Figure I.2**. Il peut donc se produire des confusions involontaires dans les matériaux utilisés. S'ils ne font pas l'objet d'un marquage ou si les consignes de classement ne sont pas rigoureusement appliquées dans les parcs à matières ou les magasins. Ces erreurs risquent alors de conduire à des diminutions importantes des coefficients de sécurité et par conséquent d'aboutir à des sinistres graves comme elle montre la **figure I.2**.

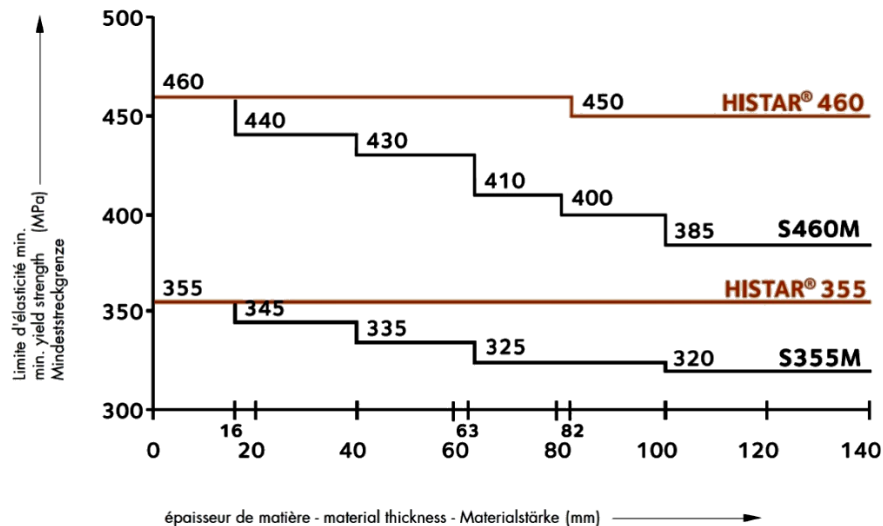


Figure I. 2:La limite d'élasticité en fonction de l'épaisseur de l'acier [4]

II.2. Erreur d'échantillonnage

Ces erreurs sont relativement rares. Elles se produisent principalement lors de l'utilisation de profils creux présentant des variations d'épaisseur pour les mêmes dimensions extérieures[1]. Dans ces cas, Les diminutions des coefficients de sécurité sont plus faibles que dans le cas précédent en raison des faibles variations des caractéristiques dimensionnelles.

II.2.1. Au chantier

L'étude doit prévoir, dans ce cas, des incompatibilités de montage afin d'éliminer ce genre d'erreurs. Ce genre d'erreurs devrait, comme dans le cas précédent, être éliminé par des incompatibilités de montage. Physiquement, un boulon de diamètre 20 mm classe 4.6 et un boulon de diamètre 20 mm classe 6.8 se ressemblent à la différence du marquage de la tête de vis la confusion entre deux classes, pour un même diamètre, peut être dramatique si elle est dans le sens de la diminution de résistance [1]. Cette erreur possible peut être éliminée au niveau des études en ne prévoyant que des diamètres différents par classes utilisées **Figure I.3.**











marquage des têtes										
classes de résistance	3.6	4.6	3.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9
limite élastique R_e N/mm ² ou MPa	180	240	320	300	400	480	640	720	900	1 080
limite à la rupture R_r N/mm ² ou MPa	330	400	420	500	520	600	800	900	1 040	1 220
A%	25	22	14	20	10	8	12	10	9	8

Figure I. 3: classe de qualité des vis [4].

II.3. Causes accidentelles

On peut ranger dans cette catégorie les actions imprévisibles, donc par définition non prévues, pendant la durée de vie de la construction [1].

II.3.2. Actions excessives de type normal

Il s'agit ici d'actions prévues dans l'utilisation de la construction, mais dont l'amplitude dépasse les valeurs pour lesquelles elle a été conçue.

Ce sont par exemple :

- les vitesses de vent dépassant celles du vent exceptionnel prévu par les Règles Neige et Vent
- les charges dont l'intensité dépasse la valeur en service normal ;
- les actions de chocs ; etc [1].

II.3.3. Actions anormales

Le principe même de ces actions n'est pas pris en compte dans la détermination des éléments de la construction puisqu'elles lui imposent des fonctions pour lesquelles elle n'a jamais été prévue.

C'est le cas par exemple :

- des explosions (gaz, bombes, etc.) ;
- des chocs anormaux ;
- d'un incendie (si la tenue au feu n'est pas prévue) ;
- des inondations ;
- d'un séisme (si la protection antisismique n'est pas prévue) ;
- des éruptions volcaniques ;
- des dégâts miniers, etc [1].

II.4. Ignorance

Le défaut de connaissance total ou partiel reste la cause la plus fréquente des désordres. La méconnaissance des effets des actions sur les structures entraîne des conséquences qui peuvent être graves sur leur tenue [1].

II.4.1. Au niveau du projet

Les erreurs dues à l'ignorance au niveau du projet ont des conséquences d'importance variable qui peuvent aller de la simple déformation imprévue au sinistre grave. On peut les classer sous les rubriques suivantes [1].

II.4.1.1. Absence ou insuffisance du cahier des charges

Tout projet devrait être défini par un cahier des charges techniques spécifiant toutes les exigences de chargement, de déformation et d'exécution. Pour les projets relatifs à des constructions courantes, ces cahiers des charges se limitent, en général, à une énumération de règlements à appliquer [1]. Ils sont même parfois inexistant. Il importe au projeteur, avant toute étude, de se faire spécifier, par écrit, l'ensemble des hypothèses à retenir.

II.4.1.2. Méconnaissance des règlements

Les règles déterminant l'action des charges climatiques (RNV 66 et RNV 99) définissent des domaines d'application qu'il y a lieu d'observer sous peine d'erreurs sur le chargement de la structure [1].

II.4.1.3. Méconnaissance des outils informatiques

Un logiciel de calcul est un outil d'utilisation souvent délicate. Il faut apprendre à le connaître et à l'utiliser. Les résultats obtenus doivent absolument être contrôlés par des méthodes de comparaison globale. Les limites d'utilisation doivent être respectées [1]. Une erreur dans un jeu de données peut entacher les résultats et avoir de graves conséquences.

La modification éventuelle d'un logiciel doit être sévèrement contrôlée et testée.

II.4.1.4. Erreurs sur les actions

Elles sont dues à une interprétation erronée des effets de celles-ci, à une prise en compte d'hypothèses, de charges et de leur mode d'action ne correspondant pas à la réalité. On peut rattacher à ce type d'erreur l'oubli de prise en compte de modifications intervenues au cours de l'étude [1].

II.4.2. Au niveau de l'exécution

Les causes de désordres, à ce point de vue, peuvent se ramener à deux types :

- l'existence de vices cachés dans les matériaux ;
- les conséquences imprévues de la mise en œuvre des matériaux, par exemple le chauffage en cours de soudage qui modifie la texture, donc les caractéristiques de l'acier, l'effet d'entaille de certains outils qui réduit la résistance des pièces, etc[1].

II.4.3. Au niveau du montage

II.4.3.1. Manque de coordination entre les intervenants

Cette cause de désordres est fréquente, c'est le cas en particulier du manque de liaison entre le charpentier et le maçon qui a exécuté les soubassements. Le premier, arguant de son incompetence, rejette sur le second la responsabilité de l'implantation des appuis ; le second profite de son ignorance pour déclinier toute responsabilité sur les erreurs d'implantation [1].

Avant d'accepter de prendre en charge un chantier, le charpentier doit donc vérifier par lui-même l'implantation des appuis ou ancrages mis en place par le maçon. Cette réception accomplie, la responsabilité du positionnement passe du maçon au charpentier.

II.4.3.2. Méconnaissance de la mise en œuvre

En principe, la mise en œuvre ne devrait pas être la source de désordres, le personnel d'encadrement du chantier devant posséder la compétence requise. Pourtant la négligence est à l'origine de bien des sinistres, par exemple de l'inobservation des consignes propres à un matériau à l'impossibilité d'exécuter des opérations dans certaines conditions météorologiques (soudage), etc[1].

II.4.4. Erreurs de conception ou d'études

II.4.4.1. Poutres à treillis

II.4.4.1.1. Absence de triangulation

Les calculs théoriques peuvent conduire à définir un effort tranchant nul dans les panneaux de poutre à treillis **Figure I.4**. La suppression de la triangulation dans ces panneaux crée un risque grave si un effort parasite secondaire apparaît ou si le chargement n'est pas parfaitement symétrique [1].

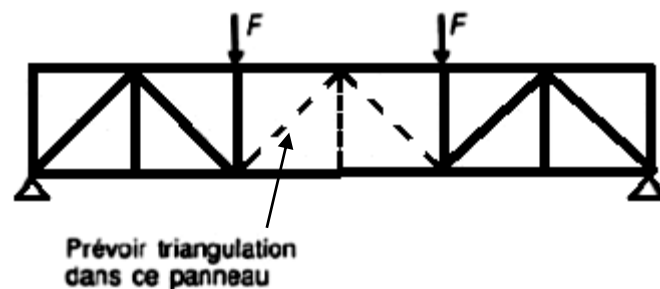


Figure I. 4: Poutre à treillis [1].

II.4.4.1.2. Flambement de barres d'attachée

Le flambement des barres comprimées des constructions à treillis doit être étudié avec le plus grand soin aussi bien dans le plan de la poutre que dans le plan perpendiculaire. Les réductions de longueur de flambement pour tenir compte des encastrements partiels éventuels dus à la réalisation des attaches doivent être utilisées avec la plus grande prudence.

II.4.4.1.3. voilement de goussets

Les goussets assemblant des barres comprimées doivent être étudiés au flambement. Les flambements de goussets de l'attache de poinçon de ferme sont des cas fréquents de sinistre sous charges verticales.

Le remède à ce risque de flambement consiste à réduire le plus possible l'écart entre les extrémités des arbalétriers et à raidir transversalement l'assemblage par un couvre joint (cornières de doublage pliées ou soudées) [1].

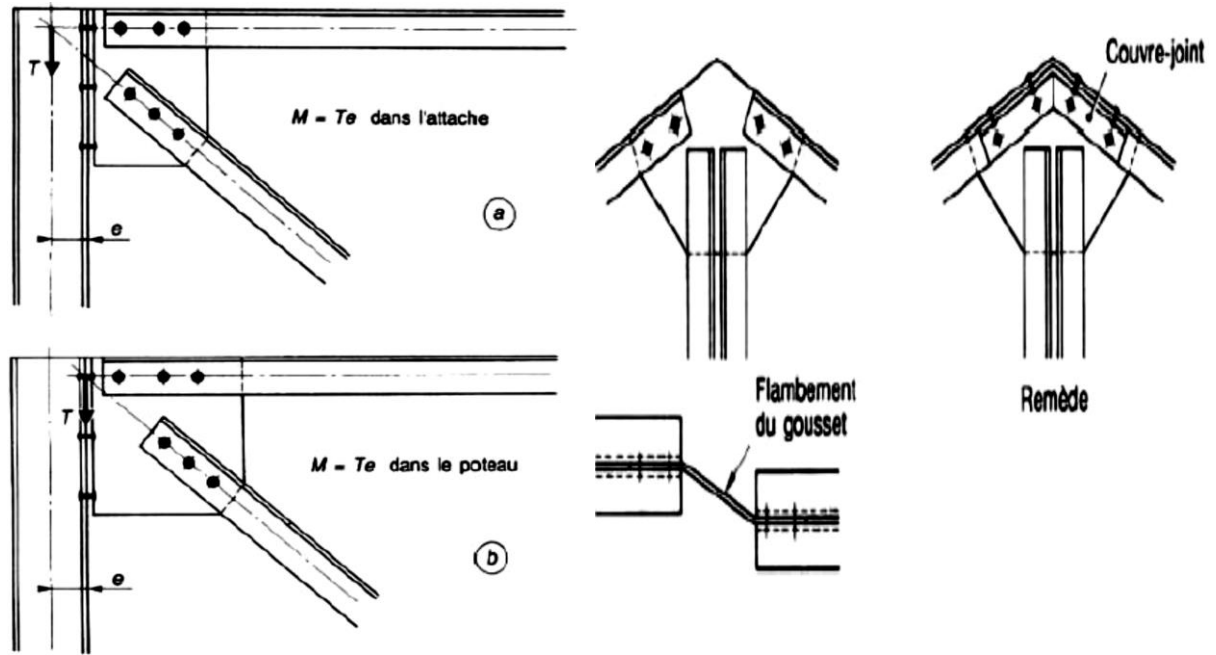


Figure I. 5: Flambement de goussets [1].

II.4.4.1.4. 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 [5]. 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.

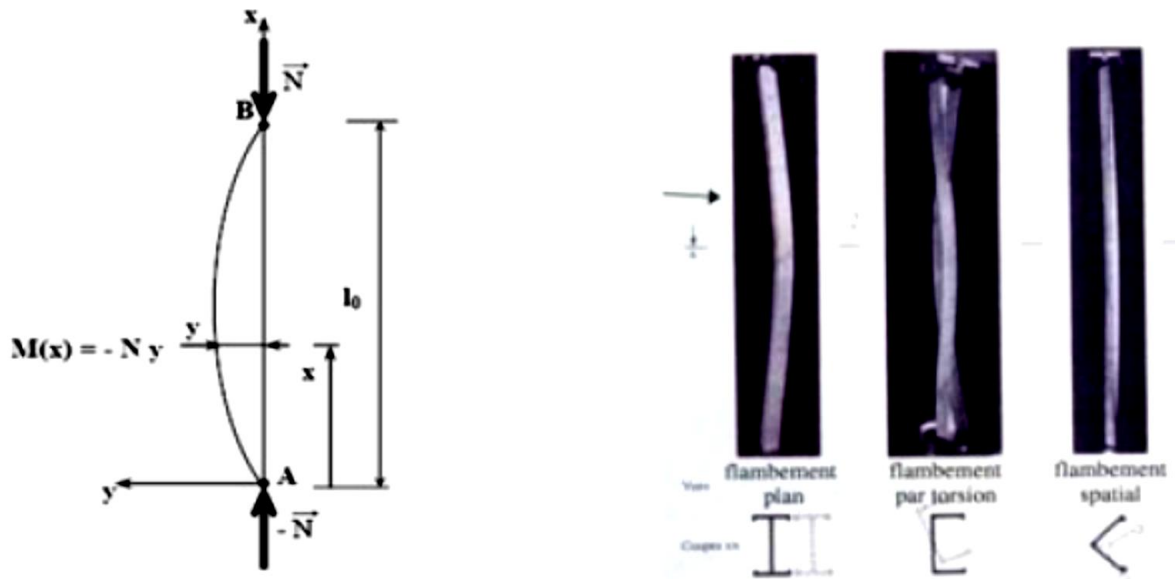


Figure I. 6 : Phénomène de flambement[5].

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 [3].

II.4.4.1.5. 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 opportuns 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 [2].

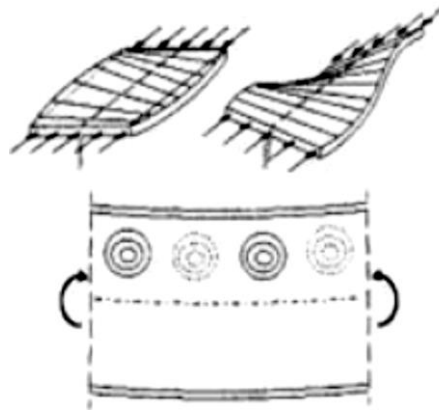


Figure I. 7: Phénomène de voilement [6].

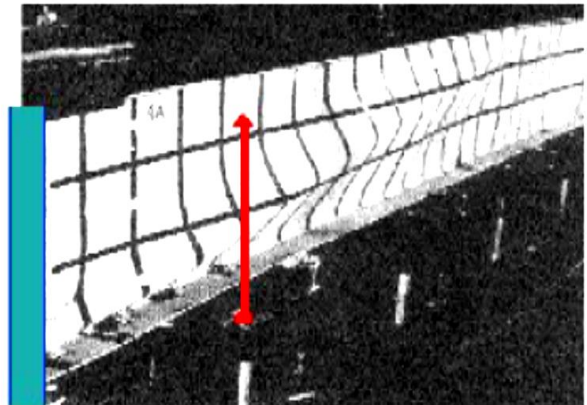


Figure I. 8: Phénomène de voilement total de l'âme [6].



Figure I. 9: Voilement local de la membrure de l'âme supérieure[6].

II.4.4.1.6. 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 I. 10: Phénomène de déversement des poutres[6].

II.4.4.2. Défauts des soudures

Les défauts métallurgiques de soudage sont :

II.4.4.2.1 Fissuration à chaud

La fissuration à chaud est causée par l'action des contraintes de retrait lorsque le métal est encore très chaud après le soudage et que sa ductilité est insuffisante.

Elle apparaît donc sans délai et se manifeste sous forme de fissures longitudinales, localisées le plus souvent dans la partie centrale de la zone de métal fondu. Pour l'éviter : composition chimique du métal fondu (mélange de métal de base et de métal d'apport) : les teneurs en soufre et en phosphore doivent être suffisamment faibles, la largeur du cordon doit être suffisante par rapport à sa profondeur (rapport recommandé usuellement supérieur à 0,7) [8].

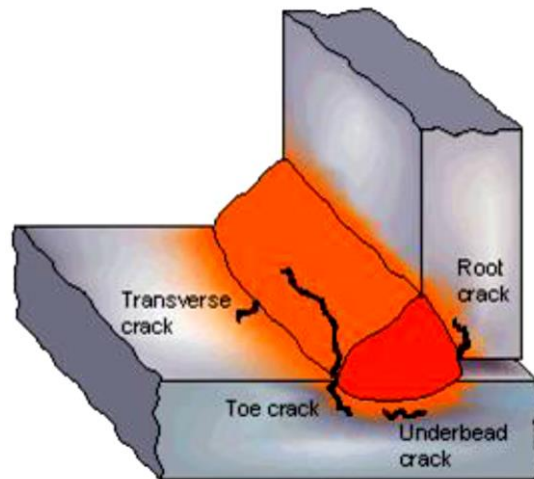


Figure I. 11: Fissuration à chaud [8].

II.4.4.2 Arrachement lamellaire

L'arrachement lamellaire est une décohésion qui se produit parallèlement au plan de laminage d'un produit, au droit d'un assemblage soudé sollicitant le produit en traction perpendiculairement à sa surface. Elles peuvent demeurer entièrement sous la surface, ce qui les rend impossibles à détecter par inspection visuelle, ou bien émerger en pied de cordon [8].

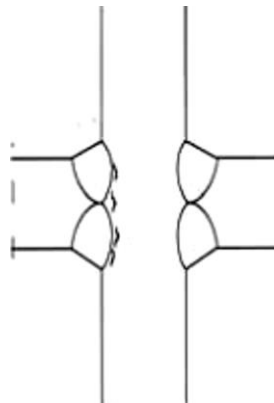


Figure I. 12: Arrachement lamellaire [1].

II.4.4.3. Fissuration à froid

La fissuration à froid, ou fissuration différée, est l'incident le plus redouté parmi ceux liés à un défaut de soudabilité. Elle se produit sous les cordons de soudure, dans les zones affectées thermiquement. Son mécanisme résulte de l'action de l'hydrogène sur une microstructure métallographique fragile soumise à des contraintes.

Cet hydrogène provient de la décomposition, dans l'arc électrique, de l'humidité contenue dans les enrobages et dans les flux (eau résiduelle de fabrication,...) [8].

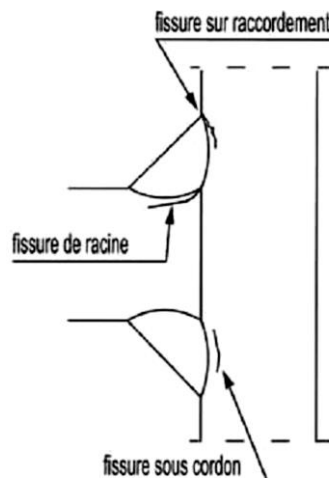


Figure I. 13: Fissuration à froid [8].

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.

Origine des désordres :

❖ causes dues à l'exécutant :

- qualification insuffisante,
- mauvaises conditions d'exécution (position incorrecte de l'assemblage, mauvais accostage des pièces, ambiance anormale, intempéries...),
- baguettes inadaptées ;

❖ causes dues à l'assemblage lui-même. Elles résultent, en général, d'une mauvaise conception de l'assemblage qui entraîne :

- la difficulté de l'exécution : inaccessibilité, continuité de cordon impossible,
- le travail de cordons dans de mauvaises conditions (une amorce de fissure due à l'exécution peut être cause de rupture sous une sollicitation de traction) [8].

II.4.4.3. Défaut de boulonnages

En réalité, le comportement de ces assemblages est difficile à garantir. Il est influencé en particulier par les défauts de contact des platines et par les déformations des platines en flexion sous l'action des charges **Figure I.14** [1]. Ces facteurs peuvent amplifier les problèmes de la fatigue, des pertes de précontrainte et de la corrosion.

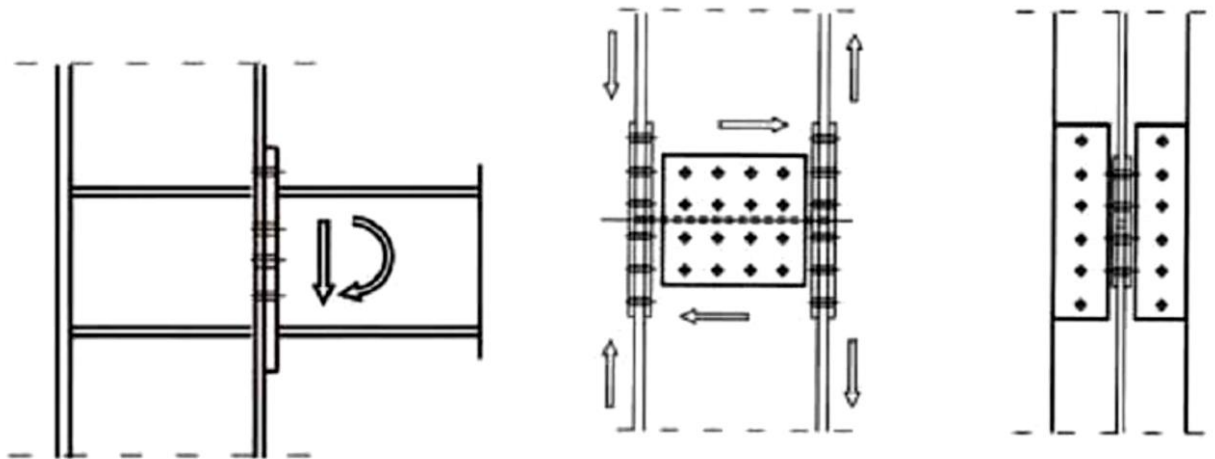


Figure I. 14: Efforts qui exercent dans un assemblage [8]

Les principales pathologies des assemblages boulonnés sont :

- Les défauts de pose : principalement liés au mauvais dimensionnement et choix des boulons: longueur de tige insuffisante, no respect des conditions de pose.
- La corrosion peut prendre plusieurs aspects, d'abord enrrouillement de surface par défaut de protection anticorrosion pouvant aller jusqu'à la dégradation des boulons. La corrosion entre pièces peut entraîner des efforts de traction sous tête excessif.
- La déconsolidation de boulons ordinaires par suite de serrage insuffisant et/ou de sollicitations répétées excessives se manifeste par le desserrage de boulons qui se propage à l'ensemble des boulons de l'assemblage et engendre le mouvement relatif des pièces et par suite le mauvais transfert des efforts.

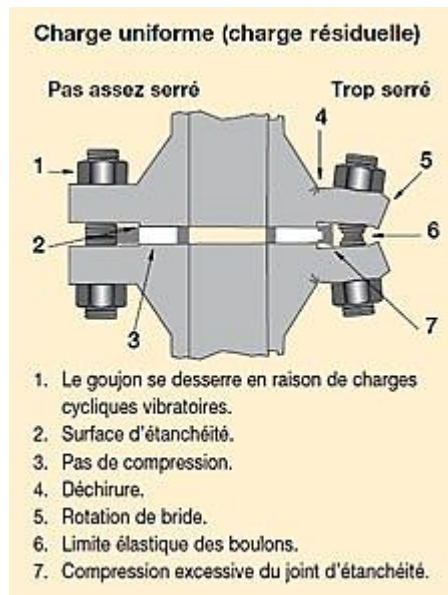


Figure I. 15 : Différence entre un boulon pas assez serré et trop serré [7].

Le glissement des pièces par suite de dépassement de la résistance de l'assemblage sur un assemblage précontraint peut intervenir en conditions extrêmes. L'assemblage est non réparable partiellement, la reprise de l'ensemble (en l'absence de désordres autres) sera nécessaire par remplacement des couvre joints, l'élimination de l'ovalisation des perçages des tôles à rabouter et l'utilisation de boulons de diamètre supérieur [8].

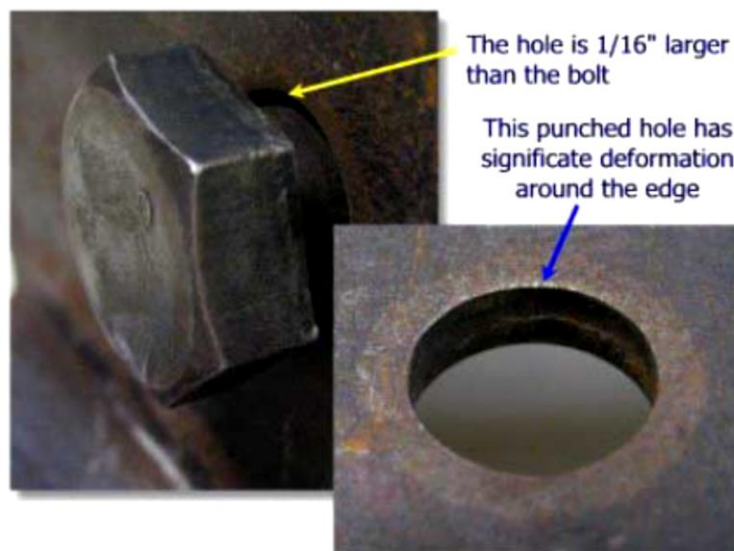


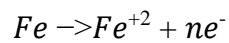
Figure I. 16 : Ovalisation du trou lors du glissement de la pièce

III. corrosion

III.1. Définition

La corrosion est une 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.

L'acier est un alliage métallique constitué principalement de fer et de carbone (entre 0,02 et 2% en masse). La corrosion de l'acier désigne communément l'oxydation du fer métallique au degré 0 d'oxydation par l'environnement. Les oxydants de l'environnement sont entre autre le dioxygène de l'air, l'eau et d'autres acides présents selon le degré de pollution[4].



Ce phénomène est influencé par de nombreux facteurs cinétiques tels que l'humidité, la température de la pièce métallique ou l'acidité du milieu.

III.2 Développement du mécanisme

Le phénomène de la corrosion est connu depuis bien longtemps, et celui-ci n'est pas soumis à un seul mécanisme simple. On peut en effet établir une typologie des développements de la corrosion (**Tableau I. 1**) [4].


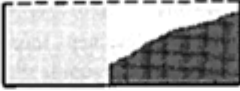
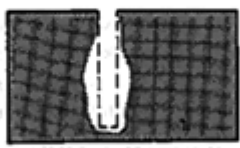

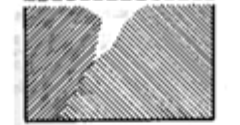
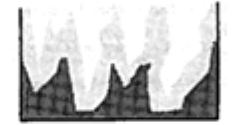
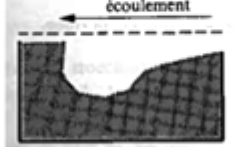
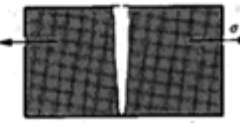
Corrosion	Schéma	Origine
uniforme		La corrosion se propage uniformément sur toute la surface en contact avec l'environnement.
galvanique		Deux éléments aux propriétés électrochimiques différentes sont en contact. Seul l'un des deux est corrodé, l'autre ne l'est pas du tout.
caverneuse		La corrosion s'effectue de façon privilégiée au niveau d'une enclave, d'une irrégularité ou d'un trou dans le matériau. Cela est dû à la différence de potentiel électrochimique de l'environnement entre la surface pleine et la surface de l'irrégularité. Par exemple dans le cas de la corrosion de l'acier, c'est la différence de concentration en oxygène à la surface et dans la caverne qui est à l'origine d'une différence de potentiel électrochimique, et donc de cette corrosion différentielle.
par piqûres		La corrosion par piqûre est issue du même phénomène que la corrosion caverneuse. La piqûre est initiée à partir d'un défaut dans la surface initialement lisse.
inter granulaire		La corrosion se développe entre deux grains constituant le matériau. Par exemple entre deux grains de cristal métallique d'orientation différente.
sélective		La corrosion ne s'effectue pas de façon uniforme, même si toute la surface du matériau est attaquée par la corrosion, et nous pouvons observer le développement simultané de piqûres.
Corrosion-érosion		Cette corrosion se développe lorsque le matériau est exposé à un écoulement, continu ou non, qui va favoriser son développement à certains endroits de la surface.
sous contrainte		Cette corrosion se développe dans un matériau contraint, tels que par exemple un élément métallique porteur dans une structure du génie civil.

Tableau I. 1 : Typologie des développements de la corrosion [4].

III.3. Corrosion de l'acier

Le fer métallique FeO (pour degré d'oxydation zéro) possède deux degrés d'oxydation (**Figure I.17**):

- Fe II, avec la formation d'ions ferreux Fe^{2+} , à partir du FeO
- Fe III, avec la formation d'ions ferriques Fe^{3+} à partir du Fe^{2+}

E° (V)	
Oxydant	Réducteur
Au^{3+}	Au +1,52
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+$	$2\text{H}_2\text{O}$ +1,23
Fe^{3+}	Fe^{2+} +0,77
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	4OH^- +0,40
2H^+	H_2 0
Fe^{2+}	Fe -0,44
Zn^{2+}	Zn -0,76

Figure I. 17:Potentiel standard de quelques couples oxydo-réducteurs qui nous intéressent dans cette étude [4]

Comme il a été dit plus haut, la cinétique de la réaction d'oxydation dépend des conditions du milieu. Il est bon également d'avoir à l'esprit que la thermodynamique de la réaction dépend aussi des conditions du milieu telles que l'acidité, ou le potentiel électrochimique. C'est à dire que ces réactions d'oxydation du fer ne peuvent pas se faire du point de vue thermodynamique. On peut définir alors des domaines de validité de réaction, et cela se retrouve par exemple avec le diagramme de Pourbaix (**Figure I.18**). On peut ainsi dire qu'un milieu acide, et dont le potentiel électrochimique est élevé (supérieur à -0,5V) favorise l'oxydation du fer

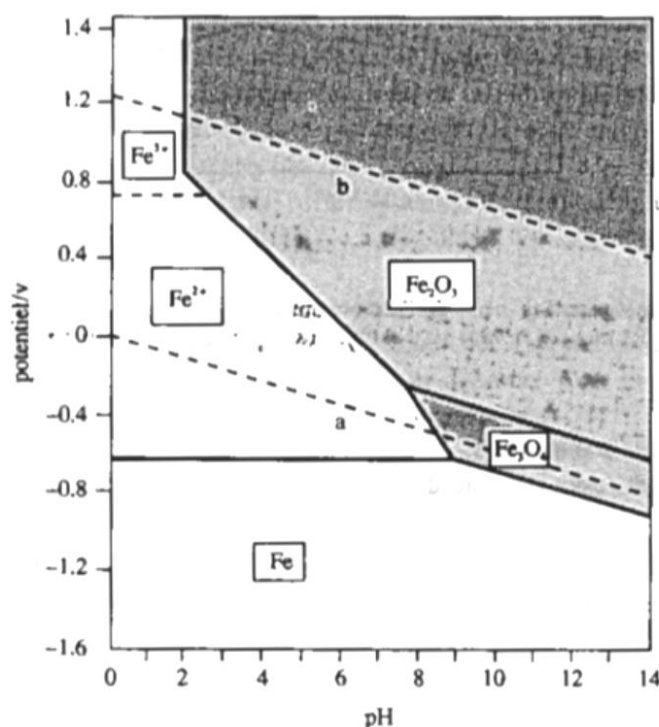


Figure I. 18: Diagramme potentiel-pH (diagramme de Pourbaix) du fer[4].

On peut à cette occasion définir les trois produits principaux de la corrosion du fer présent dans l'acier :

- Formation d'oxyde Ferreux (FeO)
- Formation d'oxyde Ferrique (Fe_2O_3)
- Formation d'oxyde magnétique (Fe_3O_4)

D'une manière général le produit de corrosion du fer est appelé rouille. Il est de couleur brun-rouge et donne à la surface une texture irrégulière.

III.4. Protection anticorrosion

De la même manière qu'il n'existe pas un seul mécanisme de corrosion, il n'y a pas une solution unique proposée pour lutter contre celle-ci. Le but de cette partie est dans un premier temps de faire une revue des protections possibles en proposant une typologie, pour ensuite présenter plus en détail le type de protection qui nous intéresse : la protection par revêtement de zinc.

Catégories de corrosivité	Exemples d'environnement	
	Extérieur	Intérieur
C1 Très faible		Bâtiments chauffés avec une atmosphère propre – Halles de fabrication – Halles de stockage chauffées – Bureaux, écoles, magasins – Expositions, hôtels
C2 Faible	Atmosphères avec un faible niveau de pollution (zones rurales) – Avant-toits – Halles ouvertes	Bâtiments non chauffés avec des risques de condensation – Entrepôts – Salles de sport
C3 Moyenne (en cas de doutes: conseils par un spécialiste)	Atmosphères avec un niveau moyen de pollution (zones urbaines) – Zones industrielles – Ponts	Espaces de production avec une forte humidité et une pollution de l'air faible – Industrie alimentaire – Laiteries, brasseries – Blanchisseries – Stades de glace
C4 Élevée (conseils par un spécialiste)	Atmosphères avec de forts risques de pollution – Ponts soumis aux sels de déverglaçage – Ponts sur les cours d'eau – Installations de filtrage – Façades ventilées proche de routes principales – Régions côtières	Bâtiments ou zones avec une forte humidité et/ou une pollution de l'air élevée – Usines chimiques – Piscines – Fromageries – Usines d'incinération
C5-I (Industrie) Très élevée (conseils par un spécialiste)	Zones industrielles avec une humidité élevée et une atmosphère agressive	Bâtiments ou zones avec une condensation permanente et avec une pollution de l'air élevée – Installations de galvanisation et de décapage

Tableau I. 2 : Classe d'exposition et exemples correspondant, d'après [9].

IV. Typologie des protections et procédés

La corrosion étant un phénomène lié à l'environnement, toutes les protections vont d'une manière ou d'un autre obéir au même principe et chercher :

- soit à isoler l'acier de son environnement agressif
- soit à imposer un environnement qui va limiter ou empêcher l'oxydation du fer [4].

IV.1 Enrobage dans du béton

Cette protection est utilisée pour limiter la corrosion des barres d'armature dans le béton armé. Le béton forme une barrière limitant l'exposition à l'eau, l'oxygène, la pollution acide et aux sels de déverglaçage.

L'acier est ainsi isolé de l'environnement agressif, dans la limite de la porosité du béton qui à long terme laisse pénétrer les agents oxydants.

De plus le milieu alcalin du béton favorise la précipitation de la couche de passivation en imposant un pH élevé. La couche de passivation est une couche d'oxyde de fer précipité qui est stable en milieu basique ($\text{pH} > 12$), et imperméable. Elle forme ainsi une barrière supplémentaire entre le fer métallique et l'environnement oxydant [4].

IV.2. Coating

Le coating consiste en l'isolation de l'acier par couverture de la surface avec un autre matériau ne réagissant pas à l'environnement. On peut par exemple penser à l'utilisation d'un métal plus noble ou d'un film organique. Cette technique n'étant pas utilisée dans l'industrie de la construction, nous n'irons pas plus loin dans sa description [4].

IV.3 Peinture

La peinture est une technique de protection de surface utilisée depuis très longtemps. Son principe est similaire au coating (on peut même indiquer que la peinture peut être rangée dans la catégorie des coating) en reposant sur l'isolation de l'acier de son environnement agressif. La constitution de la peinture peut varier selon l'objectif recherché, et l'obtention d'une épaisseur suffisante de peinture est souvent obtenue par l'application de plusieurs couches successives. Un système de protection efficace comprend en effet en général une couche de fond, une couche intermédiaire et une couche de finition [4].

Une peinture est un matériau liquide, que l'on applique sur une surface et qui dans les conditions de l'environnement sèche et se solidifie, conférant à la surface sur laquelle on l'applique une valeur ajoutée (esthétique, durabilité, propriété isolante ou conductrice entre autre).

L'avantage de cette méthode est sa grande adaptabilité, on peut en effet l'appliquer en atelier ou sur place, sur une structure existante, même si celle-ci est difficile d'accès.

Chapitre II Relevées pathologique – cas des constructions en acier de la région de TLEMSEN

I. Introduction

En 1779, la première structure métallique est un pont construit en Angleterre. Dans la période coloniale, l'état français a ramené ce type de constructions en Algérie, tel que l'atelier ferroviaire Agadir qui est construite par l'ingénieur Armand Moisant (1892) (**Figure II.17 Figure II.18**).

Le travail de recherche concernant les constructions métalliques dans la région de Tlemcen a commencé par la reconnaissance et l'identification de celle des plus importants.

Pour cela, il y a une recherche des données et des informations la plus complète concernant ces ouvrages, ainsi que des relevés géométriques et pathologiques en plus des informations historiques et architecturales les concernant.

Quoi que l'accès pour analyser ces ouvrages et bâtiments était facile et même les personnes qui travaillent nous ont aidé, la récolte des archives auprès des maîtres de l'ouvrage et du Contrôle Technique de la Construction CTC et les APC était impossible, puisqu'ils étaient inaccessibles ou inexistant. Nous avons réussi à trouver seulement les plans de la Salle omnisport Kara Zaitri Réda à Imama au niveau des archives du CTC.

Dans la carte (**Figure II.1**) est mentionné les différents ouvrages étudiés et traités situés dans la région de Tlemcen.

Les bâtiments et les ouvrages concernées par notre étude (**Figure II.1**) sont :

- 1- Stade AKID LOTFI
- 2- La piscine olympique Ahmed Ghazi
- 3- L'ancien atelier de la Gare d'Agadir
- 4- Cinéma colisé (rebaptisée la salle Djamel Tchanderli)
- 5- salle de sport BENMANSOR Abdellah
- 6- Salle omnisport KARA ZAITRI Réda a Imama
- 7- Société Algérienne du Zinc (ALZINC)
- 8- Ancienne usine de Ghazaouat

9- Marché de sidi Djilali

10- Station d'essence d'Ouled Mimoun

11- Station d'essence de,Sebdou

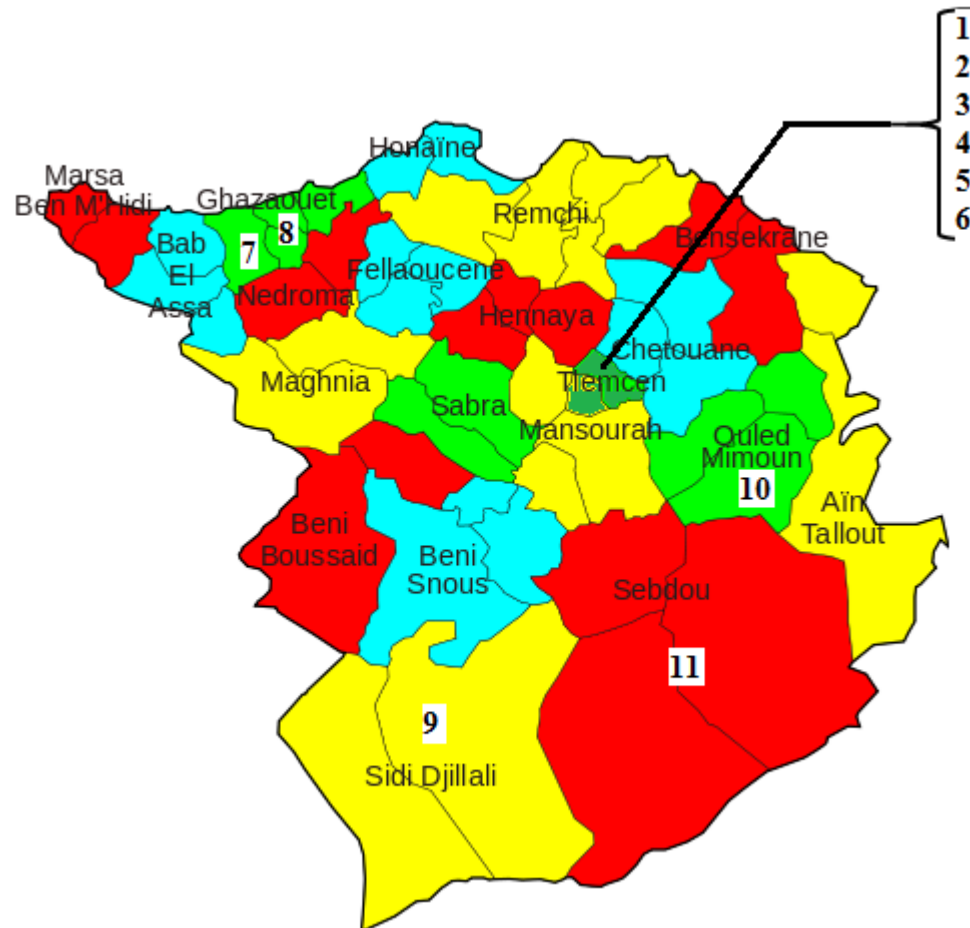


Figure II. 1 : Catre de Tlemcen avec le zonage des sites

II. Diagnostic et étude des ouvrages métalliques de la région de Tlemcen

Les ouvrages étudiés ont été traitées de la même manière : description de l'ouvrage et relevé pathologique en exposant un maximum d'informations recueillies.

II.1. Stade AKID LOTFI



Figure II. 2 : Charpente métallique de la tribune du stade Akid Lotfi

II.1.2. Description de l'ouvrage

Le stade Akid Lotfi est un stade de football situé dans le quartier Birouana à l'Est de la ville de Tlemcen. D'une capacité de 30 000 places, il a été inauguré en 1976 et accueille depuis la saison 1976-1977 toutes les rencontres du WA Tlemcen de football. La tribune est construite en charpente métallique avec un système en treillis, des poutres posées sur deux poteaux (un est droit et l'autre est incliné). Ce portique est répété 15 fois et reliés avec des contreventements en X protégés par une couverture en TN40 (**Figure III.2 et III.3**).

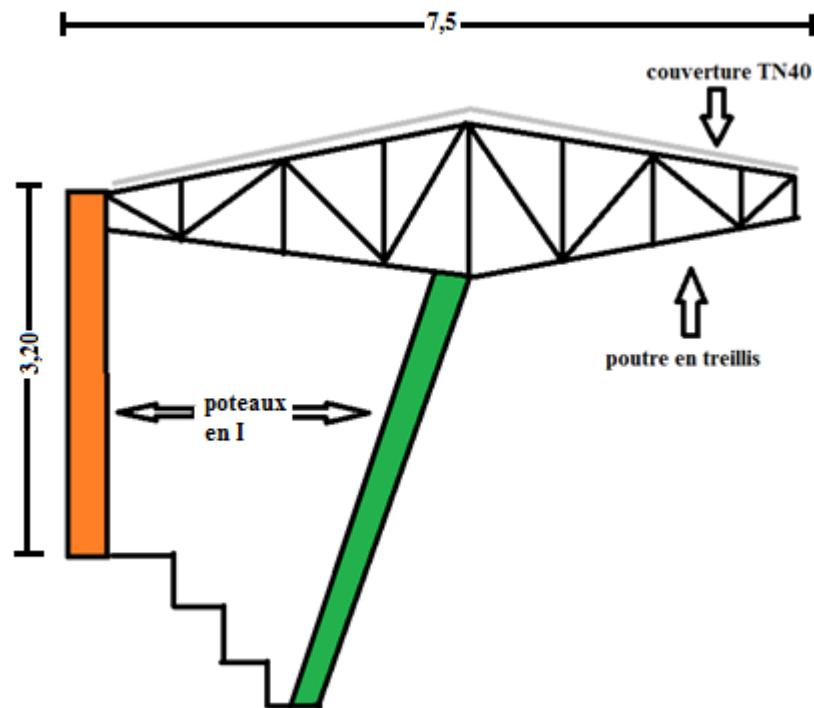


Figure II. 3: Schéma explicatif du portique de tribune

II.1.3 Pathologie de la structure

Les pathologies constatées au niveau du stade Akid Lotfi sont :

- Erreur de construction on remarque que des raidisseurs troués mais les boulons n'existent pas (**Figure II.4**)



Figure II. 4: Raidisseur au niveau du poteau

- L'assemblage poteau-poutre avec platine d'about est en plus soudé (**Figure II.5**)
- l'assemblage poteau-poteau avec couvre-joint en plus soudé (**Figure II.6**).



Figure II. 5: Assemblage poteau-poutre



Figure II. 6: Assemblage poteau-poteau

- Fuite et écoulement d'eau au niveau de l'assemblage poteau-poutre à cause d'une mauvaise étanchéité entre le chéneau et la toiture entraînant de la corrosion (**Figure II.7**).



Figure II. 7: Ecoulement d'eau sur l'assemblage

- Début de corrosion au niveau des boulons de contreventement malgré la peinture récente de ce système (**Figure II.8**).



Figure II. 8: Corrosion sur les boulons du contreventement horizontal

- Les diagonales des contreventements sont en forme T mais chaque diagonal et différent de l'autre (**Figure II.9**).



Figure II. 9: Les diagonales de contreventement horizontal

- Des altérations et une corrosion entre le chéneau et la toiture. Cela confirme qu'il y a un passage d'eau entre eux.



Figure II. 10: Chéneau métallique

II.2 La piscine olympique "Ahmed Ghazi" Tlemcen

II.2.1 Description de l'ouvrage

Elle a été inaugurée en 2003 après 8 ans de construction (1995-2003). Situé au centre-ville de Tlemcen à Imama, la piscine est composée d'une structure métallique et une annexe en béton armée au sud de la structure. Elle appartient à la direction des jeunes et des sports DJS. Le nombre de places pour les spectateurs est de 530 places. La piscine appartient au club WA Tlemcen.

La piscine contient deux bassins avec différentes profondeurs : le bassin de 0,5 mètre de profondeur pour les petites enfants et l'autre bassin qui répond aux normes de la FINA avec 2 mètre de profondeurs et 50 mètre de longueur et de 25 mètre de largeur. Ce bassin est utilisé pour les entraînements des athlètes et pour les compétitions et les tournois nationaux.



Figure II. 11: Vue à l'intérieur de la piscine

II.2.2 Relevé pathologique

Les pathologies relevées dans la piscine sont :

- La corrosion des éléments métalliques et des boulons d'assemblages (**Figure II.12** et **Figure II.13**) à cause de la vapeur d'eau et l'humidité venant de l'eau de la piscine qui contient du chlore et aussi parce que le système d'aération ne fonctionne pas.



Figure II. 12: Corrosion sur les éléments métallique de la toiture



Figure II. 13: Corrosion des boulons d'assemblages

- Une rugosité de la surface sur les éléments métallique parce que ils ont fait un mauvais brossage et nettoyage avant le revêtement de peinture (**Figure II.14**).



Figure II. 14: Rugosité d'élément de la toiture

II.3. Ancienne usine de Ghazaouat

II.3.1. Description de l'ouvrage

C'est une ancienne usine de poisson construite dans la période coloniale pour la production de sardines et anchois. Le structure de l'usine est en acier et se compose de 7 portiques avec des poutres en treillis et l'assemblage et riveté. Le bardage entre les poteaux est en maçonnerie et la toiture est en tuiles posés sur des pannes en bois.



Figure II. 15 : Vue de l'extérieure du marché

II.3.2. Relevée pathologique

Les pathologies relevées dans l'usine sont :

- Corrosion des poteaux parce que la région est située au bord de la mer et le taux de l'humidité est élevé (**Figure II.16**).



Figure II. 16 : Corrosion de poteaux métallique

- Décollage du raidisseur de poteau et la disparition de la soudure entre eux à cause de la corrosion profonde (**Figure II.17**).

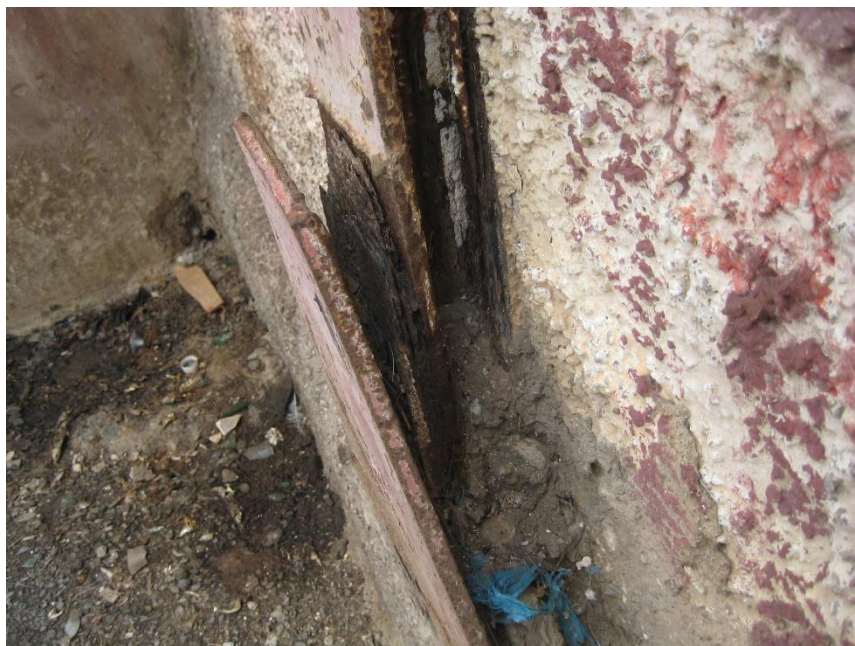


Figure II. 17 : Décollage du raidisseur

- Élément inférieur de la poutre est trop corrodé que les autres éléments. On remarque une altération de l'acier en couleur verte à cause du taux d'oxydation de l'acier qui est élevé. (**Figure II.18**).



Figure II. 18: Eléments inférieurs de la poutre en corrosion

- Corrosion du poteau à l'intérieur à cause de l'humidité. Le béton est un matériau poreux qui alimente et accélère la corrosion (**Figure II.19**).



Figure II. 19: Corrosion du poteau d'intérieur.

II.4. Société Algérienne du Zinc (ALZINC)

II.4.1. Description de l'ouvrage

L'usine fut fondée en 1969 avec la coopération de la société Belge 'Vieille Montagne'. Elle est entrée en production à partir de 1974 sous le nom de la société SNS (société nationale de sidérurgie) et a connu de nombreux problèmes pour l'approvisionnement en eau industrielle particulier et l'acheminement du minerai et des produits élaborés.

Actuellement, la société Algérienne de zinc, par abréviation ALZINC, est une filiale de METANOF, rattachée à la SGP TRANSOLB créé le 01 janvier 1998. La société ALZINC a pour objet, conformément à ses statuts, la production et la commercialisation du zinc et de ses alliages (Zamac, pastilles de zinc...), de l'acide sulfurique et du cuivre cathodique.

Située sur la rive ouest de la ville de Ghazaouet, elle est étalée sur une superficie de 14 hectares et elle est actuellement le centre d'activité industrielle le plus important de la région en étant l'unique producteur du zinc électrolytique au monde arabe et le deuxième en Afrique après l'Afrique du sud.

Le site fut choisi en raison de sa proximité de la mine d'EL ABED d'une part, de la liaison portuaire à proximité de la mer méditerranée et du réseau ferroviaire. D'autre part La capacité de production atteint 36 850 tonnes de zinc par An. L'usine ALZINC reçoit annuellement plus de 80 000 tonnes de minerais concentré.



Figure II. 20 : Plan général de la société ALZINC

II.4.2. Relevée pathologique de l'usine

Les pathologies relevées dans l'usine sont :

- L'usine est complètement endommagée par la corrosion sur toute les éléments puisqu'il y a absence totale de l'entretien (**Figure II.21**).



Figure II. 21 : Les attaques de la corrosion sur les éléments porteuses

- L'électrolyse du zinc au niveau de l'usine (Figure II.22) permet la corrosion rapide des éléments en acier parce que le processus de l'électrolyse libéré de l'acide sulfurique (aqueux + gaz) en vapeur comme montre la formule suivante :

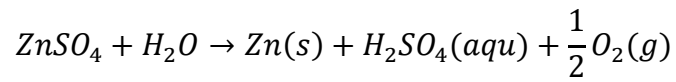


Figure II. 22 : Chambre de l'électrolyse du zinc



Figure II. 23 : Corrosion des éléments due à l'électrolyse du zinc

- La disparition (**Figure II.25**) et la déformation (**Figure II.24**) des éléments structuraux mais comme la structure est surdimensionnée, elle permet encore la stabilité apparente de la structure.



Figure II. 24 : Déformation du contreventement



Figure II. 25 : Disparition du contreventement

II.5. Marché de sidi Djilali

II.5.1. Description de l'ouvrage

C'est un ancien marché de légumes construit par une entreprise étrangère. Il est constitué d'un hall métallique à double versant et constitué de 6 portiques. Avec des poutres en treillis supportant la toiture. Transversalement, on a 4 versants, donc 2 nefs. Les poteaux sont en forme de caisse. L'entreprise a utilisé des poutres alvéolaires à ouvertures hexagonales entre les deux versants et un bardage supérieur en TN40. Les murs sont en maçonnerie (**Figure II.26**).



Figure II. 26 : Vue intérieur et extérieur du marché

II.5.2. Relevée pathologique

Les pathologies relevées dans le marché sont :

- Maque de lisses de bardage avec des fixations aléatoires au niveau des potelets de la poutre (**Figure II.27**).



Figure II. 27 : Maque de lisses de bardage.

- L'évacuation de l'eau pluviale est incorrecte. Elle a un effet sur les murs et les fondations (**Figure II.28**).



Figure II. 28 : Manière de débarrassement de l'eau pluvial.

- Disparition du bardage latéral (**Figure II.29**). Le bardage latéral n'arrive pas à la toiture d'où un manque. (**Figure II.30**).



Figure II. 29 : Disparition du bardage latéral



Figure II. 30 : Manque de bardage latéral

- Mauvaise étanchéité de chéneau qui se trouve entre les deux versants de la structure qui aboutit à une corrosion d'acier du poteau (**Figure II.31**).



Figure II. 31 : Mauvaise étanchéité du chéneau

- Corrosion du raidisseur de poteau dû à l'influence des fuites d'eau pluviale venant du chéneau défectueux (**Figure II.32**).



Figure II. 32 : Corrosion du raidisseur de poteau

- Une ouverture au niveau de la clé de faitage (**Figure II.33**) et un décollement du bardage de la toiture dû à une mauvaise fixation (**Figure II.34**).

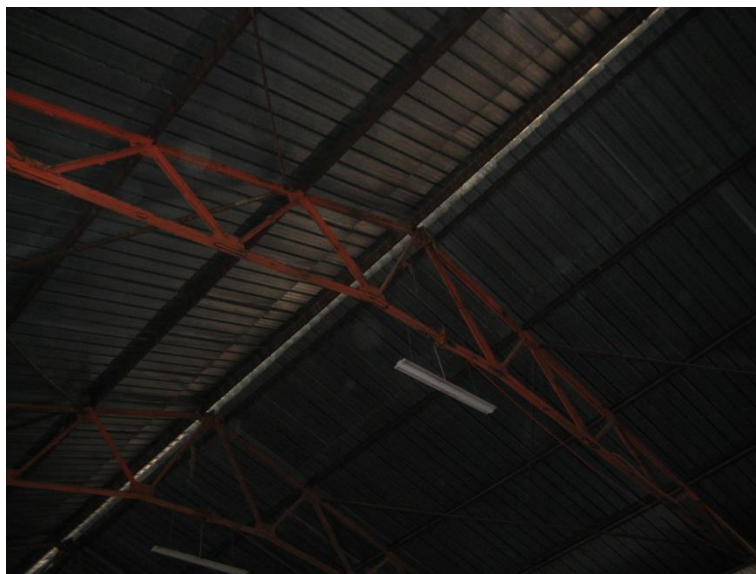


Figure II. 33 : Orifice de la clé de faitage



Figure II. 34 : Décollement de bardage de la toiture.

II.6. Cinéma Colisé (la salleDjamel Tchanderli)

II.6.1. Description de l'ouvrage

Ouvert en 1936, le Colisée avait vu le passage de grands chanteurs et chanteuses tel que Dalida et de Charles Aznavour. Après l'indépendance, cette salle obscure sera gérée par la municipalité de Tlemcen et ils ont changé le nom de la salle « El-Djamel » avant d'être livrée à son triste sort, c'est-à-dire à l'abandon durant deux décennies, marquées par des actes de déprédation couronnée par un incendie criminel dans la décennie noire qui avait ravagé sa structure et ses équipements.

Après avoir subi une réhabilitation consistant en son réaménagement et son équipement pour faveur de la manifestation de 2011 «Tlemcen, capitale de la culture islamique», la salle de cinéma Colisée, de la rue des Frères Benchekra (ex-rue de Lamoricière), à Bab el-Djiad, rouvrira ses portes dans la première quinzaine de février avec un nouveau nom la salle Djamel Tchanderli(1924-1990),d'une capacité accueil de 562 places.

La structure est construire en maçonnerie avec une toiture en charpente métallique, la charpente est constitué d'une ferme métallique constituée de 12 pannes en treillis, de 6 poutres en treillis avec un assemblage en rivé et une couverture en tuile.



Figure II. 35 : Vue de la salle avant la rénovation



Figure II. 36 : Vu de la salle après la rénovation

II.6.2. Relevée pathologique de la salle

Les pathologies relevées dans la salle sont :

- Une poussé des plantes et l'apparence de lichens sur le mur est un indice que le mur est humide et il va alimenter les éléments de la poutre métallique en corrosion (Figure II.37).



Figure II. 37 : Apparition de plante et de lichens

- Apparition de lichens signifie qu'il y a une fuite au niveau du chéneau (**Figure II.38**)



Figure II. 38 : Chéneau métallique et apparition de lichens sur le mur.

- Disparition de plus de la moitié (**Figure II.39**) de la toiture et la chute d'une panne (**Figure II.40**) à cause de l'explosion.



Figure II. 39 : Disparition de la toiture



Figure II. 40 : Chute de la panne métallique

- Une corrosion superficielle des éléments métalliques de la toiture (**Figure II.41**) et des attaches rivetées.



Figure II. 41 : La corrosion de la ferme

- Le degré de la corrosion des éléments métalliques au sous-sol de la salle est élevé parce que le taux de l'humidité est élevé et les éléments qui sont en contact avec l'acier (béton) humidifie l'acier et accélère sa corrosion (**Figure II.42**).



Figure II. 42 : Corrosion de l'acier au sou sol de la salle

II.7. Station d'essence de Ouled Mimoun et Sebdou

II.7.1. Description général des ouvrages

Ces stations d'essence qui sont mentionnés au-dessus en charpente métallique construite pour la protection des pompes et des personnes.

Les stations sont construites de la même manier avec 6 poteaux. Aussi la toiture est couverte par la tôle TN40. Chaque station contient 6 a 8 pompes de distribution de carburant.



Figure II. 43 : Vue de la station d'essence de SEBDOU

II.7.2. Relevée pathologique

Les pathologies relevées dans la station sont :

- Accumulation de sable et de l'eau sur les chéneaux est un résultat de manque d'entretien (**Figure II.44**) d'où obstruction des descentes d'eau.



Figure II. 44 : Vue d'un chéneau métallique

- Une mauvaise fixation du bardage et le manque du crochet et des vis liaison (**Figure II.45**).



Figure II. 45 : Mauvaise fixation de couverture

- Les crochets et les vis ne sont pas fixés (**Figure II.47**) et ils ne sont pas à leur place connecte (**Figure II.46**).



Figure II. 46 : Les crochets de fixations de la toiture



Figure II. 47 : Les vis de fixation de la toiture

- Mauvaise réalisation des contreventements horizontaux. Le système de fabrication des diagonales de contreventement et des goussets correspondants a été erroné d'où mauvaise fixations (**Figure II.48**).



Figure II. 48 : Contreventement métallique

- Des fixations qui ne répondent pas à la norme de la construction (**Figure II.49**).



Figure II. 49 : Pied de poteau métallique

II.8. L'ancien atelier de la Gare de Tlemcen

II.8.1. Description général de l'ouvrage

Construire dans la période coloniale en 1892 par l'ingénieur Armand Moisant, qui a été l'un des grands ingénieurs en France avec Gustave Eiffel. La structure est construite pour la réparation et l'entretien des locomotives et des wagons de la gare. Et après l'indépendance, elle est devenue un espace de stockage et elle est revient à son fonctionnement initial comme un atelier de réparation.

La structure est à multiples versants de longueur 36.33m et de largeur 20m construit en acier. Les poutres sont en treillis, les poteaux sont en profilé reconstituer en rivets, la couverture est en maçonnerie, la toiture est en tuile l'assemblage des éléments est en rivet.

L'atelier contient des outils de travail (clé, des pièces de rechange ...etc.) et un pont roulon.



Figure II. 50 : Vue de l'atelier de la gare

II.8.2. Relevée pathologique

Les pathologies relevées dans l'atelier sont :

- toiture en mauvaise état et il y a des partie en bardage a la places des tuiles a cause d'un mauvais entretient (**Figure II.51**).

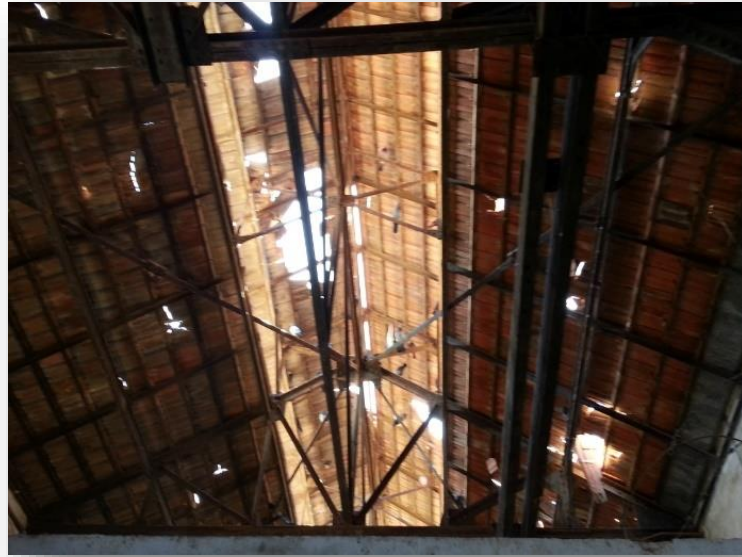


Figure II. 51 : Toiture en tuile largement altérée.

- corrosion surfacique des éléments métalliques à cause de l'ancienneté de l'ouvrage et le manque d'entretien (**Figure II.52**).



Figure II. 52 : Corrosion des éléments métalliques

II.9. Salle de sport BENMANSOR Abdellah

II.9.1. Description généraux de l'ouvrage

La salle BENMANSOR Abdellah est une salle omnisport située dans la ville de Tlemcen cité Dahlia. Elle contient différentes disciplines de sport collectives et les sports individuelles. La salle a adopté le championnat d'Afrique de hand-ball des clubs en 2003 avec la participation d'un club Tlemcenien (NEST qui a remporté la troisième place) et d'autres manifestations sportives nationales et régionales.

La salle BENMANSOR Abdellah est constituée en charpente métallique et la couverture murale en maçonnerie. Le bardage et la toiture sont en TN40. Sa surface est de 45.5x49.1 m² et une hauteur de 11.32 m. La toiture contient 10 poutres en treillis posées sur 10 poteaux. On a 2 grandes fenêtres latérales avec 4 ouvertures et une grande fenêtre sur la façade de forme pyramidale (**Figure II.53**).

A l'intérieur de la salle, il y a trois salles, une pour l'aérobique, la deuxième pour les arts martiaux, une salle de musculation et aussi trois salles de vestiaire pour les athlètes et pour les arbitres avec un magasin des matériels sportifs. Elle contient aussi des bureaux administratifs placés en dessous des deux tribunes. Au centre de la salle, on a l'aire de jeux pour les différents sports.



Figure II. 53 : Vue de salle BENMANSOR Abdellah

II.9.2. Relevée pathologique

Les pathologies relevées sur l'ouvrage sont les suivants :

- Des trous supplémentaires sur les éléments métalliques à cause des erreurs dans la phase conception et fabrications des éléments métallique en atelier (Figure II.54).

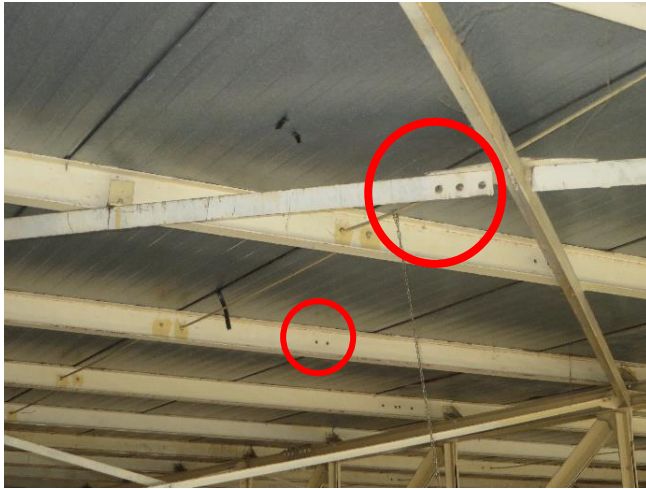


Figure II. 54 : Trous sur les éléments métalliques

- La mauvaise réparation des erreurs d'assemblage éléments de contreventement où à la place de boulonnage, on a exécuté des soudures aléatoires (**Figure II.55**).



Figure II. 55 : Soudure au niveau du gousset

- Mauvaise étanchéité de la salle qui elle a causé une corrosion au niveau des éléments métallique et des boulons (**Figure II.56**).



Figure II. 56 : Mauvaise étanchéité de la toiture

II.10 Salle omnisport Kara Zaitri Réda a Imama

II.10.1 Description général de l'ouvrage

La salle KARA ZAITRI Réda est une salle omnisport située à la ville de Tlemcen à Imama qui contient différentes disciplines tel que les sports collectifs et les sports individuels. La salle est dédiée pour les clubs de Basket Ball de Tlemcen.

La salle KARA ZAITRI Réda construite en charpente métallique. La toiture est en tôle TN40 et les murs en maçonnerie. Sa surface est de 78,84x32,1 m² et la hauteur est de 11.24 m. La toiture contient 16 poutres en treillis posé sur 16 poteaux. La luminosité est assurée par 2 grandes fenêtres latérales avec 4 ouvertures et une grande fenêtre sur la façade de forme pyramidale.

A l'intérieur de la salle, il y a une salle de musculation, une salle de judo, trois salles de vestiaire pour les athlètes et les arbitres et un magasin de matériels sportifs. Elle contient aussi des bureaux administratifs en dessous des deux tribunes. Et au centre de la salle, on a l'aire des jeux pour les différents sports.



Figure II. 57 : Vue de la salle Kara Zaitri Réda

II.10.2. Relevée pathologique de la salle

Les pathologies relevées sur l'ouvrage sont les suivants :

- Manque de longueurs de plusieurs diagonales de contreventement vertical et mauvaise conception des goussets d'attaches à cause d'une mauvaise conception et de réalisation des éléments métalliques (**Figure II.58**).



Figure II. 58 : Mauvaise conception de gousset pour contreventement.

- Corrosion de plusieurs éléments de la toiture d'où la fermeture de leurs fenêtres ce qui ne permet pas la circulation d'air dans la salle (**Figure II.59**).



Figure II. 59 : Fenêtre de la toiture

- Corrosion des lisses de bardage à cause des eaux pluviales et humidité (**Figure II.60**).



Figure II. 60 : Corrosion de la lisse de bardage.

Chapitre III Etude d'un portique métallique (le cas de salle de sport Kara Zaitri Réda a Imama)

I. Introduction

Ce présent chapitre fournit les principes généraux et procédures pour la détermination de différentes charges agissantes sur notre structure. Ces charges la sont définie par le poids propre (structure porteuse et éléments non porteurs) et aux charges d'exploitation (équipements, foules de personne.....).

En plus, ouvrage est sollicité aux surcharges climatiques (neige, vent et température) et aux actions accidentelles (Séisme, chocs, ...).et fournit aussi une étude sismique et faire une analyse sur la structure.

II. Charges Permanentes

Les charges permanentes G sont des charges qui **ne varient pas dans le temps**. Il s'agit du poids propre de la structure elle-même, mais aussi de l'équipement de l'ouvrage tel que (la couverture, la maçonnerie, ...).

Types	Charges permanents
Toiture	0,11 kN/m ²
bardage+ articles de fixation	0,27kN/m ²

Tableau III. 1 : Charges permanentes de la salle de sport

III. Surcharges d'Exploitation

Dans le bâtiment, les charges d'exploitation ou surcharges sont les charges mécaniques statiques permanentes ou dynamiques non permanentes générées par le climat et les activités humaines.

Elles couvrent la pression du vent, le poids de la neige, le poids des personnes et le mobilier.

On admet une charge d'exploitation statique de 5kN/m^2 dans les locaux soumis aux actions dynamiques dues aux mouvements des sportifs.

Surcharges d'entretien : Charges ponctuelles de 1 kN au $1/3$ et $2/3$ de la portée d'une poutre.

III.1. Charge de la Neige

Le calcul de charge de la neige est fonction de la localisation géographique et de l'altitude du lieu considéré. La valeur S est déterminée par la formule suivante (d'après le règlement RNV99).

$$S = \mu \times S_k = \mu \times \frac{0,07H + 15}{100} \quad (\text{kN /m}^2)$$

S : Charge caractéristique de la neige par unité de surface.

μ : Coefficient d'ajustement des charges (Annexe A.1)

S_k : Charge de neige sur le sol.

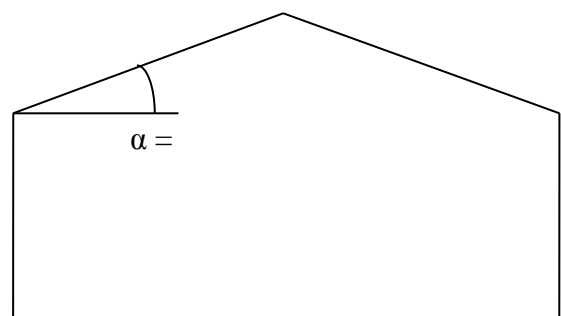
III.1.1. Calcul de la Charge de Neige

La structure se trouve dans la wilaya de Tlemcen (Ville), classée en zone Adontl'altitude est de 700 m .

$$\text{Zone A : } S_k = \frac{0,07H + 15}{100} = \frac{0,07 \times 700 + 15}{100} = 0,64 \quad \text{kN /m}^2$$

$$\alpha = \beta = 3,3^\circ \text{ alors } \mu_1 = \mu_2 = 0,8 \quad (0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ)$$

$$s = 0,8 \times 0,64 \Rightarrow s = 0,51\text{kN/m}^2$$



III.2. Action du Vent sur la Construction

➤ Tlemcen → Zone 1 → $V_{\text{ref}}(\text{m/s}) = 25\text{m/s}$ (Annexe A.2)

$$\Rightarrow Q_{\text{réf}} = 375\text{N/m}^2$$

- V1 : Vent perpendiculaire à la façade (AB).
- V2 : Vent perpendiculaire à la façade (BC).
- V3 : Vent perpendiculaire à la façade(DC).
- V4:Vent perpendiculaire à la façade(AD).

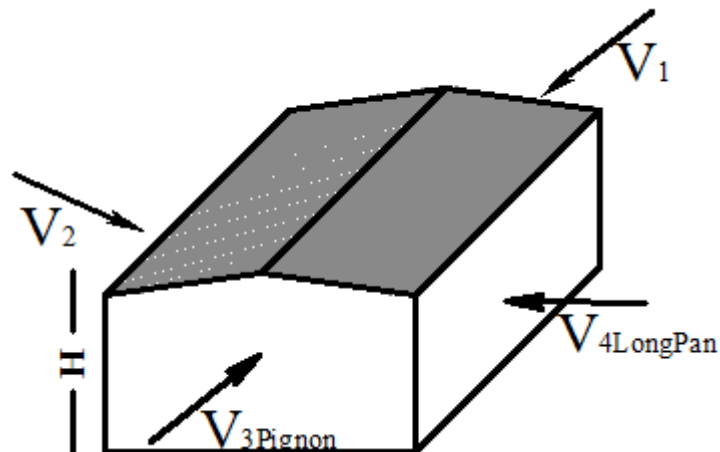


Figure III. 1 : Sens de vent sur la structure

La Pression dû au Vent

$$q_j = c_d \times w(z_j) \quad [\text{N/m}^2]$$

avec : $w(z_j) = q_{\text{dym}}(z_j) \times (c_{pe} - c_{pi})$

• Détermination du Coefficient Dynamique : « C_d »..... (Annexe A.2)

Façade (AB)	→	sens du vent V1	$\begin{cases} L=31,2\text{m} \\ H=11,24\text{m} \end{cases}$
		$C_d = 0,92$	
Façade (AB)	→	sens du vent V1	$\begin{cases} L=31,92\text{m} \\ H=11,24\text{m} \end{cases}$
		$C_d = 0,92$	
Façade (BC)	→	sens du vent V2	$\begin{cases} L=78,84\text{m} \\ H=11,24\text{m} \end{cases}$
		$C_d = 0,86$	
Façade (CD)	→	sens du vent V3	$\begin{cases} L=31,2\text{m} \\ H=11,24\text{m} \end{cases}$
		$C_d = 0,92$	

$$\text{Façade (DA)} \rightarrow \text{sens du vent V4} \quad \left\{ \begin{array}{l} L=78,84\text{m} \\ H=11,24\text{m} \end{array} \right.$$

$$C_d = 0,86$$

On remarque que $C_d < 1,2$

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

$$w(z_j) = Q_{\text{dyn}}(z_j) \times (C_{pe} - C_{pi}) \quad [\text{N/m}^2]$$

$$\text{Avec : } Q_{\text{dyn}}(z_j) = q_{\text{réf}} \times c_e(z_j) \quad [\text{N/m}^2]$$

$C_e(z_j)$: coefficient d'exposition

$$C_e(z_j) = C_t(z)^2 \times C_r(z)^2 \times \left(1 + \frac{7 \times k_t}{c_r(z) \times c_t(z)}\right)$$

K_T : Facteur de terrain

C_r : Coefficient de rugosité..... (Annexe A.2)

C_T : Coefficient de topographie

z : Hauteur considérée en (m).

	K_T	$Z_0(\text{m})$	$Z_{\text{min}}(\text{m})$	E
Catégorie 2	0,19	0,05	4	0,26

Tableau III. 2 : Définition des catégories de terrain (RNV99)

Coefficient de rugosité : ($Z=11,24\text{m}$)

$$\text{Avec : } Z_{\text{min}} \leq z \leq 200\text{m} \rightarrow C_r(z) = K_T \times \ln\left(\frac{Z_{\text{min}}}{Z_0}\right)$$

$$C_r(Z) = 0,17 \times \ln\left(\frac{4}{0,05}\right)$$

$$C_r(Z) = 0,833$$

$$\text{Coefficient de topographie : Site plat : } \Rightarrow C_T(z) = 1$$

$$C_e(z_j) = C_t(z)^2 \times C_r(z)^2 \times \left(1 + \left(\frac{7 \times k_t}{c_r(z) \times c_t(z)}\right)\right)$$

$$C_e(z_j) = 1^2 \times (0,833)^2 \times \left(1 + \left(\frac{7 \times 0,19}{1 \times 0,833}\right)\right)$$

$$C_e(z_j) = 1,802$$

• **Pression Dynamique : $q_{dyn}(z)$**

$$Q_{dyn}(z_j) = q_{ref} \times C_e(z_j) \rightarrow Q_{dyn}(z_j) = 375 \times 1,802 \Rightarrow Q_{dyn}(z_j) = 675,7 \text{ N/m}^2$$

La répartition de la pression dynamique ($h > 10\text{m}$)

$$N = E \left(\frac{H}{3} \right)$$

$$N = E \left(\frac{11,24}{3} \right) = E(3,75)$$

$$N = 4$$

$$h_i = \frac{H}{N} = \frac{11,24}{5} = 2,25\text{m}$$

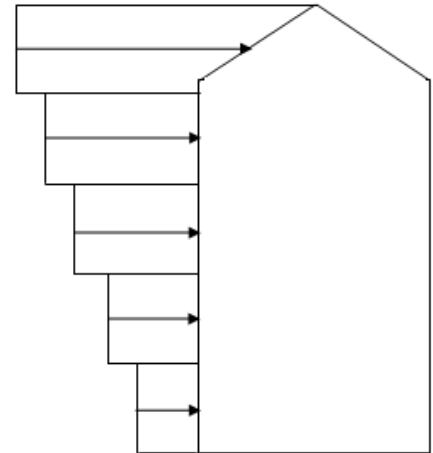


Figure III. 2 : Répartition de la pression dynamique

Parois (AB – BC – AD-CD):

I	Z_j	$C_r(z_j)$	$C_e(z_j)$	$Q_{dyn}(\text{N/m}^2)$
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 III. 3 : Répartition des pressions dynamiques sur les parois

• **Le Coefficient de Pression : C_{pe}**

1°/ paroi : « vent sur pignon avec ($b=32,1\text{m}$; $h=11,24\text{m}$; $d=78,84\text{m}$) ». → Parois (AB-CD)

$$e = \min [b; 2h] = \min [31,2;] = 22,48\text{m} \Rightarrow e < d$$

$$S = e/5 \times h = 4,496 \times 11,24 = 50,54 \text{ S} > 10\text{m}^2 \Rightarrow C_{pe} = C_{pe,10}$$

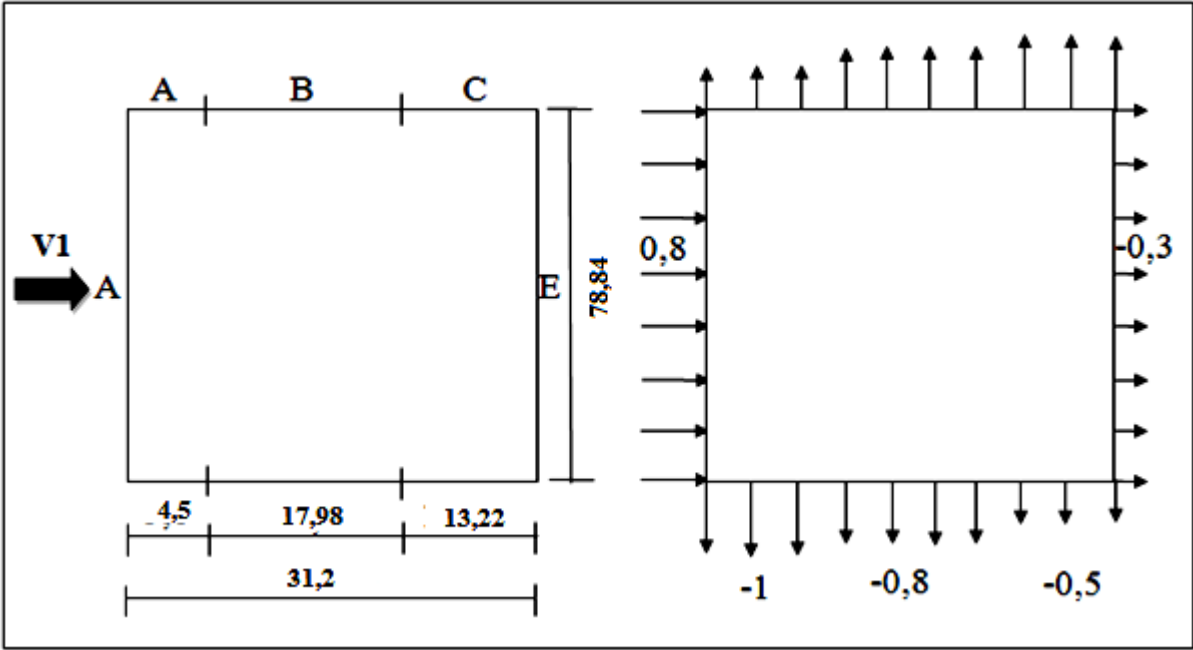


Figure III. 3 : Vent (V1-V3) sur la toiture

Toitures $\theta=0^\circ$

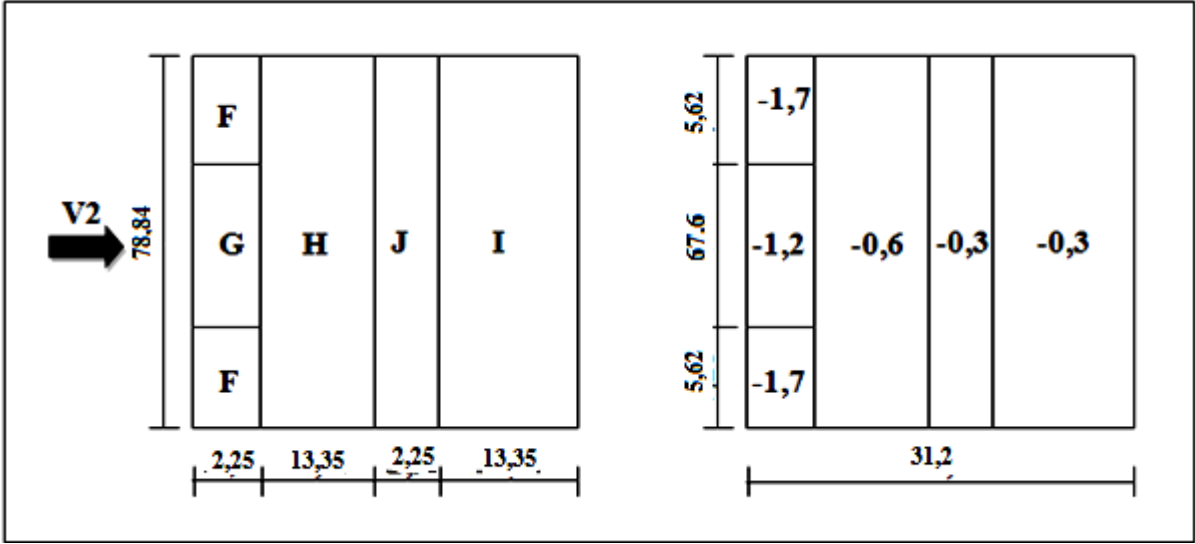


Figure III. 4 : Vent (V1-V3) sur les parois AB-CD

2°/ Paroi « Vent sur Long-pan sens du vent V2, avec (b=78,84 m ; h=11,24 ; d=31,2) ».

$$e = \min [b; 2h] = \min [78,84; 22,48] = 22,48\text{m} \quad \Rightarrow \quad e < d$$

$$S = e/5 \times h = 4,496 \times 11,24 = 50,54 \quad \rightarrow \quad S > 10\text{m}^2 \quad \Rightarrow \quad C_{pe} = C_{pe,10}$$

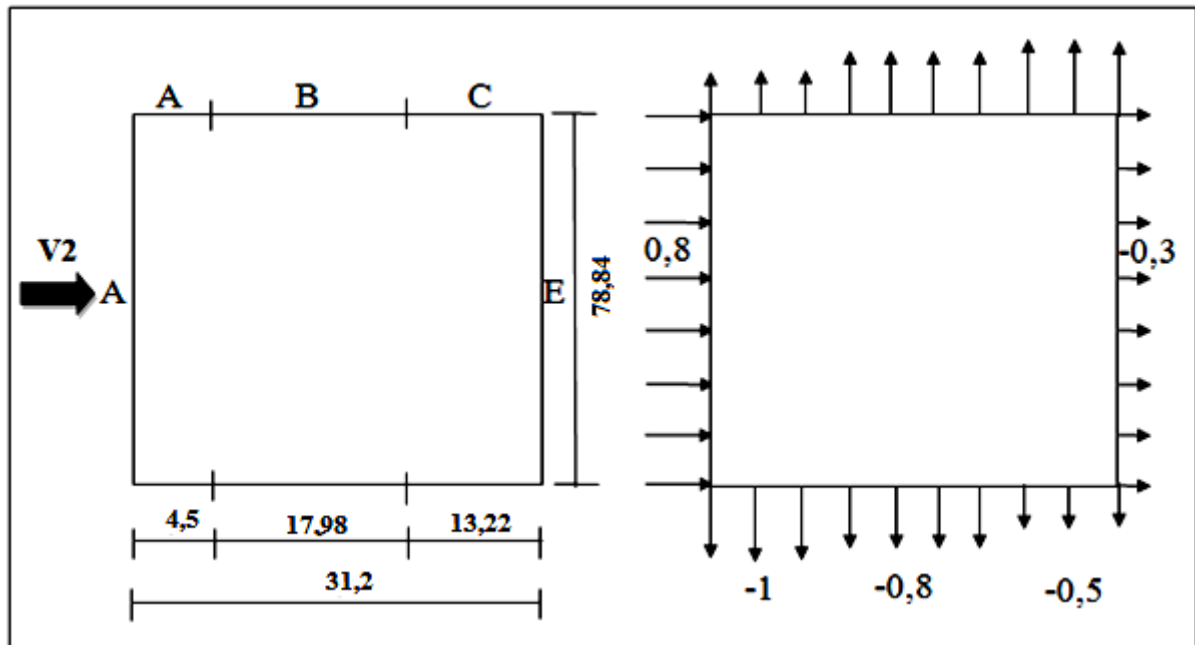


Figure III. 5 : Vent (V2-V4) sur la paroi BD-AC

Toitures $\theta=0^\circ$

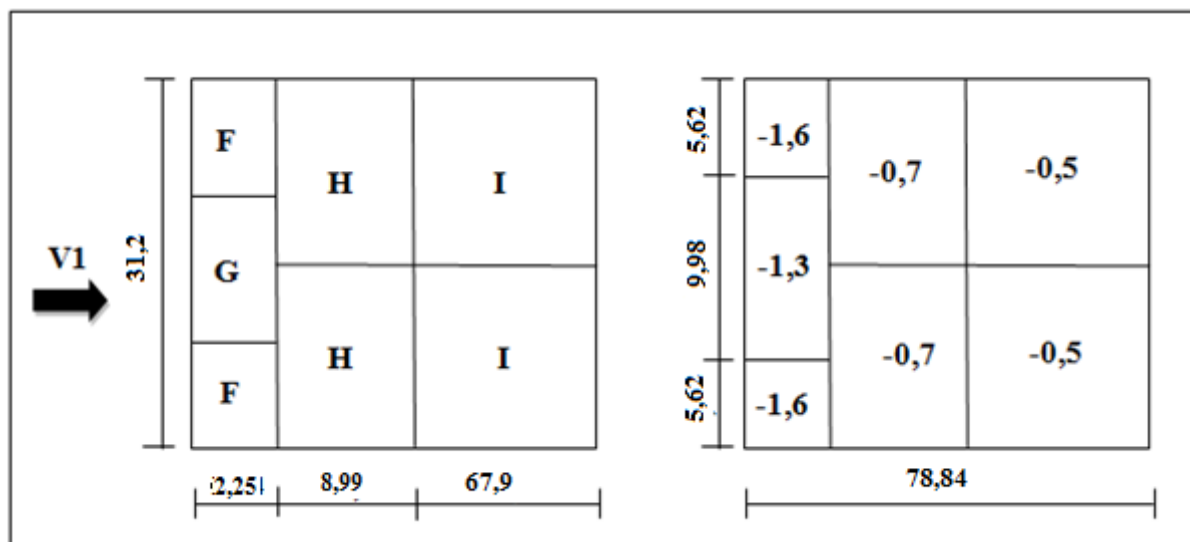


Figure III. 6 : Vent (V2-V4) sur les parois BD-AC

• **Le Coefficient de Pression Intérieure : “C_{pi}”**

$$\mu_p = \frac{\sum \text{des surfaces des ouvertures sous le vent et parallèles au vent}}{\sum \text{des surfaces de toutes les ouvertures}}$$

• Face 1 (AB) Vent V₁ :

$$\mu_p = 0,461 \Rightarrow C_{pi} = -0,278$$

• Face 2 (BC) Vent (V₂) :

$$\mu_p = 0,195 \Rightarrow C_{pi} = 0,646$$

• Face 3 (CD) Vent (V₃) :

$$\mu_p = 0,189 \Rightarrow C_{pi} = 0,655$$

• Face 4 (AD) Vent (V₄) :

$$\mu_p = 0,195 \Rightarrow C_{pi} = 0,646$$

Remarque : on a la symétrie sur les parois (BC) et (AD) alors on calcul juste un parois

III.2.1 Le calcul des Pressions

Parois (BC) et Parois (AD)

Zone	C _d	Q _{dyn} (N/m ²)	C _{pe}	C _{pi}	Q _j (N/m ²)
D	0,92	672,7	0,8	0,646	953
A	0,92	672,7	-1,0	0,646	-1018,7
B	0,92	672,7	-0,8	0,646	-894,9
C	0,92	672,7	-0,5	0,646	-709,2
E	0,92	672,7	-0,3	0,646	-58,55

Tableau III. 4 : Pression sur les parois verticales direction V2 et V4

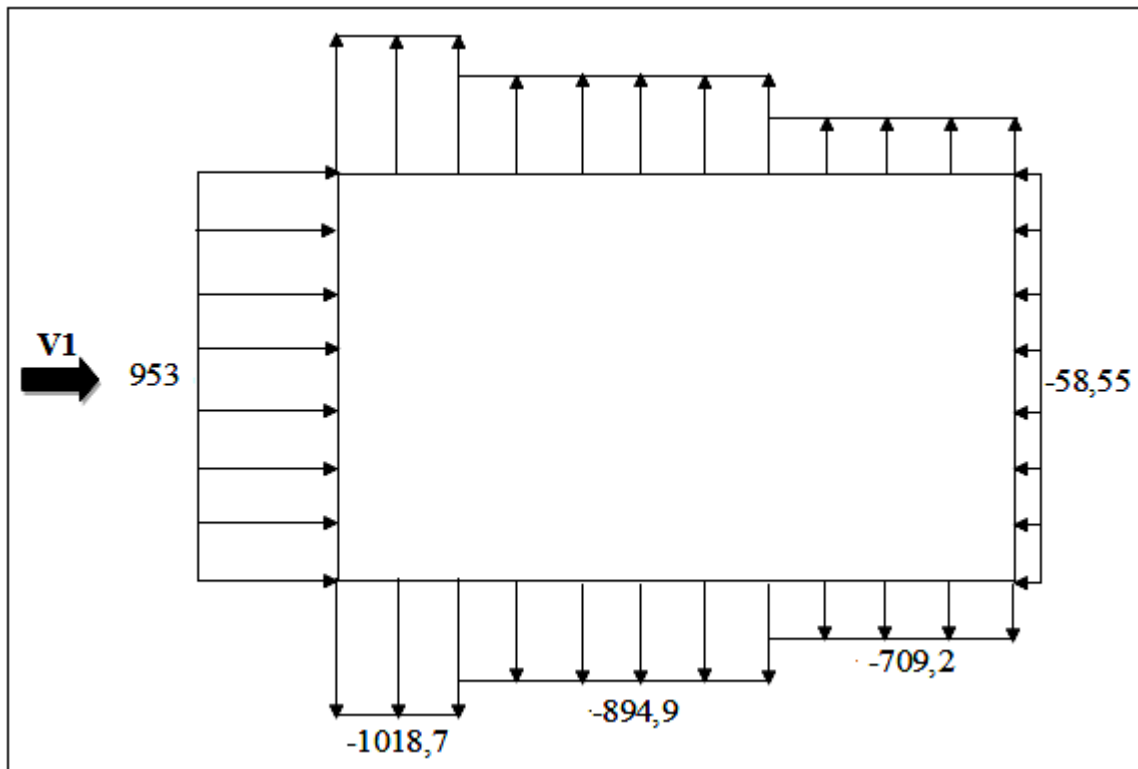


Figure III. 7 : Pression du Vent (V2 et V4) sur la paroi BC et AD

Toiture

Zone	Cd	$Q_{dyn}(N/m^2)$	C_{pe}	C_{pi}	$Q_j(N/m^2)$
F	0,92	672,7	-1,7	0,646	-1451,9
G	0,92	672,7	-1,2	0,646	-1142,4
H	0,92	672,7	-0,6	0,646	-771,1
I	0,92	672,7	-0,3	0,646	-585,5
J	0,92	672,7	-0,3	0,646	-585,5

Tableau III. 5 : Pression sur la toiture- direction V2 et V4 du vent

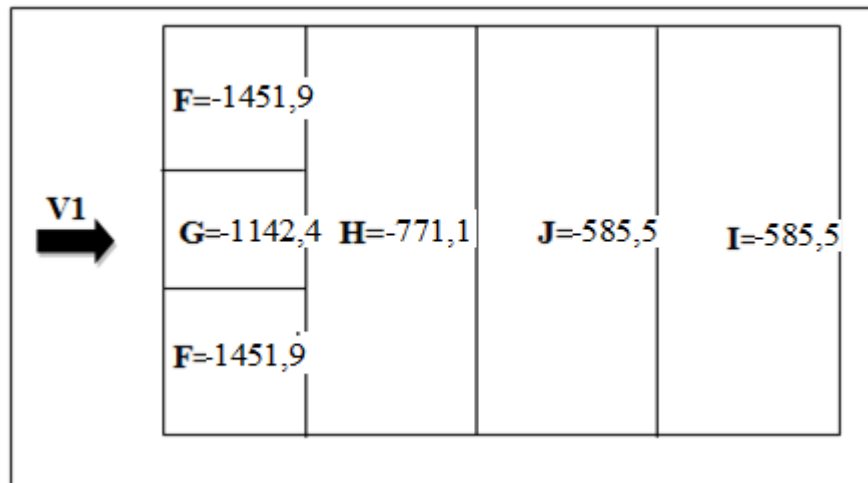


Figure III. 8 : Pression sur la toiture- direction V2 etV4 du vent

Parois (AB)

Zone	Cd	$Q_{dyn}(N/m^2)$	C_{pe}	C_{pi}	$Q_i(N/m^2)$
D	0,86	672,2	0,8	-0,278	302
A	0,86	672,2	-1,0	-0,278	-739,4
B	0,86	672,2	-0,8	-0,278	-623,6
C	0,86	672,2	-0,5	-0,278	-450,1
E	0,86	672,2	0,3	-0,278	-334,4

Tableau III. 6 : Pression sur les parois verticales (Direction V1 du vent)

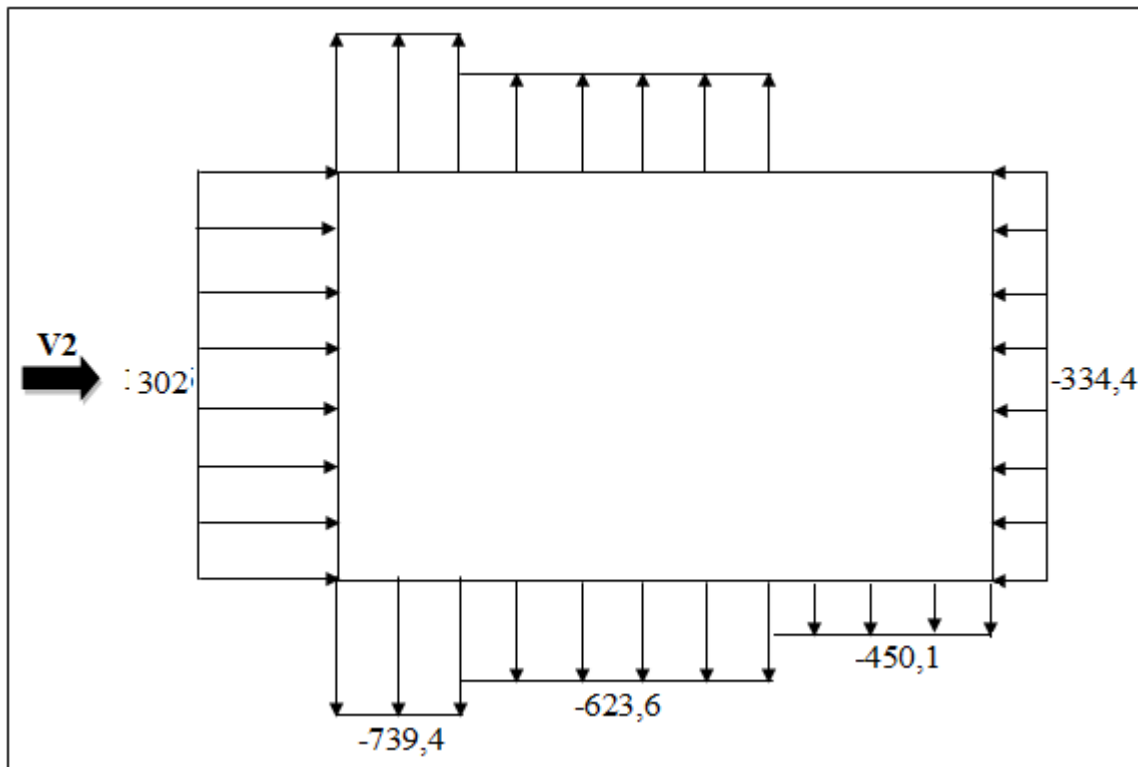


Figure III. 9 : Pression du Vent (V1) sur la paroi AB

Toiture

Zone	Cd	$Q_{dyn}(N/m^2)$	C_{pe}	C_{pi}	$Q_i(N/m^2)$
F	0,86	672,7	-1,6	0,278	-1086,5
G	0,86	672,7	-1,3	0,278	-912,9
H	0,86	672,7	-0,7	0,278	-565,8
I	0,86	672,7	-0,5	0,278	-450,1

Tableau III. 7 : Pression sur la toiture (Direction Va du vent)

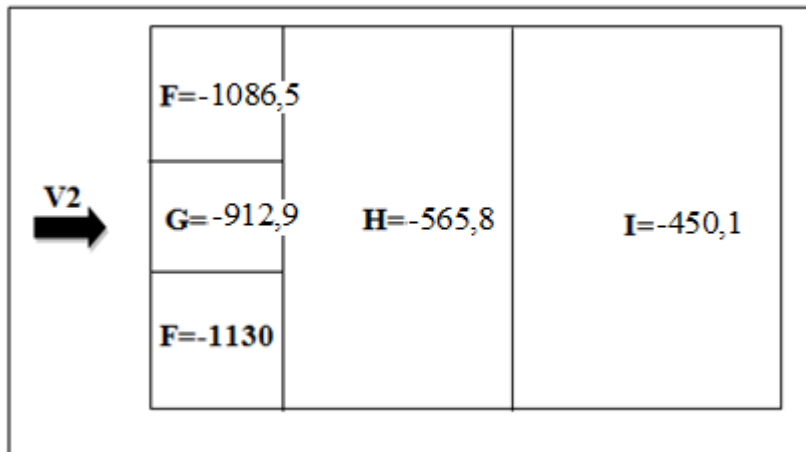
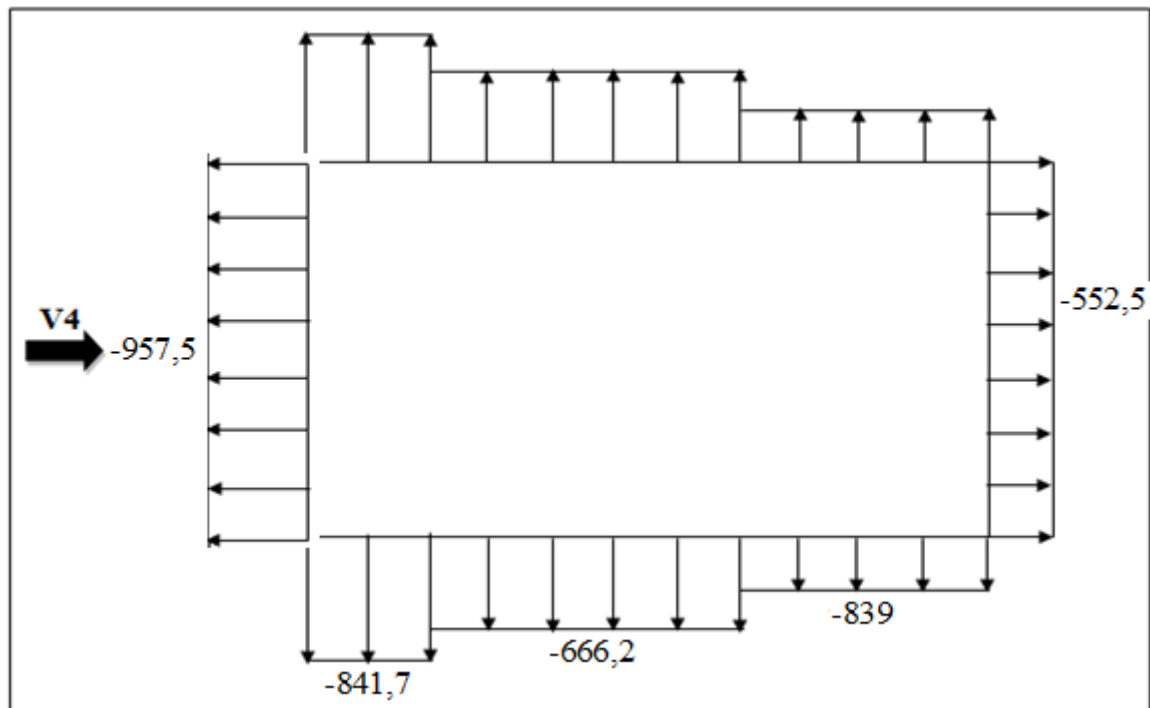


Figure III. 10 : Pression du Vent (V1) sur la toiture AB

Parois (CD)

Zone	Cd	$Q_{dyn}(N/m^2)$	C_{pe}	C_{pi}	$Q_j(N/m^2)$
D	0,86	672,7	0,8	0,655	-957,5
A	0,86	672,7	-1,0	0,655	-841,7
B	0,86	672,7	-0,8	0,655	-666,2
C	0,86	672,7	-0,5	0,655	-839
E	0,86	672,7	-0,3	0,655	-552,5

Tableau III. 8 : Pression sur les parois verticales (Direction V3 du vent)



Pression du Vent (V3) sur la paroi CD

Toiture

Zone	Cd	Q_{dyn} (N /m ²)	C _{pe}	C _{pi}	Q_j (N/m ²)
F	0,86	672,7	-1,6	0,655	- 130 4,6
G	0,86	672,7	-1, 3	0,655	-1131
H	0,86	672,7	-0,7	0,655	-783,9
I	0,86	672,7	-0,5	0,655	-668,2

Tableau III. 9 : Pression sur la toiture (direction V3 du vent)

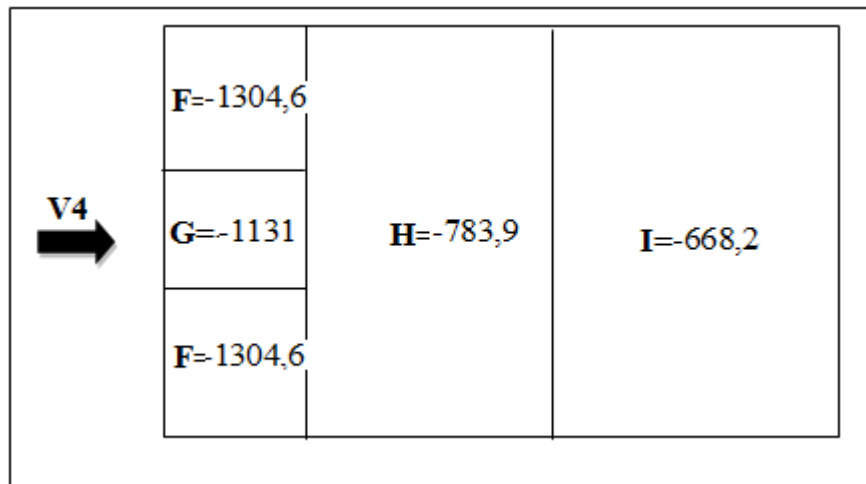


Figure III. 11 : Pression du Vent (V3) sur la toiture (CD)

III.3. Force de Frottement du Vent F_{fr}

Dans le cas des structures allongées ou élancées; on tient compte d'une force complémentaire due au frottement qui s'exerce sur les parois parallèles à la direction du vent dans le cas où l'une des conditions suivantes est vérifiée

- **Vent Perpendiculaire au Pignon V1 et V3**

$$\begin{cases} d/b \geq 3 \\ d/h \geq 3 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 31,2 / 78,84 = 0,39 < 3 \text{ (CNV)} \\ 31,2 / 11,24 = 2,77 < 3 \text{ (CNV)} \end{cases} \Rightarrow \text{On doit considérer la force de frottement}$$

- **Vent Perpendiculaire au Long pan V2 et V4**

$$\begin{cases} d/b \geq 3 \\ d/h \geq 3 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 78,84 / 31,2 = 2,53 < 3 \text{ (CNV)} \\ 78,84 / 11,24 = 7,01 > 3 \end{cases} \Rightarrow \text{On doit considérer la force de frottement}$$

d : Dimension (m) de la construction parallèle au vent

b : Dimension (m) de la construction perpendiculaire au vent

h : Hauteur (m) de la construction

III.3.1. Calcul de la Force de Frottement F_{fr}

$$F_{fr} = \sum (Q_{dyn}(Z_j) \times C_{fr,j} \times S_{fr,j})$$

J : Indique un élément de surface parallèle à la direction du vent

Z_j : Hauteur du centre de l'élément « j »

Q_{dyn} : Pression dynamique du vent

S_{fr} : Aire de l'élément de surface « j »

$C_{fr,j}$: Coefficient de frottement pour l'élément de surface = 0,01... (Annexe A.3)

Surface considérée	Q_{dyn} (N/m ²)	C_{fr}	S_{fr} (m ²)	F_{fr} (daN)
Paroi long-pan	672,7	0,01	817,02	5496,09
Paroi pignon	672,7	0,01	315,74	2123,98
Toiture	672,7	0,01	2459,81	16547,14

Tableau III. 10 : Forces de frottements dues au vent

IV. Etude sismique

IV.1. Choix de la méthode

Notre choix s'est porté sur la méthode d'analyse modale spectrale du fait de son caractère très fiable et du calcul simple pour sa mise en application par le biais d'un logiciel, ce qui évite les calculs manuels pouvant engendrer des erreurs aux conséquences très préjudiciables. Cette méthode, parfaitement éprouvée et avérée la plus performante, est largement utilisée dans le monde entier.

- **Principe de la méthode**

Par cette méthode, il est recherché pour chaque mode de vibration, le maximum des effets engendrés dans la structure par les forces sismiques représentées par un spectre de réponse de calcul. Ces effets sont par la suite combinés pour obtenir la réponse de la structure [RPA99-V2003].

a) Classification des zones sismiques

Le territoire national est divisé en quatre zones de sismicité croissante, définies sur la carte des zones de sismicité et le tableau associé qui précise cette répartition par wilaya et par commune.

- ZONE 0 : sismicité négligeable.
- ZONE I : sismicité faible.
- ZONE IIa et IIb : sismicité moyenne.
- ZONE III : sismicité élevée

Pour notre cas, et d'après la carte et le tableau cité précédemment : Tlemcen se situe dans une zone de sismicité faible 'ZONE I'

a) Classification de l'ouvrage

D'après le RPA99V2003 la de notre ouvrage est classée en Zone I groupe 1B. Et selon le rapport géotechnique relatif cet ouvrage on est en présence d'un sol meuble de catégorie S3

IV.2 .Le calcul

• Spectre de réponse de calcul

L'action sismique est représentée par le le spectre de réponse de calcul suivant :

$$\frac{s_a}{g} = \begin{cases} 1,25A \left(1 + \frac{T}{T_1} \left(2,5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2,5\eta(1,25A) \left(\frac{Q}{R} \right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2,5\eta(1,25A) \left(\frac{Q}{R} \right) \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3,0s \\ 2,5\eta(1,25A) \left(\frac{T_2}{3} \right)^{2/3} \left(\frac{3}{T} \right)^{5/3} \left(\frac{Q}{R} \right) & T > 3,0s \end{cases}$$

Avec :

– **A : Coefficient d'accélération de zone**

Donnée en fonction de la zone sismique et le groupe d'usage de la structure. Pour la zone et groupe d'usage 1B $\Rightarrow A = 0,10$ (Annexe C.4.1)

– **R : Coefficient de comportement de la structure**

Ossature contreventée par palées triangulées en X et V → R= 4... (Annexe C.4.3)

– **T1, T2 : périodes caractéristiques associées à la catégorie de site**

Site ferme (S3)
$$\begin{cases} T_1 = 0,15s & \dots\dots\dots (Annexe C.4.7) \\ T_2 = 0,40s \end{cases}$$

– **η : Facteur de correction d'amortissement**

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{(2 + \xi)}} \geq 0,7$$

ξ: Pourcentage d'amortissement critique..... (Annexe C.4.2)

Portique en acier : ξ = 5% → η = 1. ≥ 0,7

Portique avec poteau en Béton : ξ = 7% → η = 0,88 ≥ 0,7

- **β : Coefficient de pondération**

Fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation.

Dans notre cas → β=0,3

- **Q : Facteur de qualité** : La valeur de Q est déterminée par la formule suivante:

$$Q = 1 + \sum_1^b p_q \dots\dots\dots (Annexe C.4.4)$$

- **P_q** : Pénalité à retenir selon que le critère de qualité est satisfait ou non.

Le tableau suivant donne les valeurs de pénalité **P_q** :

Critère « q »	Observation	<i>P_{qacier}</i>
Condition minimale sur les files de contreventement	Observé	0
Redondance en plan	Observé	0
Régularité en plan	Observé	0
Régularité en élévation	Observé	0,05
Contrôle de la qualité des matériaux	Non observé	0
Contrôle de la qualité de l'exécution	Non observé	0,1
$Q = 1 + \sum_1^b p_q$		1,15

Tableau III. 11 : Valeurs des pénalités P_q

VI.3. modélisation de la structure

Le logiciel SAP 2000, conçu pour le calcul et la conception des structures d'ingénieries, spécialement dans le domaine du bâtiment et ouvrages de génie civil, permet dans un premier temps de modéliser la structure réelle.

Cette étape sera suivie d'un certain nombre de modifications permettant d'appréhender au maximum le comportement de la structure d'origine

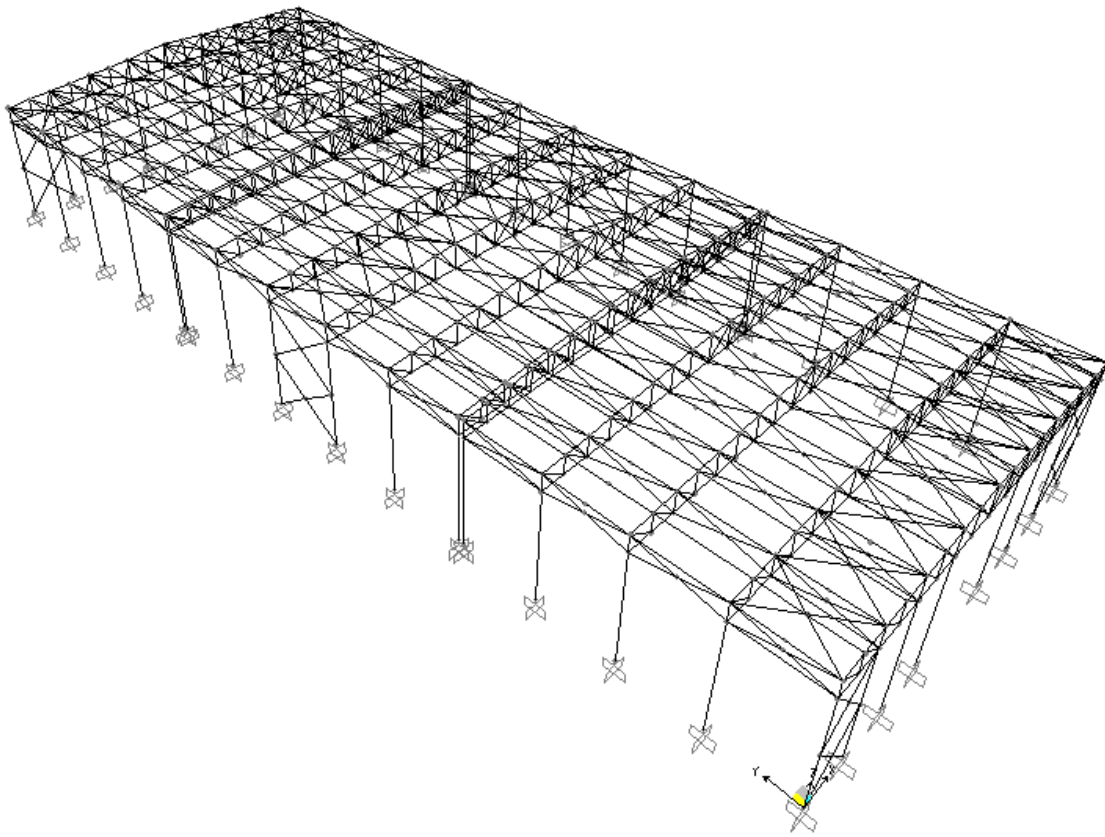


Figure III. 12 : Modélisation structure de la salle KARA ZAITRI Réda

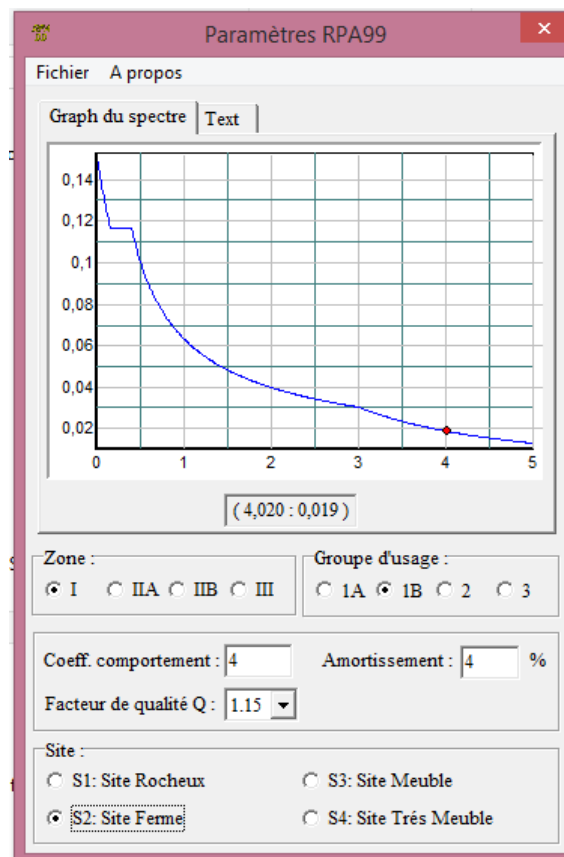


Figure III. 13 : Spectre de réponse de la structure

VI.5.Choix de disposition des contreventements

Les contreventements sont des éléments qui ont pour objet d'assurer la stabilité de l'ossature en supposant à l'action des forces horizontales : vent, séisme, chocs...etc.

Ils sont généralement conçus pour garantir le cheminement des charges verticales et horizontales jusqu'aux fondations.

VI.6 : Vérification de la structure

VI.6.1 : Vérification de la période fondamentale de la structure

La valeur de T calculé par le logiciel **SAP 2000** ne doit pas dépasser celle estimée à partir de la formule empirique appropriée de plus de 30%.

VI.6.1 1 : Structure en Acier

La période fondamentale obtenue par le logiciel SAP 2000

$$T=0,93s$$

La période empirique est donnée par la formule suivante :

$$T= C_t \cdot H_N^{3/4}$$

Avec :

H_N : La hauteur mesurée en mètre à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau

$$H_N=11,24m$$

C_t : coefficient fonction du système de contreventement, et du type de remplissage

On a un portique auto stable en acier avec remplissage en maçonnerie

$$C_t =0,085$$

D'où :

$$T=0,085 \times (11,24)^{3/4} \Rightarrow T=0,522 s \Rightarrow T+30\%T=0,67s$$

$$0,69s > T+30\%T=0,67$$

La condition n'est pas vérifiée, mais on peut tolérer une période un peu plus grande que la période empirique puisqu'il s'agit d'une structure en charpente métallique, donc une structure flexible.

VI.6.2. Calcul de la force sismique totale

D'après le RPA 99 V 2003 (article 4.3.6, page 54) la résultante des forces sismiques à la base V_t obtenue par des combinaison des valeurs modales ne doit pas être inférieure à 80% de la résultante des forces sismiques déterminée par la méthode statique équivalente V pour une valeur de la période fondamentale donnée par la formule empirique appropriée.

VI.6.2.1 : Structure en Acier**a) Calcul de la force sismique**

Effort sismique dans le sens (X) : $V_t = 1324,141 \text{ kN}$

Effort sismique dans le sens (Y) : $V_t = 1892,281 \text{ kN}$

$$V = \frac{A \times D \times Q}{R} \times W$$

A: est le coefficient d'accélération de zone :

A=0,10

D : est le facteur d'amplification dynamique moyen, déterminé en fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement et de la période fondamentale de la structure.

$$D \begin{cases} 2,5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2,5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3s \\ 2,5\eta \left(\frac{T_2}{3}\right)^{2/3} & T \geq 3s \end{cases}$$

$$D = 2,5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right)^{2/3} \Rightarrow T_2 \leq T \leq 3s$$

$$D = 2,5 \times 1 \left(\frac{0,40}{0,522}\right)^{2/3} \Rightarrow \mathbf{D=2,261}$$

W : le Poids total de la structure

$$W = \sum W_i \quad \text{avec} \quad W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$$

- W_{Gi} : Poids du aux charges permanente

- W_{Qi} : Charge d'exploitation

$$\mathbf{W = 1706,609 \text{ KN}}$$

$$V = \frac{A \times D \times Q}{R} \times W$$

$$V = \frac{0,1 \times 2,261 \times 1,15}{4} \times 1706,609$$

$$\mathbf{V=110,94 \text{ KN}}$$

	Vt (KN)	V (KN)	80% V	0.8V < Vt
Sens -X	1324,141	110,94	88,75	C .V
Sens-Y	1892,281	110,94	88,75	C .V

Tableau III. 12 : Résultat des forces sismiques à la base**b) Vérification des déplacements**

Le déplacement horizontal à chaque niveau 'K' de la structure est calculé comme suit :

$$\delta_k = R \cdot \delta_{ek}$$

Avec :

δ_{ek} : Déplacement du aux forces sismiques Fi

R : Coefficient de comportement $\Rightarrow R=4$.

Le déplacement relatif au niveau 'K' par rapport au niveau 'K-1' est égale à :

$$\Delta_k = \delta_k - \delta_{k-1}$$

Les déplacements relatifs latéraux d'un étage par rapport aux étages qui lui sont adjacents ne doivent pas dépasser 1% de la hauteur de l'étage.

Les résultats obtenus sont récapitulés dans les tableaux suivants :

	Sens (X)			Sens(Y)				
Niveau	δ_{ek} (mm)	R	δ_k (mm)	δ_{ek} (mm)	R	δ_k (mm)	1% h (étage) (mm)	C.V
TOITURE	3,2	4	12,8	0,7	4	2,8	11,24	C.V

Tableau III. 13.Résultat du déplacement

	Contrainte max Poteaux (MPa)	Contrainte max potelet (MPa)	Contrainte max inférieur de la poutre (MPa)	Contrainte max supérieur de la Poutre (MPa)	Contrainte max diagonale de la Poutre (MPa)	Contrainte max contreventement vertical (MPa)	Contrainte max contreventement horizontal (MPa)	Déplacement max du séisme
G+Q	41,23	11,33	6,28	16,81	36,56	15,99	24,48	
G+VX	5,62	39,5	29,94	24,5	45,88	33,9	12,52	0,00623
G+Vy1	44,21	35,3	24,34	24,61	31,19	13,04	22,99	0,0056
G+Vy2	58,46	43,68	25,71	12,37	46,88	16,95	2,22	0,0063
G+EX	17,45	5,54	24,16	14,42	17,07	11,93	6,45	0,0003
G+EY	13,11	7,13	13,85	11,15	11,98	13,75	2,08	0,00025
G+Sn	39,5	6,94	4,74	14,93	28,65	39,6	17,06	

Tableau III. 14 : Tableau des contraintes maximum de la structure**Les commentaires :**

On remarque un surdimensionnement général des sections des éléments structuraux :

- Poteaux : $\sigma_{max} = 58,46 \text{ MPa}$; $F_{securité} = \frac{235}{58,46} = 4,0$
- Poutres : $\sigma_{max} = 58,46 \text{ MPa}$; $F_{securité} = \frac{235}{46,88} = 5$
- Contreventement vertical : $\sigma_{max} = 58,46 \text{ MPa}$; $F_{securité} = \frac{235}{39,6} = 5$
- Contreventement horizontal : $\sigma_{max} = 58,46 \text{ MPa}$; $F_{securité} = \frac{235}{24,48} = 9$
- le déplacement maximal dû à l'action du séisme est de 3,0 mm $\rightarrow R\Delta_{max} = 4 \times 3,0 = 12 \text{ mm} < \frac{H}{100} = 112,4 \text{ mm}$
- La combinaison la plus défavorable en contrainte est celle du vent de G+Vy2 celle du vent.

Conclusion

La structure du bâtiment de la salle de sport Kara Zaitri Réda est surdimensionnée puisque la réserve de résistance constatée est supérieure à 4.

Conclusion Générale

Notre mémoire de fin d'étude s'est intéressée à la pathologie des structures métalliques en général et celles des ouvrages de la wilaya de Tlemcen en particulier. On a étudié 11 ouvrages en acier dont des halls de sport, des bâtiments industriels, des abris dans plusieurs régions de la wilaya de Tlemcen.

Les structures métalliques visitées souffrent de plusieurs pathologies mais la pathologie la plus présente dans les structures métalliques est la corrosion. Celle-ci a plusieurs facteurs pour apparaître mais c'est le manque d'entretien qui accélère ce phénomène. Il a été constaté l'absence totale des programmes d'entretien et de surveillance de ce type de structures. Le volume des dégradations augmentera par le temps et réduit ainsi la durée de vie du bâtiment ou de l'ouvrage.

Les erreurs de fabrication en atelier et surtout les erreurs de construction en chantier ont aussi été constatées dans les assemblages et attaches tel que les goussets, les lisses de bardage, chéneaux et les liernes. Mais il a été démontré aussi que le surdimensionnement excessif des structures métalliques couvre d'une certaine manière la bêtise des propriétaires de l'ouvrage, responsables de leur entretien.

Références Bibliographiques

- [1] **Techniques de l'Ingénieur**, C 2 690 Pathologie des structures en acier, 2002.
- [2] **MANFERD. H. ROLF BEZ**, Construction métallique : Notions fondamentales et méthodes de dimensionnement, Volume10.
- [3] Mécanique des structures et Résistance des Matériaux (Résumé du cours Résistance des matériaux |Chapitre 7 : Flambement).
- [4] **Simon Nuytten**, Durabilité de la protection anticorrosion par galvanisation des Structures métalliques. Projet interdisciplinaire à option ENAC Master Génie Civil semestre 2École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Juin 2013
- [5] **CAILLEBAUD, JEAN-LOUIS CHABOCHE, SAMUEL FOREST; HERMES ; PIERRELADEVEZE,**
JEAN-PIERRE PELLE, Mécanique Non Linéaire, 2004.
- [6] **N.KOUIDER**, Analyse d'éléments de structure métallique à réhabiliter, thèse de magistère de l'université Annaba 2010.
- [7] **PHILIPPE.BOUILLARD**, Instabilités, université libre de BEUXELLES, 2002.
- [8] **Dr. N.BOUMECHRA**, Control des constructions métalliques cours master1 génie civil option construction métallique, 2011.
- [9] Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes, 2003, Traitement de surface des constructions en acier, Cahier technique 2022
- [10] **Règlement neige et vent « RNV99 »** (D.T.R. C 2- 4.7) MINISTERE DE L'HABITAT ET DE L'URBANISME, (Algérie)
- [11] **Règlement parasismiques algériens « RPA 99 version 2003 »** MINISTERE DE L'HABITAT ET DE L'URBANISME, (Algérie)

Table des matières

Introduction Générale	10
Chapitre I : Pathologie des constructions en acier	16
I. Introduction	16
II. Les origines de sinistres d'une structure métallique.....	17
II.1. Erreurs matérielles.....	17
II.1.1. Au bureau d'études	17
II.2. Erreur d'échantillonnage	18
II.2.1. Au chantier.....	18
II.3. Causes accidentelles	19
II.3.2. Actions excessives de type normal.....	19
II.3.3. Actions anormales	19
II.4. Ignorance	20
II.4.1. Au niveau du projet.....	20
II.4.2. Au niveau de l'exécution	21
II.4.3. Au niveau du montage.....	21
II.4.4. Erreurs de conception ou d'études	22
II.4.4.1. Poutres à treillis	22
II.4.4.2. Défauts des soudures	26
II.4.4.3. Défaut de boulonnages	29
III. Corrosion.....	31
III.1. Définition	31
III.2 Développement du mécanisme	31
III.3. Corrosion de l'acier	33
III.4. Protection anticorrosion	34
IV. Typologie des protections et procédés	35

IV.1 Enrobage dans du béton.....	35
IV.2. Coating.....	36
IV.3 Peinture.....	36
I. Introduction.....	37
II. Diagnostic et étude des ouvrages métalliques de la région de Tlemcen	38
II.1. Stade colonel AKID LOTFI	39
II.1.2. Description de l'ouvrage	39
II.1.3 Pathologie de la structure	40
II.2 La piscine olympique "Ahmed Ghazi" Tlemcen.....	44
II.2.1 Description de l'ouvrage	44
II.2.2 Relevé pathologique.....	44
II.3. Ancienne usine de Ghazaouat	46
II.3.1. Description de l'ouvrage	46
II.3.2. Relevée pathologique.....	47
II.4. Société Algérienne du Zinc (ALZINC).....	49
II.4.1. Description de l'ouvrage	49
II.4.2. Relevée pathologique de l'usine	50
II.5. Marché de sidi Djilali.....	53
II.5.1. Description de l'ouvrage	53
II.6. Cinéma Colisé (rebaptisée la salleDjamel Tchanderli).....	57
II.6.1. Description de l'ouvrage	57
II.6.2. Relevée pathologique de la salle	58
II.7. Station d'essence deOuled Mimoun,Sebdou.....	62
II.7.1. Description général de l'ouvrage	62
II.7.2. Relevée pathologique.....	62
II.8. L'ancien atelier de la Gare de Tlemcen située à Agadir.....	66
II.8.1. Description général de l'ouvrage	66

II.8.2. Relevée pathologique.....	66
II.9. Salle de sport BENMANSOR Abdellah	68
II.9.1. Description général de l'ouvrage	68
II.9.2. Relevée pathologique.....	69
II.10 Salle omnisport KARA ZAITRI Réda a Imama	70
II.10.1Description général de l'ouvrage	70
II.10.2. Relevée pathologique de la salle	71
Chapitre III Etude d'un portique métallique (le cas de salle de sport Kara Zaitri Réda a Imama)	73
I. Introduction.....	73
II. Charges Permanentes	73
III. Surcharges d'Exploitation	73
III.1. Charge de la Neige.....	74
III.1.1.Calcul de la Charge de Neige	74
III.2. Action du Vent sur la Construction	74
III.2.1 Le calcul des Pressions.....	80
III.3. Force de Frottement du Vent F_{fr}	86
III.3.1. Calcul de la Force de Frottement F_{fr}	87
IV. Etude sismique.....	87
IV.1. Choix de la méthode	87
IV.2 . Le calcul	88
VI.3. modélisation de la structure.....	90
VI.5.Choix de disposition des contreventements	91
VI.6 : Vérification de la structure	91
VI.6.1 : Vérification de la période fondamentale de la structure.....	91
VI.6.1 1 : Structure en Acier.....	92
VI.6.2. Calcul de la force sismique totale	92

VI.6.2.1 : Structure en Acier	93
b) Vérification des déplacements	94
Conclusion Générale.....	91
Références Bibliographies.....	92

Liste des figures

Figure I. 1 : Hall métallique en construction [2].	16
Figure I. 2: La limite d'élasticité en fonction de l'épaisseur de l'acier [4]	18
Figure I. 3: Classe de qualité des vis [4].	19
Figure I. 4: Poutre à treillis [1].	22
Figure I. 5: Flambement de goussets [1].	23
Figure I. 6 : Phénomène de flambement[5].	24
Figure I. 7: Phénomène de voilement [6].	25
Figure I. 8: Phénomène de voilement total de l'âme [6].	25
Figure I. 9: Voilement local de la membrure de l'âme supérieure[6].	25
Figure I. 10: Phénomène de déversement des poutres[6].	26
Figure I. 11: Fissuration à chaud [8].	27
Figure I. 12: Arrachement lamellaire [1].	27
Figure I. 13: Fissuration à froid [8].	28
Figure I. 14: Efforts qui exercent dans un assemblage [8]	29
Figure I. 15 : Différence entre un boulon pas assez serré et trop serré [7].	30
Figure I. 16 : Ovalisation du trou lors du glissement de la pièce	30
Figure I. 17: Potentiel standard de quelques couples oxydo-réducteurs qui nous intéressent dans cette étude [4]	33
Figure I. 18: Diagramme potentiel-pH (diagramme de Pourbaix) du fer[4].	34
Figure II. 1 : Catre de Tlemcen avec le zonage des sites	38
Figure II. 2 : Charpente métallique de la tribune du stade Akid Lotfi	39
Figure II. 3: Schéma explicatif du portique de tribune.	40
Figure II. 4: Raidisseur au niveau de poteau	40
Figure II. 5: Assemblage poteau-poutre	41
Figure II. 6: Assemblage poteau-poteau.	41
Figure II. 7: Ecoulement d'eau sur l'assemblage	42

Figure II. 8: Corrosion sur les boulons du contreventement horizontal	42
Figure II. 9: les diagonales de contreventement horizontal.....	43
Figure II. 10: Chéneau métallique	43
Figure II. 11: Vue à l'intérieur de la piscine	44
Figure II. 12: Corrosion sur les éléments métallique de la toiture	45
Figure II. 13: Corrosion des boulons d'assemblages	45
Figure II. 14: Rugosité d'élément de la toiture	46
Figure II. 15 : Vue de l'extérieure du marché	46
Figure II. 16 : Corrosion de poteaux métallique	47
Figure II. 17 : Décollage du raidisseur	47
Figure II. 18: Eléments inférieurs de la poutre en corrosion.....	48
Figure II. 19: Corrosion du poteau d'intérieur.	48
Figure II. 20 : Plan général de la société ALZINC	50
Figure II. 21 : Les attaques de la corrosion sur les éléments porteuses.....	50
Figure II. 22 : Chambre de l'électrolyse du zinc.....	51
Figure II. 23 : Corrosion des éléments dûe à l'électrolyse du zinc	51
Figure II. 24 : Déformation du contreventement.....	52
Figure II. 25 : Disparition du contreventement	52
Figure II. 26 : Vue intérieur et extérieur du marché.....	53
Figure II. 27 : Maque de lisses de bardage.....	53
Figure II. 28 : Manière de débarrassement de l'eau pluvial.	54
Figure II. 29 : Disparition du bardage latéral	54
Figure II. 30 : Manque de bardage latéral	55
Figure II. 31 : Mauvaise étanchéité du chéneau	55
Figure II. 32 : Corrosion du raidisseur de poteau	56
Figure II. 33 : Orifice de la clé de faitage	56
Figure II. 34 : Décollement de bardage de la toiture.....	57
Figure II. 35 : Vue de la salle avant la rénovation	58
Figure II. 36 : Vu de la salle après la rénovation	58
Figure II. 37 : Apparition de plante et de lichens	59
Figure II. 38 : Chéneau métallique et apparition de lichens sur le mur.	59
Figure II. 39 : Disparition de la toiture.....	60
Figure II. 40 : Chute de la panne métallique	60

Figure II. 41 : La corrosion de la ferme	61
Figure II. 42 : Corrosion de l'acier au sou sol de la salle.....	61
Figure II. 43 : Vue de la station d'essence de SEBDOU	62
Figure II. 44 : Vue d'un chéneau métallique	63
Figure II. 45 : Mauvaise fixation de couverture	63
Figure II. 46 : Les crochets de fixations de la toiture.....	64
Figure II. 47 : Les vis de fixation de la toiture	64
Figure II. 48 : Contreventement métallique	65
Figure II. 49 : Pied de poteau métallique	65
Figure II. 50 : Vue de l'atelier de la gare	66
Figure II. 51 : Toiture en tuile largement altérée.	67
Figure II. 52 : Corrosion des éléments métalliques.....	67
Figure II. 53 : Vue de salle BENMANSOR Abdellah	68
Figure II. 54 : Trous sur les éléments métalliques	69
Figure II. 55 : Soudure au niveau du gousset	69
Figure II. 56 : Mauvaise étanchéité de la toiture	70
Figure II. 57 : Vue de la salle KARA ZAITRI Réda	71
Figure II. 58 : Mauvaise conception de gousset pour contreventement.	71
Figure II. 59 : Fenêtre de la toiture.....	72
Figure II. 60 : Corrosion de la lisse de bardage.....	72
Figure III. 1 : Sens de vent sur la structure	75
Figure III. 2 : Répartition de la pression dynamique	77
Figure III. 3 : Vent (V1-V3) sur la toiture	78
Figure III. 4 : Vent (V1-V3) sur les parois AB-CD	78
Figure III. 5 : Vent (V2-V4) sur la paroi BD-AC	79
Figure III. 6 : Vent (V2-V4) sur les parois BD-AC	79
Figure III. 7 : Pression du Vent (V2 et V4) sur la paroi BC et AD.....	81
Figure III. 8 : Pression sur la toiture- direction V2 etV4 du vent	82
Figure III. 9 : Pression du Vent (V1) sur la paroi AB.....	83
Figure III. 10 : Pression du Vent (V1) sur la toiture AB.....	84
Figure III. 11 : Pression du Vent (V3) sur la toiture (CD).....	86
Figure III. 12 : Modélisation structure de la salle KARA ZAITRI Réda	90
Figure III. 13 : Spectre de réponse de la structure	91

Liste des tableaux

Tableau I. 1 : Typologie des développements de la corrosion [4].	32
Tableau I. 2 : Classe d'exposition et exemples correspondant, d'après [9].	35
Tableau III. 1 : Charges permanentes de la salle de sport	73
Tableau III. 2 : Définition des catégories de terrain (RNV99)	76
Tableau III. 3 : Répartition des pressions dynamiques sur les parois	77
Tableau III. 4 : Pression sur les parois verticales direction V2 et V4.	80
Tableau III. 5 : Pression sur la toiture- direction V2 et V4 du vent.	81
Tableau III. 6 : Pression sur les parois verticales (Direction V1 du vent)	82
Tableau III. 7 : Pression sur la toiture (Direction Va du vent)	83
Tableau III. 8 : Pression sur les parois verticales (Direction V3 du vent)	84
Tableau III. 9 : Pression sur la toiture (direction V3 du vent)	85
Tableau III. 10 : Forces de frottements dues au vent	87
Tableau III. 11 : Valeurs des pénalités P_q	89
Tableau III. 12 : Résultat des forces sismiques à la base	94
Tableau III. 13 .Résultat du déplacement.	94
