

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID, TLEMCEM**



**Faculté De Technologie**  
**Département De Génie Civil**

Mémoire pour l'Obtention du Diplôme de Master en Génie Civil  
**Spécialité : Art et technique de réhabilitation des bâtiments**

**Thème**

**Étude de la réhabilitation de la mosquée du cimetière  
de « Chouhada » de Hennaya**

**Présenté par :**

ABDELLAOUI Kamel                      &                      DELHEM Sidi Mohammed

**Devant le Jury composé de :**

Mr. N. BOUMECHRA	President
Mr. K. HAMDAOUI	Examineur
Mr. S. MELOUKA	Examineur
Mr. B. GHENNANI	Encadreur
Mr. K. BENDIOUIS	Encadreur

## **Remerciements**

*Nous tenons tout d'abord de remercier Dieu qui nous a donné la volonté, la force, la patience, le courage et la santé pour réaliser ce travail.*

*Ainsi nous tenons à exprimer un remerciement tout spécial à nos parents, pour leur encouragement tout le long de nos études.*

*Aussi nous signifions notre profonde reconnaissance à nos encadreurs, Mr. GHENNANI Boubeker et Mr. BENDIOUIS Karim, pour l'excellent suivi et les conseils pertinents apportés durant la réalisation de ce mémoire ainsi que pour la grande confiance qu'ils nous ont accordés.*

*Des remerciements sont également offerts à Mr. BOUMECHRA Nadir le président des jurys, aussi Mr. HAMDAOUI Karim et Mr. MELOUKA Smain qui nous ont fait l'honneur d'examiner ce travail.*

*Nous exprimons notre profonde gratitude à Mr. A. BELAROUCI et Mr. H. BOURICH qui nous ont aidés pour avoir les informations sur notre projet.*

*Un grand merci à tous ceux qui d'une manière ou d'une autre nous ont aidé et soutenu.*

*Finalement à mes sœurs.*

## *Sommaire*

Remerciements.....	I
Résumés.....	II
Abstract.....	II
ملخص.....	III
Table des matières.....	IV
Liste des figures.....	VIII
Liste des photos.....	X
Liste des tableaux.....	XI
Introduction générale.....	1

### *Chapitre I : Généralités Sur Les Mosquées*

1.1. Introduction.....	4
1.2. Définitions.....	4
1.2.1. Réhabilitation.....	4
1.2.2. Rénovation.....	4
1.2.3. Modernisation.....	4
1.2.4. Dénoyautage/reconstruction avec conservation partielle.....	5
1.2.5. Restauration.....	5
1.3. Origines des mosquées.....	5
1.4. Caractères généraux des mosquées.....	5
1.5. Éléments architecturaux d'une mosquée.....	7
1.5.1. La salle de prière.....	7
1.5.2. Le minaret.....	9
1.5.3. Le mihrab.....	9
1.5.4. Le minbar.....	9
1.5.5. La coupole.....	10
1.5.5.1. Dôme surbaissé.....	11
1.5.5.1. Dôme surhaussé.....	11
1.5.6. Iwan.....	12
1.6. Les phénomènes d'instabilité d'une mosquée.....	13

1.6.1. Le flambement .....	13
1.6.2. Phénomène des poteaux courts .....	13
1.7. Pathologie d'une mosquée.....	14
1.7.1. Fissures.....	14
1.7.1.1. Fissures à cause de la sécheresse.....	14
1.7.1.2. Les microfissures.....	14
1.7.1.3. Les fissures fines .....	14
1.7.1.4. Les fissures larges et les lézardes.....	15
1.7.2. L'affaissement .....	15
1.8. Conclusion.....	16

## Chapitre II : *Description Et Diagnostic*

2.1. Introduction .....	18
2.2. Description de l'ouvrage .....	18
2.2.1. Description géométrique de la mosquée .....	19
2.2.2. Description des éléments de l'ouvrage.....	21
2.2.3.1. Planché.....	21
2.2.3.2. Coupole en béton armé .....	21
2.2.3.3. Maçonnerie .....	21
2.2.3.4. Les éléments structuraux .....	21
2.2.3. Les fondations .....	22
2.3. Pré-diagnostic .....	22
2.4. Diagnostic.....	23
2.5. Constatation visuel .....	23
2.6. Investigations sur le site .....	23
2.7. Désordres constatés .....	23
2.8. Relevé graphique des pathologies .....	29
2.9. Causes des désordres recensées.....	31
2.10. Étude du sol.....	36
2.11. Conclusions .....	38

## Chapitre III : *Vérification Et Analyse Des Éléments Structuraux*

3.1. Introduction .....	40
3.2. Vérifications des conditions RPA99 pour les éléments structuraux principaux de la mosquée à l'état existant.....	40

3.2.1.	Vérification des conditions du RPA99 pour les poteaux carrés.....	40
3.2.2.	Vérification des conditions du RPA99 pour les poteaux circulaires.....	40
3.2.3.	Vérification de flambement.....	40
3.2.3.1.	Élancement mécanique $\lambda$ .....	40
3.2.3.2.	Le rayon de giration $i$ .....	41
3.2.4.	La longueur du flambement .....	42
3.2.5.	Vérification des poutres .....	42
3.2.5.1.	Poutres principales .....	43
3.2.5.2.	Chaînage .....	43
3.2.6.	Planchers .....	44
3.2.6.1.	L'épaisseur du plancher .....	44
3.2.6.2.	Poutrelles .....	44
3.2.7.	Fondation.....	45
3.3.	Modélisation de la mosquée existant par logiciel sap2000 .....	46
3.3.1.	Démarches de modélisation de la mosquée.....	47
3.3.2.	Propriété des matériaux .....	48
3.3.3.	Classification de la mosquée .....	48
3.3.4.	Détermination des charges permanentes et d'exploitations .....	48
3.3.5.	Les données de l'analyse modale spectrale.....	50
1.3.1.	Analyse modale .....	51
3.3.6.	Détermination des sollicitations exercées sur les poteaux supportant la coupole .....	53
3.3.7.	Détermination des sollicitations exercées sur les structuraux la partie sud-est de la mosquée.....	54
3.3.8.	Détermination des sollicitations exercées sur les structuraux la partie Nord-est de la mosquée .....	55
3.3.9.	Résultats des sollicitations de la coupole à l'ELU .....	57
3.3.10.	Commentaire .....	60
3.1.	Conclusion.....	60

#### *Chapitre IV : Travaux Et Technique De Réhabilitation*

4.1.	Introduction .....	62
4.2.	Synthèses et réflexions sur l'analyse .....	62
4.3.	Le plans d'action des opérations de réhabilitation .....	62
4.3.1	Action 1 : Reprise en sous-œuvre.....	43
4.3.2	Action 2 : Chemisage des poteaux .....	65
4.3.3	Action 3 : La liaison des poteaux par des longrines .....	66
4.3.4	Action 4 : Enlevé les arbres qui sont juste à coté de la mosquée .....	69

4.3.5	Action 5 : drainage .....	69
4.3.6	Action 6 : Traitement des fissures profondes par la technique des agrafes...	70
4.3.7	Action7 : Réalisé les poteaux qui manques .....	72
4.3.8	Action8 : Remise et pose du carrelage .....	73
4.3.9	Action 9 : Refaire l'étanchéité.....	73
4.3.10	Action 10 : Renforcement des murs périphériques .....	74
4.3.11	Action 11 : Décapé la végétation sur la terrasse.....	75
4.3.12	Action 12 : Réglé le problème de l'acoustique .....	75
4.3.13	Action 13 : Éliminer le cisaillement du poteau court .....	77
4.3.14	Les parties concernées par les travaux de réhabilitation .....	78
4.4.	Les résultats obtenus après et après les travaux de réhabilitation .....	79
4.5.	Recommandation et précaution .....	81
4.6.	Conclusion.....	82
	Conclusion générale.....	83
	Références bibliographiques.....	85

## *Liste des figures*

Figure 1.1. Kairouan, la Grande Mosquée de Sidi Uqba (Tunisie).....	18
Figure 1.2. L'agrandissement se la salle de prière de la mosquée de Kairouan.....	19
Figure 1.3. Flambement d'un poteau .....	24
Figure 1.4. Un témoin de plâtre.....	26
Figure 1.5. Risque d'affaissement des terrains.....	26
Figure 2.1. Plan schématisé de la mosquée de Chouhada. ....	31
Figure 2.2. L'emplacement des pathologies sur la terrasse. ....	40
Figure 2.3. L'emplacement des pathologies dans la mosquée. ....	41
Figure 2.4. L'emplacement des pathologies à l'intérieur de la salle de prière.....	42
Figure 2.5. Figure montrant la cause de dégradation des poteaux courts.....	47
Figure 2.6. Le résultat des deux sondages effectué autour de la mosquée.....	48
Figure 3.1 . Les poutres existantes dans la mosquée.....	54
Figure 3.2. Corps creux avec une dalle de compression .....	55
Figure 3.3. Les dimensions des poutrelles existant. ....	55
Figure 3.4. Les dimensions de la semelle existante.....	57
Figure 3.5. La structure à modéliser. ....	58
Figure 3.6. Coupe d'une dalle. ....	59
Figure 3.7. Figure 3D de la mosqué à modéliser (model sap2000).....	61
Figure 3.8. Le graphe du spectre. ....	62
Figure 3.9. Les cinq premiers modes de vibration. ....	63
Figure 3.10. Numérotation des poteaux supportant de la coupole. ....	64
Figure 3.11. Les éléments structuraux de la partie sud-est de la mosquée.....	65
Figure 3.12. Les éléments structuraux de la partie Nord-est de la mosquée.....	67
Figure 3.13. Résultats obtenues pour les efforts tranchant $T_{max}$ à l'ELU.....	69
Figure 3.14. Résultats obtenues pour les moments $M_{max}$ à l'ELU. ....	69
Figure 3.15. Résultats obtenues pour les efforts normal $N_{max}$ à L'ELU. ....	70
Figure 3.16. Déformation de la coupole. ....	70
Figure 4.1. Vue latérale d'une partie concernée par les travaux sous fondation. ....	75
Figure 4.2. Disposition des éléments d'étayage sur la partie concernée par les travaux sous fondation (vue en plan).....	75
Figure 4.3. Disposition des éléments d'étayage sur la partie concernée par les travaux sous fondation (vue latérale).....	76
Figure 4.4. Schéma représentant le chemisage du poteau .....	77
Figure 4.5. La coupe AA du poteau carré à gauche .....	77
Figure 4.6. Longrine de profilé HEA300 .....	78
Figure 4.7. Les éléments de l'assemblage.....	78
Figure 4.8. L'assemblage des poteaux par la longrine .....	79
Figure 4.9. Longrine en Béton Armé.....	79
Figure 4.10. Un arbre près de la mosquée .....	80
Figure 4.11. Le circuit d'évacuation des eaux pluviales. ....	81
Figure 4.12. Des agrafes en fer plat de forme U.....	82
Figure 4.13. Traitement d'une fissure .....	83
Figure 4.14. Remettre les poteaux à leur place.....	84

Figure 4.15. Mise en œuvre par collage de feuilles.....	84
Figure 4.16. Poteau raidisseur .....	85
Figure 4.17. Absorbeur de son.....	86
Figure 4.18 . Panneau absorbant avec relief en dent de scie .....	87
Figure 4.19. Protection des poteaux courts contre le cisaillement par des voiles en béton armé. ....	88
Figure 4.20. Schéma représentant l'emplacement des travaux de réhabilitation.....	89
Figure 4.21. Résultats obtenues pour les efforts tranchant $T_{max}$ à l'ELU.....	90
Figure 4.22. Résultats obtenues pour les efforts normal $N_{max}$ à L'ELU. ....	91
Figure 23. Résultats obtenues pour les moments $M_{max}$ à l'ELU .....	91



## *Liste des photos*

Photo 1.1. Damas - Un des trois minarets de la grande mosquée des Omeyyades. ....	20
Photo 1.2. Le mihrab et le minbar de la mosquée de Kairouan- Tunisie. ....	21
Photo 1.3. Le dôme de la mosquée Sainte-Sophie à Constantinople .....	22
Photo 1.4. Mosquée Imam zadeh à Iran .....	23
Photo 1.5. L'un des 4 iwans dans la cour de la mosquée Kalon. ....	23
Photo 2.1. Vue général sur la mosquée. ....	29
Photos 2.2. Vue sur la terrasse.....	32
Photos 2.3. Semelle superficielle type isolée ancrée à une profondeur moyenne de 1m. ...	33
Photos 2.4. Tassements différentiels sur les cotés Ouest et Sud de la mosquée. ....	35
Photos 2.5. Les poteaux fissurés.....	36
Photos 2.6. Des Fissures horizontales. ....	37
Photos 2.7. Des fissures verticales.....	37
Photos 2.8. Fissures de mosaïque profondes à 45°. ....	37
Photo 2.9. Fissure diagonal à 45°. ....	38
Photos 2.10. Décollement de carrelage. ....	38
Photo 2.11. Fissure des murs périphériques. ....	39
Photo 2.12. Deux poutres croisées, sans poteau. ....	39
Photo 2.13. Semelle isolé encré superficiellement. ....	43
Photo 2.14. Dégradation du complexe d'étanchéité sur la terrasse plate. ....	43
Photo 2.15. Manque de poteau qui a été arraché pour dégager l'espace pour le mihrab. .	44
Photo 2.16. Les traces de ruissellements et d'infiltrations sur les murs. ....	44
Photo 2.17. Présence de végétations sur la terrasse.....	45
Photo 2.18. Présence d'arbres sur le côté Nord de la mosquée.....	45
Photo 2.19. Une source d'eau sur coté Sud.....	45
Photo 2.20. Eaux stagnantes dans le regard situé sur la périphérie du réseau de drainage.	46
Photo 2.21. Déchirures des cordons de soudures .....	46
Photo 4.1. Une fissure active sur la façade de la mosquée qui est déjà réparée.....	81

## *Liste des tableaux*

Tableau 3.1. Caractéristiques du béton armé utilisé .....	59
Tableau 3.2. Les charges appliquées sur la mosquée .....	60
Tableau 3.3. Valeurs des pénalités $P_q$ .....	61
Tableau 3.4. Valeurs du paramètre modal spectral .....	62
Tableau 3.5. Analyse modale de la structure.....	62
Tableau 3.6. Résultat obtenu par logiciel SAP2000 pour les poteaux représenté sur la figure 3.9.....	64
Tableau 3.7. Les résultats obtenus par logiciel SAP2000 pour les poutres de la partie Sud-est de la mosquée. ....	66
Tableau 3.8. Les résultats obtenus par logiciel SAP2000 pour les poteaux de la partie Sud-est de la mosquée. Figure 3.11.....	66
Tableau 3.9. Les résultats obtenus par logiciel SAP2000 pour les poteaux de la partie Nord-est de la mosquée. Figure 3.12.....	67
Tableau 3.10. Les résultats obtenus par logiciel SAP2000 pour les poutres de la partie Nord-est de la mosquée. Figure 3.12.....	68
Tableau 4.1. Tableau récapitulatif des opérations de réhabilitation .....	89
Tableau 2. Tableau des périodes avant et après la modélisation. ....	92

**Chapitre I**  
*Généralités Sur Les Mosquées*

## **Chapitre II**

*Description Et Diagnostic*

# **Chapitre III**

## ***Vérification Et Analyse Des Éléments Structuraux***

**Chapitre IV**  
*Travaux Et Techniques De Réhabilitation*

## Introduction générale

La réhabilitation concerne l'amélioration d'un habitat existant, elle peut être légère (isolation thermique ou phonique, menuiseries, plomberie, électricité...), moyenne ou lourde. C'est aussi la remise d'un ouvrage qui a subi des désordres simples ou complexes en état fonctionnelle. La réhabilitation concerne surtout les anciens ouvrages, mais peut aussi toucher les nouveaux par simple correction des erreurs de constructions.

En général pour les constructions neuves, on a trois cause de dégradation de la structure, soit que la structure est mal dimensionnée et ne respect pas les règlements de construction, soit qu'elle est construite sur un sol mal étudié, ou que la structure est construite dans un climat défavorable.

La réhabilitation d'une mosquée a le but de réparer les éléments de construction défectueux d'une part et d'une autre, assurer le confort des fideles.

Le renforcement et la réparation d'une mosquée endommagé constitue assurément l'un des problèmes les plus délicat que rencontre le domaine du génie civil dans notre pays. Ceci revient généralement à l'âge de ce type de bâtisse, et au symbole qu'elle représente pour les usages. Le présent mémoire vise à faire une étude de réhabilitation d'une mosquée construite dans les années soixante-dix. Cette étude consiste à déterminer les causes de dégradation, trouver des solutions pour la réhabiliter, la remettre à l'état fonctionnel, et découvrir des méthodes et techniques de renforcement.

Cette mosquée est située dans le cimetière des « Chouhada » sur la route national RN 22 « à coté du village d'El Hennaya ». Elle représente un symbole islamique et historique.

Ce mémoire à pour objectif d'apprendre à maîtriser un tel problème, faire le point sur l'état de la structure, concevoir un plan de travail, le réaliser, interpréter les résultats, tirer des conclusions et présenter l'ensemble sous forme d'un document de nature technique.

Dans le premier chapitre, on présente après une recherche bibliographique, les caractères principaux des mosquées, et les différentes coupoles célèbres avec leur histoire. Puis on a présenté les différent types de pathologie qui peut toucher une structure en général sans oublier l'impact du sol sur une structure.

Pour le deuxième chapitre, on a fait une étude descriptive de l'ouvrage et présenté ce dernier avec une photo aérienne. Ensuite on a passé à l'étape de diagnostique qui contient un pré diagnostique et la constatation visuelle. Ainsi, on a présenté les désordres constatés sous forme de photos.

Le troisième chapitre contient la vérification du dimensionnement aux normes RPA99 V2003. Ensuite on a modélisé la mosquée par le logiciel SAP2000. On a comparé les résultats avec l'existant.

Le dernier chapitre concerne la partie pratique de notre projet, après les calculs et la modélisation on essaie de trouver des solutions pour corriger les désordres de la mosquée sous les nouvelles normes, on a proposé plusieurs techniques de réhabilitation.



## Chapitre I

### 1.1. Introduction

Les mosquées présentent un impact très profond sur notre vie quotidienne. Pour cela il faut bien protéger et sauvegarder notre sacré, celui-ci peut être atteint à travers des opérations de réhabilitation qui ne doivent pas être de simple remise en état d'un bâti mais de la prise en charge de ses occupants afin de leur procurer un confort et un bien-être. La réussite d'une telle opération de réhabilitation nécessite la cohésion entre les aspects religieux et techniques.

Dans ce chapitre bibliographique on commence par la description des mosquées, ces caractères spéciaux et donner un aperçu général sur les typologies et les techniques de construction des anciennes mosquées et coupoles. Puis on passe aux phénomènes d'instabilité d'une structure et présente les différents types de pathologie qui peut toucher une structure.

### 1.2. Définitions

Il n'existe pas de terme unique et universel pour décrire l'ensemble des mesures de construction appliquées aux bâtiments existants et qui pourrait en tant que tel être compris de façon générale. Une multitude de termes signifiant la même chose (ou presque) complètent celui de rénovation, réhabilitation, modernisation, dénoyautage, construction dans l'existant, restauration, maintenance.

#### 1.2.1. Réhabilitation

La réhabilitation se limite au remplacement et à la réparation d'éléments de construction défectueux. Ces travaux se déroulent régulièrement au milieu des intervalles de rénovation profonde et incombent souvent au gérant de l'immeuble sans mission de conception. Il faudrait pour des raisons économiques essayer de déterminer si la réfection d'éléments semblables se répète. [GEORG. G, et al., 2012]

#### 1.2.2. Rénovation

Contrairement à la réhabilitation, les mesures de rénovation s'appliquent aussi à des éléments de construction ou des surfaces intacts qui seraient par exemple démodés. Par rapport aux restructurations, elles n'entraînent pas de modifications essentielles à la structure porteuse et à l'espace architectural. Elles se situent donc à mi-chemin entre les opérations d'entretien et celles de restructuration. [GEORG. G, et al., 2012]

#### 1.2.3. Modernisation

Le terme de modernisation a été employé pour la première fois dans le droit locatif. Conformément au code civil, le loyer annuel peut être réévalué de 11 % des sommes consacrées à la modernisation lorsque la mesure a été prise conformément aux prescriptions légales (annonce préliminaire respectant les délais, description détaillée des mesures prévues). Les modernisations peuvent consister en des rénovations partielles, par

exemple l'isolation thermique périphérique ou le remplacement des portes et des fenêtres, mais aussi des travaux comme l'ajout de balcons. Elles servent à l'amélioration des surfaces locatives par l'augmentation du confort et l'abaissement des coûts de fonctionnement. Selon le droit locatif, les mesures suivantes entrent dans le cadre de la modernisation :

- Amélioration des protections acoustiques, et thermique.
- Nouvel équipement sanitaire.
- Installation d'un chauffage central.
- Complément d'installations électriques, liaison câblée pour la télévision, installation d'un système d'interphone.
- Construction des balcons ou de jardin d'hiver.
- Installation d'un ascenseur. [GEORG. G, et al., 2012]

#### **1.2.4. Dénoyautage/reconstruction avec conservation partielle**

Le dénoyautage est très comparable à une construction neuve. Il s'agit souvent de mesures découlant d'une appréciation très controversée de la protection du patrimoine dans lesquelles la façade d'un bâtiment ancien est conservée tandis que l'intérieur est reconstruit après sa démolition complète. [GEORG. G, et al., 2012]

#### **1.2.5. Restauration**

La définition du terme restauration signifie la construction d'un bâtiment inachevé, le fait de le terminer. La notion est apparue à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, au moment où est né l'intérêt pour le patrimoine culturel du passé. L'architecte et historien de l'art français Eugène Viollet-le-Duc a joué un rôle majeur en faisant restaurer au début du 19<sup>e</sup> siècle des châteaux médiévaux ; La cathédrale de Cologne a également été achevée après près de trois siècles d'interruption. [GEORG. G, et al., 2012].

### **1.3. Description des mosquées**

Le terme mosquée est le calque moderne d'un vieux mot latin du moyen âge « moschet » ou bien de l'italien « moschet », eux même dérivés du mot arabe « masjid » tel est le nom de l'édifice dans le quel le fidele accomplit sa prière rituelle.

Toute fois, seul édifice où la foule se réunit obligatoirement pour la prière solennelle du vendredi et pour écouter l'allocution prononcée par l'imam. Dans la mosquée la prière est présidée par l'imam, et pour que tous les assistants le voient bien, les rangs des fideles se développent en largeur avant de s'échelonner en profondeur.

### **1.4. Caractères généraux des mosquées**

Les mosquées ont eu au cours des siècles et suivant les tendances régionales, des plans qui varient, mais il n'en existe pas moins un type général. La bâtisse est close par des murailles aveugles ou percées de fenêtre. Ces dernières jouent un rôle décoratif, l'éclairage étant assuré par la cour intérieure. L'édifice doit être orienté vers la Mekke et il en résulte suivant les contrées des mises en place différentes.

La cour élément essentiel de la mosquée, pourrait avoir une double origine, elle pourrait être due à la volonté de rappeler les premiers lieux de la prière en commun, ou bien simplement être une conséquence du climat de l'orient qui incitait à la vie en plein air, comme l'attestent les demeures particulières qui possèdent toujours une cour. Le plan

primitif de la mosquée comporta donc une cour entourée de portique dont le sanctuaire appelé « Kibla », oriente dans la direction de la Mekke est plus profond que les trois autres nefs. La « kibla » indiquée par une petite niche, le « mihrab », est le point focal de la mosquée, c'est de lui que part la symétrie des décors ainsi que la répartition des nefs. L'édifice possède des toitures plates reposant exceptionnellement sur des piliers, mais généralement sur des arcades à colonnes. Afin de permettre à un grand nombre de fideles de s'aligner pour la prière du vendredi, les grandes mosquées ont un plant en largeur.

La Grande mosquée de Damas formé d'une cour rectangulaire bordée de portiques à double arcade, encore recouverte partiellement de mosaïque et de marbres, devait être fort luxueuse si l'on en croit certaines descriptions, elle a été endommagée par plusieurs incendies.

Au IX<sup>ème</sup> siècle, la mosquée allait être bâtie selon un plan original, avec des variantes qui devaient donner naissance à plusieurs écoles. On convient de diviser l'ensemble en cinq groupes (Syro-égyptien, persan, hispano mauresque, Turquie ottomane et de l'inde), formés plus tardivement.

L'école persane ne se limite pas à la perse telle qu'on la définit aujourd'hui, elle englobe l'Afghanistan, le Turkestan, le Caucase, l'Arménie et la Mésopotamie. L'Iran fera sentir son influence en Asie mineure après que les « Seldjoukides », au cours du XI<sup>ème</sup> siècle, y auront établi leur domination. Avant de revêtir une personnalité indéniable, l'art de l'Afrique du Nord et de l'Espagne avait d'abord été importé d'Orient. Dans l'ensemble, les mosquées furent toutes jusqu'à l'évènement des « Ayyoubides » conçues sur le même plan, celui de la mosquée à portiques et à toitures plates reposant sur des arcades à colonnes ou exceptionnellement sur des piliers.

Durant cette première période la décoration a prit deux aspects :

- 1- En Égypte elle consista dans la sculpture et la peinture d'un décor quel qu'il soit floral, géométrique ou épigraphique, sur les matériaux mêmes de la construction, pierre, stuc ou bois.
- 2- Au contraire, en Syrie, la richesse « byzantine » conserve, toute sa valeur et l'ornementation est obtenue par des matières somptueuses, marbres, mosaïques émaillées, métaux.

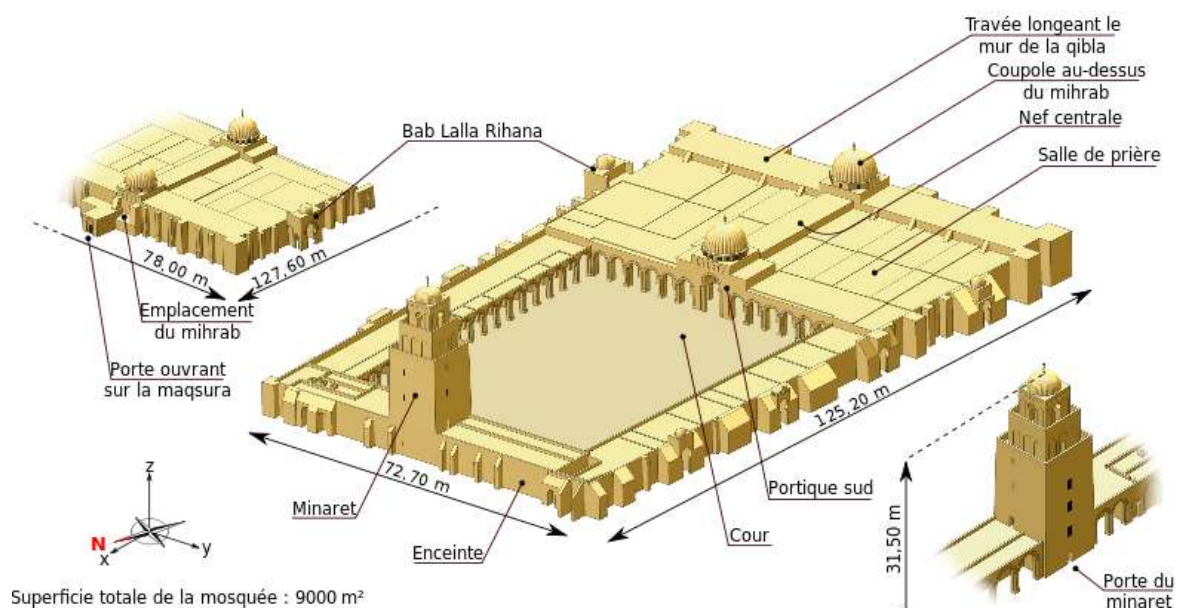
L'origine des minarets sont très variées : le minaret carré qui est peut-être un souvenir du clocher syrien, pénétrera jusqu'en Espagne, d'où il sera introduit au Maroc. En Perse va naître le minaret long et mince, cylindrique légèrement tronconique, et ce type ne sera peut-être pas sans influence sur ces «cierges de pierre », avec bonnet et éteignoir, qui flanquent les coupoles des mosquées ottomanes. L'Égypte, carrefour d'influences, offrira une floraison variée de coupoles et de minaret jusqu'au jour où les architectes « mamlouks » réinventeront dans leur minaret à trois étages, cubique, octogonal et cylindrique, peut être séparé de la mosquée. Pour la mosquée fondée au IX<sup>ème</sup> siècle par « Ibn Tùlùn » au Vieux-Caire, le minaret, extérieur à l'édifice, fait partie d'une restauration entreprise a la fin du XIII<sup>ème</sup> siècle, mais la forme étrange de son escalier à rampe hélicoïdale montre qu'il est la copie d'un minaret antérieur bâti sur le model de celui de la mosquée de « Samarra», en Mésopotamie.

Une fontaine d'eau courante est nécessaire pour l'ablution rituelle qui doit précéder la prière, l'emplacement n'en est pas constant, mais on la trouve souvent au milieu de la cour de la mosquée.

Dans les grandes mosquées fut prévue une estrade, le « minbar », qui servait à la glorification hebdomadaire du souverain, aux proclamations publiques et au prône édifiant. Cette chaire et généralement en bois et n'est pas adjacente à l'édifice, mais placée à côté du mihrab. Dans les capitales, un espace clos d'une grille en bois, la « maqsura », était réservé au souverain dans la grande mosquée ; c'était peut-être une survivance de la loge impériale des églises byzantines. [ **Encyclopédia Universalis France S.A, 1968**].

### 1.5. Éléments architecturaux d'une mosquée

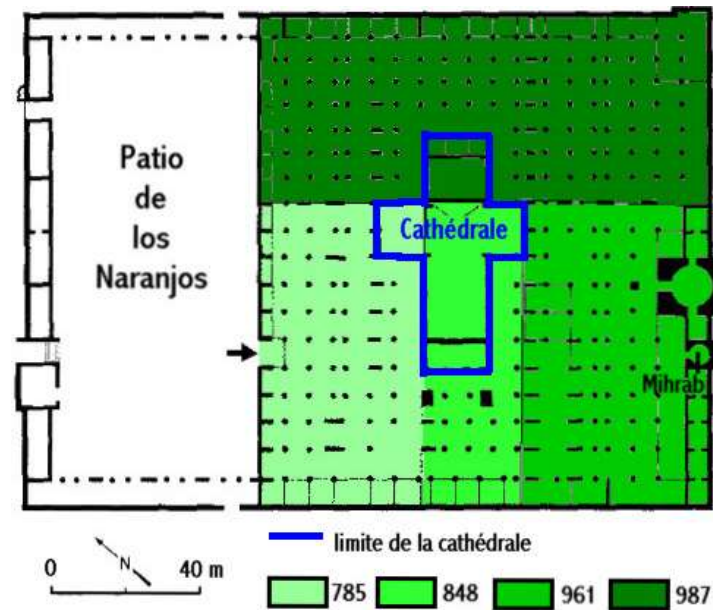
Très divers dans leur taille et leur style architectural, les mosquées peuvent être de simples « masjid » servant au culte quotidien, mais aussi des « Jamie » (grandes mosquées), où les fidèles se rassemblent pour la prière du vendredi. Les éléments caractéristiques de la mosquée sont apparus dès l'aube de l'islam. Au fur et à mesure de l'expansion de l'islam, les mosquées ont intégrées de plus en plus d'éléments issus de l'architecture des territoires conquis. Chaque région connaît donc une architecture de mosquée qui lui est propre. La figure suivante présente les différents éléments architecturaux d'une mosquée. (**Figure 1.1**). [<http://actualite.lemuslim.com>]



**Figure 1.1.** Kairouan, la Grande Mosquée de Sidi Uqba (Tunisie)

#### 1.5.1. La salle de prière

La salle de prière (haram) est un rectangle orienté dans le sens de la largeur puisque les fidèles se rassemblent face au mihrab, niche vide pratiquée dans le mur de la qibla qui marque la direction de La Mecque. La plupart des salles de prière sont donc plus larges que profondes (mosquées omeyyades). Cependant, le plan de la mosquée de Cordoue devenu à la suite de nombreux agrandissements, plus profond que large, sera repris tel quel dans les mosquées almohades de Séville et de Rabat (XII<sup>e</sup> s.) et dans les mosquées mérinides au (XII<sup>e</sup> s.). (**Figure 1.2**). [<http://www.larousse.fr/>]



**Figure 1.2.** L'agrandissement se la salle de prière de la mosquée de Kairouan.

À côté du mihrab se tient la chaire à prêcher (minbar), qui rappelle le siège en bois de tamaris où le Prophète s'asseyait, juchée à l'extrémité d'un escalier, souvent monté sur roues, le minbar est une petite plateforme carrée où se tient le prédicateur pour le prêche du vendredi. Un des plus anciens minbars est celui de la Grande Mosquée de Kairouan IX<sup>e</sup>-X<sup>e</sup> siècle. En bois ou en marbre, cette chaire est parfois surmontée d'une coupole, qui introduit alors une résonance ésotérique dans l'édifice, le carré semble symboliser la terre avec ses quatre points cardinaux, ses quatre saisons et ses quatre éléments, tandis que la forme circulaire évoque le Ciel et l'infini. Cette superposition du cercle sur le carré pourrait signifier l'alliance de la Terre et du Ciel grâce à Dieu .

Parfois dans la salle de prière, une balustrade ou une cloison ajourée (la maqsura) délimite la partie de la mosquée réservée aux femmes, comme elle marquait autrefois l'emplacement où le souverain pouvait se tenir en toute sécurité.

Craignant l'idolâtrie ou le culte des saints, l'islam bannit toute image dans la mosquée, les seuls décors résident dans la sculpture (sur pierre, sur stuc, sur bois) de figures géométriques ou de flore stylisée, dans l'emploi des mosaïques émaillées ou des métaux et des reproductions de versets du Coran. Les mosquées décorées d'écriture coufique souvent de stuc (mosquée d'Ibn Tulun au Caire, IX<sup>e</sup> et XIII<sup>e</sup> s.), se parent de superbes faïences ou de revêtements de marbre en Asie centrale puis en Iran ou dans les Indes mogholes.

Plus profonde et plus grande à Médine et à Kairouan qu'à Cordoue, à Séville et dans les mosquées marocaines, la cour (sahn) est bordée de portiques qui prolongent les nefs de la salle de prière sur une rangée (à Tunis), deux rangées (à Kairouan), trois rangées (à Alger) et même quatre rangées de colonnes, comme dans la mosquée al-Kutubiyya de Marrakech. Quelquefois plantée d'arbres, la cour recouvre souvent des citernes nécessaires à l'alimentation en eau des bassins ou des fontaines qui servent aux ablutions rituelles. En Perse apparaissent les « iwans », larges salles ouvertes sur le grand côté et surmontées d'un arc, qui animent la cour des mosquées ou remplacent les salles de prière. [<http://www.larousse.fr>].

### 1.5.2. Le minaret

À l'extérieur de la mosquée se dressent le ou les minarets (trois pour la mosquée de Dnas, quatre pour Sainte-Sophie lors de sa transformée en mosquée, six pour la mosquée Bleue), du sommet desquels, cinq fois par jour, retentit la voix du « muezzin » qui convie les fidèles à la prière. Les minarets ne sont apparus que tardivement (IX<sup>e</sup> et X<sup>e</sup> s.), peut-être sous l'influence des campaniles chrétiens. Leur forme (cassée sous les Omeyyades et au Maghreb, ronde sous les Abbassides), leur décor (inexistant, réduit aux arcatures des ouvertures, ou développé sur de larges panneaux) et leur emplacement varient selon les pays ou les styles architecturaux. Au Proche-Orient, la civilisation ottomane a imposé son modèle, multipliant les minarets jumeaux « en fuseau ».

Si la mosquée est certainement l'édifice religieux le plus original de l'islam, il faut noter que lui sont souvent associés d'autres bâtiments, tels que la « madrasa », ou écoles coraniques d'inspiration sunnite, ou les mâristâns (hospices), parfois richement décorés. (Photo 1.1). [<http://www.larousse.fr>].



**Photo 1.1.** Dnas - Un des trois minarets de la grande mosquée des Omeyyades. [<http://www.iqramag.info>]

### 1.5.3. Le mihrab

Dns une mosquée, le mihrab, souvent décoré avec deux colonnes et une arcature, est une niche qui indique la qibla, c'est-à-dire la direction de la Ka'ba à La Mecque vers où se tournent les musulmans pendant la prière. Il est souvent au milieu du mur de la qibla. [ANDREW. P, 1999]

### 1.5.4. Le minbar

Le minbar est une sorte d'escabeau servant de chaire d'où le khatib (imam) fait son sermon lors de la prière du vendredi dans une mosquée. Il est un élément important de la salle de prières avec le mihrab.



C'est dans la Grande Mosquée de Kairouan, en Tunisie, que se trouve le plus ancien minbar du monde musulman encore conservé in situ. Datant du IX<sup>e</sup> siècle (vers 862) et se distinguant par une grande richesse ornementale, il se compose de plus de 300 pièces sculptées et assemblées en bois de teck. Remarquable par la finesse de son exécution, le minbar de la Grande Mosquée de Kairouan constitue l'un des chefs-d'œuvre de l'art du bois en terre d'islam. (Photo1.2). [[www.qantara-med.org](http://www.qantara-med.org)]



**Photo 1.2.** Le mihrab et le minbar de la mosquée de Kairouan- Tunisie.  
[[www.qantara-med.org](http://www.qantara-med.org)]

### 1.5.5. La coupole

Une coupole est un mode de couverture hémisphérique, qui repose sur une zone de transition octogonale (le plus souvent), elle-même posée sur quatre piliers. La zone de transition est le grand problème des architectes islamiques. Ils peuvent se servir de pendentifs, c'est-à-dire de triangles convexes posés sur la pointe, comme dans le monde byzantin, ou de trompes, à savoir des petites niches, ce qui proviendrait du monde iranien.

Les nervures et les muqarnas qui remplissent souvent les coupoles dans le monde islamique n'ont en général pas de véritable fonction architectonique.

On appelle dôme l'extérieur d'une coupole. À partir du XV<sup>e</sup> siècle, les coupoles sont très souvent doubles, c'est-à-dire qu'il existe un espace plus ou moins important entre la coque interne et la coque externe. Cette technique permet de réaliser des monuments plus hauts.

L'une des plus anciennes et des plus remarquables coupoles sur trompes du monde musulman, est la coupole élevée au-dessus du mihrab de la Grande Mosquée de Kairouan en Tunisie ; cette coupole, datée de la première moitié du IX<sup>e</sup> siècle (vers 836), comprend extérieurement une calotte hémisphérique côtelée reposant sur un tambour octogonal aux faces légèrement concaves qui se dresse sur une base carrée ornée de niches. Intérieurement, la calotte hémisphérique est ornée de 24 cannelures concaves rayonnant autour de la clef de la coupole. [Soha. G et Marwa. M, 2005].

### 1.5.5.1. Les différents types de dômes

Les pluarts des dômes sont nommés suivant leur forme, leur construction ou leur décoration, mais en dehors du dôme en cul-de-four lequel est formé par une demi-coupole, et du dôme à pans coupés qui s'élève sur un plan polygonal, il faut distinguer parmi les dômes de forme sphérique deux grandes divisions :

Les dômes surbaissés

Les dômes surhaussés.

#### 1.5.5.1.1. Dôme surbaissé

Le dôme surbaissé n'offre comme surface apparente, qu'un segment en calotte et non la totalité d'une demi-sphère. Ainsi, le dôme de la mosquée Sainte-Sophie à Constantinople, et nombre d'autres dômes romains ou byzantins antérieurs ou postérieurs comme construction à cet édifice. **(Photo 1.3).** [<http://www.cosmovisions.com>].



**Photo 1.3.** Le dôme de la mosquée Sainte-Sophie à Constantinople [[www.euratlas.com/](http://www.euratlas.com/)]

#### 1.5.5.1.2. Dôme surhaussé

Le dôme surhaussé au contraire, offre extérieurement une demi-sphère complète dont la surface se prolonge à la base, soit suivant un tambour vertical comme dans beaucoup de dômes, soit suivant une courbe rentrante donnant au dôme une forme plus ou moins bulbeuse, forme très usitée dans l'architecture musulmane.

Ð plus, ces dômes surhaussés sont fréquemment, dans l' architecture de l'Orient de l'Europe et de l'Asie, surmontés d'une pointe aiguë prise aux dépens de la courbe supérieure et raccordée avec cette courbe. Plusieurs mosquées ou tombeaux du Caire, de l'Iran et de l'Inde offrent cette variété de dôme qui se propagea en Occident, dans les provinces danubiennes et en Russie. **(Photo 1.4.)** [<http://www.cosmovisions.com>].





**Photo 1.4.** Mosquée Imam zadeh à Iran [[www.albert-videt.eu](http://www.albert-videt.eu)].

Ces dômes sont élevés sur des plans différents (circulaire, polygonal) :

### 1.5.6. Iwan

Les iwans sont nés dans le monde iranien bien avant l'arrivée de l'Islam, sans doute sous la dynastie « sassanide ». Il s'agit d'un hall voûté (ou d'un vaste porche voûté) avec une façade rectangulaire ouverte par un grand arc. **(Photo 1.5. ). [Roger. B, 2010]**

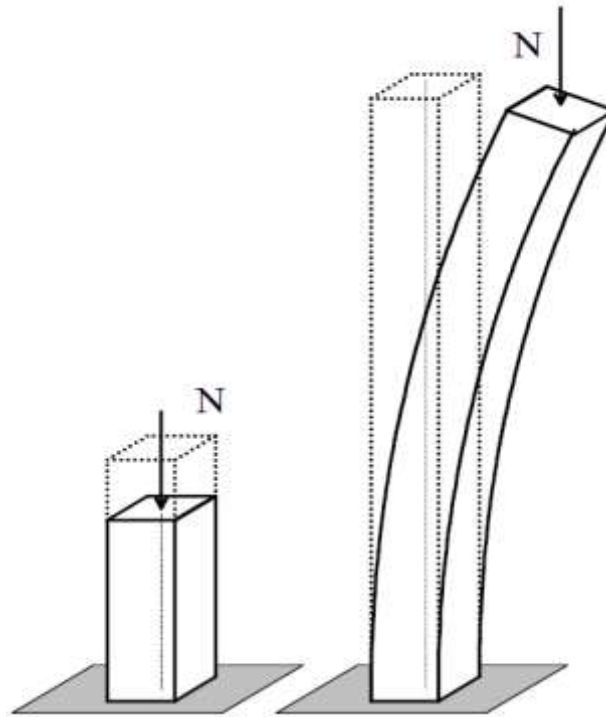


**Photo 1.5.** L'un des 4 iwans dans la cour de la mosquée Kalon. [Roger. B, 2010]

## 1.6. Les phénomènes d'instabilité d'une mosquée

### 1.6.1. Le flambement

Le flambage ou flambement est un phénomène d'instabilité d'une structure, qui soumise à un effort normal de compression, a tendance à fléchir et se déformer dans une direction perpendiculaire à l'axe de compression (passage d'un état de compression à un état de flexion). [<http://fr.wikipedia.org>].



**Figure 1.3.** Flambement d'un poteau

### 1.6.2. Phénomène des poteaux courts

On appelle « effet de poteau court » la rupture sous l'effet de charges sismiques horizontales de :

- Poteaux plus courts que d'autres : par exemple, poteaux du vide sanitaire.
- Poteaux dont la longueur libre est réduite par la présence d'allèges rigides, paliers d'escalier...

En effet, les poteaux courts ou bridés sont beaucoup moins déformables que les poteaux libres sur toute la hauteur d'étage ; ils se rompent lorsqu'ils ne peuvent pas supporter les déformations imposées par les oscillations des planchers. En outre, ils attirent des charges sismiques plus importantes que les autres poteaux car ils sont plus rigides.

## **1.7. Pathologie d'une mosquée**

### **1.7.1. Fissures**

Une fissure d'enduit peut être due au séchage, dans ce cas elle n'évolue pas. Si elle évolue c'est qu'elle masque un désordre structurel.

Une fissure dans un mur en pierre est toujours gênante, elle révèle un mouvement de terrain ou un affaissement et doit être mise sous surveillance.

Une fissure dans un mur en terre aussi gênante, révèle un mouvement de terrain ou un affaissement et doit être mise sous surveillance.

Les mouvements de terrain, l'absence de chaînage peuvent être la cause de fissures de préfabriqués et blocs pleins ou creux tout comme le gel pendant le montage. [<http://www.maison-construction.com>].

#### **1.7.1.1. Fissures à cause de la sécheresse**

Depuis quelques années les structures touchées par les fissures sécheresse sont de plus en plus nombreuses et ce en raison des sécheresses à répétition qui touchent notre pays.

De la simple micro -fissure aux lézardes qui mettent en danger la stabilité du bâti, nombreux sont les propriétaires démunis face à un phénomène sans précédent et qui touche des réalisations neuves comme parfois vraiment anciennes.

La structure est un bloc de maçonnerie qui repose sur des fondations, ces fondations elles mêmes reposent sur un sol plus ou moins profond mais qui de par sa profondeur, ne subit que très peu de variations en temps normal.

Mais depuis quelques années, la sécheresse est telle qu'elle arrive à provoquer des retraites ou tassements qui font bouger de manière différentielle la totalité de la structure.

Les sols argileux sont très sensibles à ces changements car ils ont un fort pouvoir absorbant et donc présentent un fort retrait au séchage. [<http://www.maison-construction.com>].

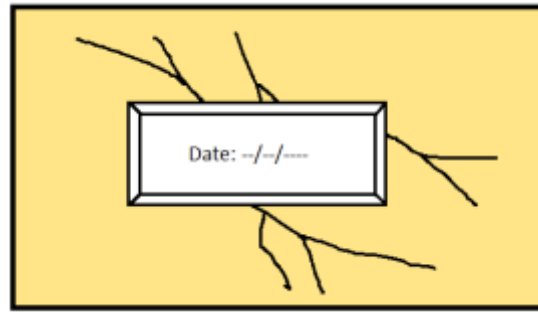
#### **1.7.1.2. Les microfissures**

Les microfissures sont fines comme des cheveux, forment un maillage sur la façade. Elles sont souvent superficielles et n'affectent que l'enduit de surface, elles ne mettent donc pas en danger le mur mais permettent cependant des entrées d'eau et donc favorisent une humidité latente.

#### **1.7.1.3. Les fissures fines**

La première chose à faire en présence de fissures légères (1 à 2 mm de large) est de vérifier si elles évoluent ou si elles sont apparues lors de la réalisation et n'ont jamais évolué. Pour ce faire, un témoin de plâtre sera posé à cheval sur 2 ou 3 d'entre elles.

Si les témoins ne sont pas fissurés après plusieurs mois, les fissures sont donc stables. Il conviendra donc, en fonction de la nature du mur, de reboucher ces fissures. Si le témoin se fissure, l'évolution continue ; il faut donc rechercher les causes de cette dégradation.



**Figure 1.4.** Un témoin de plâtre.

#### 1.7.1.4. Les fissures larges et les lézardes

Une fissure de plus de 2 ou 3 mm de large dans un mur est le signe de la mauvaise santé de ce mur. Plusieurs causes peuvent en être à l'origine : affaissement, faux aplomb, mouvements de terrains...

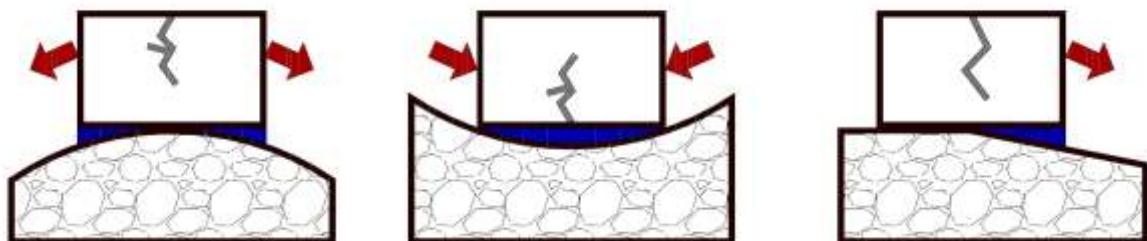
Dans tous les cas, il faut intervenir et donner un diagnostic afin d'y remédier (reprise des fondations, renforcement, chaînage périphérique...).

#### 1.7.2. L'affaissement

Les désordres dus aux affaissements du terrain sont légions. En effet, la nature du terrain est évolutive, d'autant plus que depuis quelques décennies l'évolution climatique (sécheresses à répétition, inondations...) modifie les qualités géotechniques des sols entraînant des mouvements sous les structures.

Plus, certaines constructions ne disposent pas de fondations suffisantes et la structure porteuse se déforme, ce qui peut aller de la simple fissure à l'effondrement.

Il ne faut pas confondre avec le tassement, qui lui est un retour, après un chantier, au niveau normal du sol. Dans les zones d'habitation où le sous-sol est instable de par sa formation géologique ou de par l'activité humaine (mines, carrières, tunnels..), le risque est bien sûr accru d'avoir des problèmes à court ou moyen terme. [[www.maison-construction.com](http://www.maison-construction.com)].



**Figure 1.5.** Risque d'affaissement des terrains.

### **1.8. Conclusion**

La réhabilitation d'une structure ou n'importe quel édifice c'est de leur donner une seconde vie, quelque soit l'état des désordres. Il faut toujours commencer par une bonne étude.

Les problématiques rassemblées par la réhabilitation de ce type d'édifice sont d'ordre religieux, culturel, historique et social avant être d'ordres techniques ou architecturaux.

Surveiller la structure pour pouvoir agir à temps par les réparations afin d'augmenter leur durée de vie.

Les mosquées, est comme n'importe quel structure, peut s'infectée par des pathologies qui touche tel structure. On a le flambement à cause de l'élévation importante des toitures des mosquées, les fissurations, des infiltrations d'eau. Donc il faut bien déterminer ces pathologie et leurs causes pour donné la meilleur méthode de réhabilitation.

D'après les cinq groupes qu'on a cités, notre mosquée n'appartient à aucun style.

## Chapitre II

### 2.1. Introduction

Une description d'un ouvrage à pour objectif de rassembler une multitude d'information technique et géométrique de l'ouvrage en question. Dans ce chapitre on doit identifier notre structure, son emplacement, ses éléments, après on passe à un diagnostic visuel ou on essaye d'extraire les différentes pathologies qui touchent la structure.

### 2.2. Description de l'ouvrage

La mosquée du cimetière de chouhada, objet de notre présent projet de fin d'étude, est implantée à l'intérieur du cimetière de chouhada d'Hennaya, juste à droite de l'entrée principale de cette ville.

Le cimetière se trouve au Sud de la ville d'Hennaya, au bord de la route R.N 22, à une centaine de mètres. Approximativement, de l'entrée de la ville d'Hennaya. Il est limité vers l'Est par une piste qui mène au wali de Sidi Kanoun.

Le cimetière est jonché de tombes de Chouhada, environ 5000 Chahides, alignés sur un terrain ayant une déclivité de l'ordre de 3% du Sud vers le Nord.

A l'Est de la mosquée, à une cinquantaine de mètres approximativement, on trouve une salle d'exposition semi enterrée où sont exposées des archives, des photos de Chahides et des anciens combattants.

La mosquée en question a été inaugurée par le défunt Houari Boumediene en date du 23/06/1970, d'après l'écriteau sur le mur à proximité de la porte intérieure permettant l'accès à la mosquée.

Il convient de signaler que l'ouvrage n'a fait l'objet d'aucun contrôle technique par une organisation indépendante de contrôle pendant la phase de réalisation.



Photo 2.1. Vue général sur la mosquée.

### 2.2.1. Description géométrique de la mosquée

La mosquée est de forme rectangulaire de dimensions 23.56m x 27.38m soit une surface d'emprise égale à 645m<sup>2</sup>.

A l'intérieur une salle circulaire de diamètre  $\varnothing = 18.90\text{m}$  et inscrite dans un carré conformément à la vue en plan schématisée dans la (**figure 2.1**), elle est couverte par une coupole de type surbaissée d'une hauteur de 3m. La hauteur sous plafond de la coupole est égale à 9.5m. La hauteur libre sous plafond de la partie plate est de l'ordre de 4.50m. La hauteur du mur périphérique est de l'ordre de 6.5m, son épaisseur égale à 24cm.

Mur en parpaing est réalisé sur les acrotères, d'une hauteur de 1.20m et d'une épaisseur de 24 cm à l'intérieur, Et un deuxième mur d'une hauteur de 1.40m à l'extérieur.

L'entrée principale de la mosquée est de largeur de 2.30m. Présence des ouvertures d'éclairage (vasistas) sous la coupole de hauteur égale à 40cm, créant ainsi des poteaux courts.

#### - Remarque :

Le mur périphérique du côté Sud n'a pas été réalisé conformément au plan d'aménagement montré ci-dessous : il a été complètement supprimé.



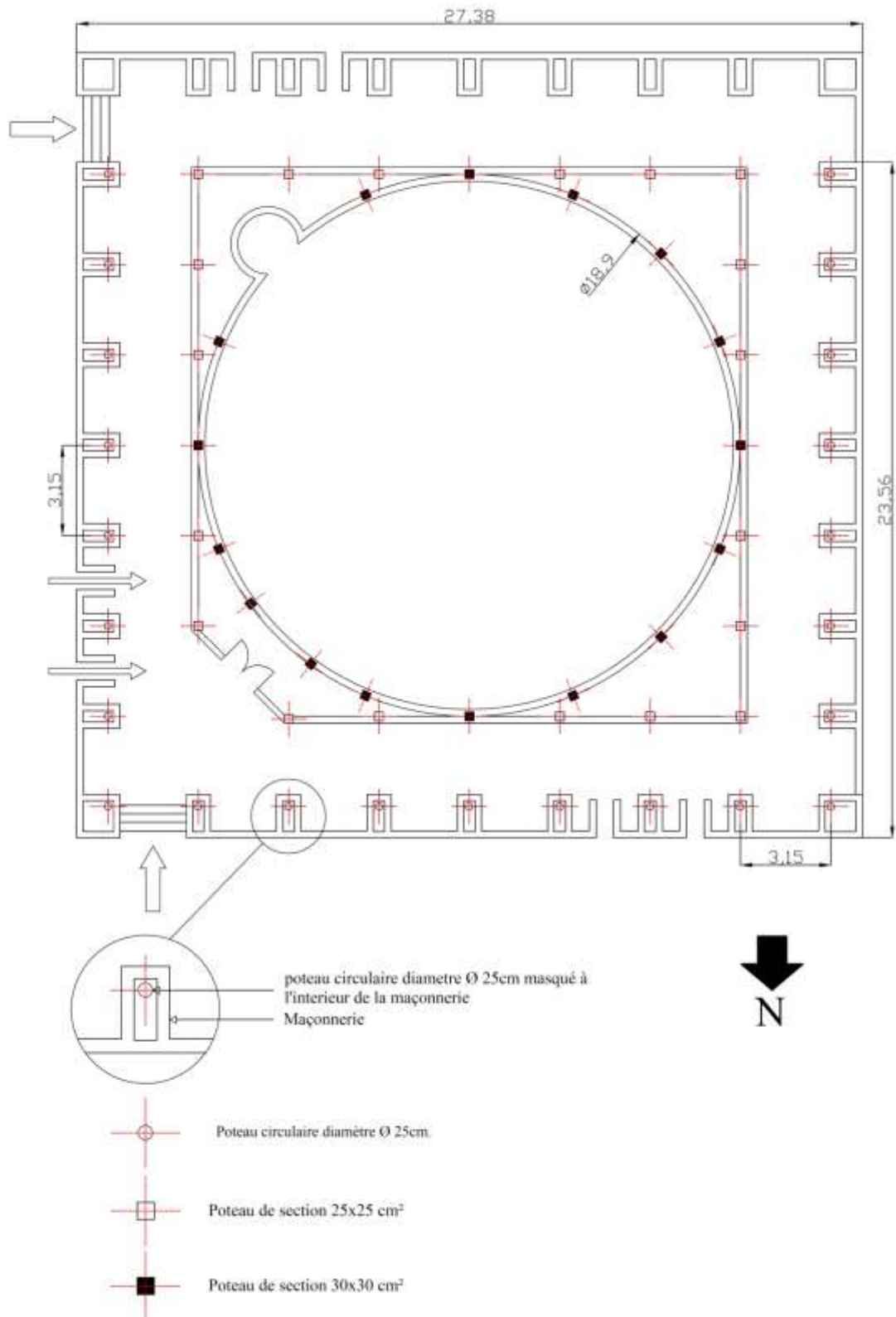


Figure 2.1. Plan schématisé de la mosquée de Chouhada.



## 2.2.2. Description des éléments de l'ouvrage

### 2.2.3.1. Planché

Le plancher de la mosquée est réalisé en corps creux (16+5) avec une dalle de compression reposant sur des poutrelles. Le plancher terrasse comporte un complexe d'étanchéité et une forme de pente pour faciliter l'écoulement des eaux pluviales. **(Photo 2.2).**



(a)

(b)

**Photos 2.2.** Vue sur la terrasse

### 2.2.3.2. Coupole en béton armé

La coupole est constituée par une dalle pleine en béton armé avec une hauteur de 2 m du planché plat et couvre une superficie de 280m<sup>2</sup>. Cette coupole est supportée par 16 poteaux d'une section de 30x30 cm<sup>2</sup>. Sous cette dernière, on constate 17 poteaux-courts de 2m de longueurs (30x30) cm<sup>2</sup>. Son couronnement se termine par une corniche d'épaisseur égale à 15 cm.

### 2.2.3.3. Maçonnerie

Les murs intérieurs et extérieurs sont réalisés en parpaing de 20 cm d'épaisseur, avec l'enduit sur les deux faces (épaisseur de 2cm pour chaque face).

### 2.2.3.4. Les éléments structuraux

La structure de la mosquée en béton armé se compose de :

- 16 poteaux de section 30x30 cm<sup>2</sup> servant d'appuis à la coupole, répartis de manière régulière.
- 06 poteaux de section 25x25 cm<sup>2</sup> disposés sur chaque côté du carré dans lequel est inscrite la coupole, la distance entre les poteaux est constante et est égale à 3.15m. Un poteau du coin, parmi les sept poteaux des cotés Est et Nord, a été supprimé pour dégager l'entrée de la mosquée. **Figure 2.1.**
- 08 poteaux circulaires de diamètre Ø 25cm, masqués à l'intérieur de la maçonnerie des deux façades Est et Ouest (d'après le plan d'aménagement et un sondage sur le site au niveau de la maçonnerie). Tandis que la façade Nord renferme 09 poteaux circulaires de même diamètre que les premiers, ils sont répartis de manière uniforme et distants de 3.15m l'un de l'autre.

- Les poutres de la partie plate du plancher situées sur la périphérie de la mosquée, en dessous de la coupole et au niveau du carré dans lequel est inscrite la coupole ont des sections constantes de 30x30 cm<sup>2</sup>, quant au reste des poutres, elles sont sans retombée.
- La partie plate du plancher est constituée de poutrelles en béton armé sur lesquelles reposent des corps creux agglomérés et une dalle de béton armé de 5 cm d'épaisseur.
- Les enduits sur les murs sont constitués de mortier formé par du ciment mélangé au sable (parfois de faible épaisseur).

### 2.2.3. Les fondations

En ce qui concerne les fondations de la mosquée, le sondage effectué sur le site en date du 01/04/2012, a fait apparaître des semelles superficielles type isolées ancrées à une profondeur moyenne de 1.0m, sur la partie supérieure de la couche d'argile marron tendre situé juste après la couche de la terre végétale, conformément au sondage SN1 (Sondage effectué à proximité de la mosquée sur son côté Est). La semelle au niveau du sondage effectué est de dimensions 140x140x35 cm<sup>3</sup> recevant ainsi deux poteaux : un poteau de section 30x30cm<sup>2</sup> de la coupole et un poteau de section 25x25 cm<sup>2</sup> de la partie plate.

**Photos 2.3.**



**Photos 2.3.** Semelle superficielle type isolée ancrée à une profondeur moyenne de 1m.

### 2.3. Pré-diagnostic

Cette étape implique une première approche globale de la mosquée, de ses valeurs (architecturales, historiques, etc.) et de ses problèmes (qu'ils soient constructifs, ou autre) grâce à une première inspection de la mosquée.

Cette première visite se base sur une inspection oculaire. On parcourt toute la mosquée en tentant de découvrir le système constructif utilisé, les valeurs architecturales qui le caractérisent, les pathologies qui l'affectent.

En particulier, on doit fixer notre attention sur les descentes de charges ainsi que sur le parcours de l'évacuation des eaux.

Parallèlement à l'inspection, on doit investiguer sur le statut légal de la mosquée, afin de connaître les obligations et les restrictions urbanistiques dont il est l'objet (classification,

autorisations et affectations de la planification urbanistique, de protection, hypothèques, recensements, etc.), ainsi que les aides économiques que pourra bénéficier le projet en cas de réhabilitation.

Le degré de protection patrimoniale de la zone (cimetière) et de la mosquée est en général déterminant pour l'opération. Un contact préliminaire avec les autorités compétentes, pourra aider à clarifier ces aspects.

#### **2.4. Diagnostic**

Préalablement à la prise de décisions, il sera indispensable d'avoir une bonne connaissance de la zone sur laquelle on souhaite intervenir, et de détecter les points forts et ses déficiences, comme base préalable à la discussion et à la détermination de priorités et d'objectifs d'action.

Cette découverte de la partie s'effectuera grâce à l'élaboration d'un ensemble d'études, à la connaissance des nécessités et attentes des usagers ainsi qu'au cadre légal en vigueur dans le domaine affecté par la réhabilitation.

La phase de diagnostic est tout particulièrement importante, étant donné que sa concrétisation ainsi que de sa coordination et de sa perspective optimums dépendront de l'accord et la cohérence des futures propositions d'action. La connaissance insuffisante du cas d'étude peut mener à des conclusions erronées, à des équivoques conceptuelles et à des résultats contradictoires.

#### **2.5. Constatation visuel**

La mosquée est composée d'une salle de prière, où l'acoustique laisse à désirer, une solution doit-être entreprise. Des annexes à la mosquée existent.

Cette mosquée fut érigée et inaugurée dans les années 70. Sa structure est en béton armé, mais elle est considérée comme édification du type léger.

Les fondations, après les renseignements recueillis, seraient superficielles du type isolées, solidarisées par des longrines dans un seul sens. Elles ont été ancrées superficiellement, chose néfaste pour toute construction du type léger, érigée sur un sol gonflant. D'ailleurs c'est l'une des causes primordiale des désordres.

La mosaïque faite de carrelage, à l'entrée du cimetière présente aussi des fissures profondes au centre.

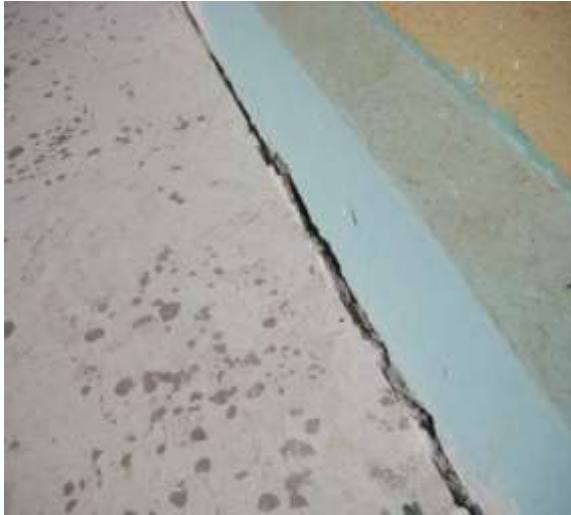
#### **2.6. Investigations sur le site**

Le LTPO (Laboratoire de Travaux Publique de l'Ouest) a procédé à deux sondages carottés en vue de cerner la qualité de la consistance du sol et par la même occasion son degré d'homogénéité.

#### **2.7. Désordres constatés**

A l'issue de nos visites, nous avons relevé les désordres suivants :

-Signes de tassements différentiels très visibles, surtout sur les parties d'ouvrage situées cotés Sud et Ouest. (**Photos 2.4**).



(a)



(b)

**Photos 2.4.** Tassements différentiels sur les cotés Ouest et Sud de la mosquée.

- Éclatements de béton des poteaux courts au niveau de la coupole (parties situées entre les deux couronnes), cisaillement de ces poteaux, suite à des ouvertures d'éclairage sous la coupole. (**Photos 2.5**)



(a)



(b)



(c)



(d)



**Photos 2.5.** Les poteaux fissurés

- On observe des fissures, dans tous les sens des murs extérieurs et des cloisons, (Fissures horizontales et verticales à  $45^\circ$ ) à cause du gonflement et le retrait du sol.







(c)

(d)

**Photos 2.6.** Des Fissures horizontales.

(a)



(b)

**Photos 2.7.** Des fissures verticales.

- la mosaïque faite de carrelage, à l'entrée du cimetière présente aussi des fissures profondes à 45° sur toute l'épaisseur du mur (24 cm). (**Photos 2.8**).



(a)

(b)

**Photos 2.8.** Fissures de mosaïque profondes à 45°.

- les murs intérieurs de la mosquée présents aussi des fissures diagonales à 45°. (**photos 2.9**).



(a)

(b)

**Photo 2.9.** Fissure diagonal à 45°.

- Les fissures qui traversent les murs sont presque toutes des fissures profondes et se sont des fissures qui évaluent.
- Soulèvement et décollement des carreaux de revêtement à l'intérieur et à l'extérieur de la salle à cause de mouvement de sol. **Photos 2.10**.

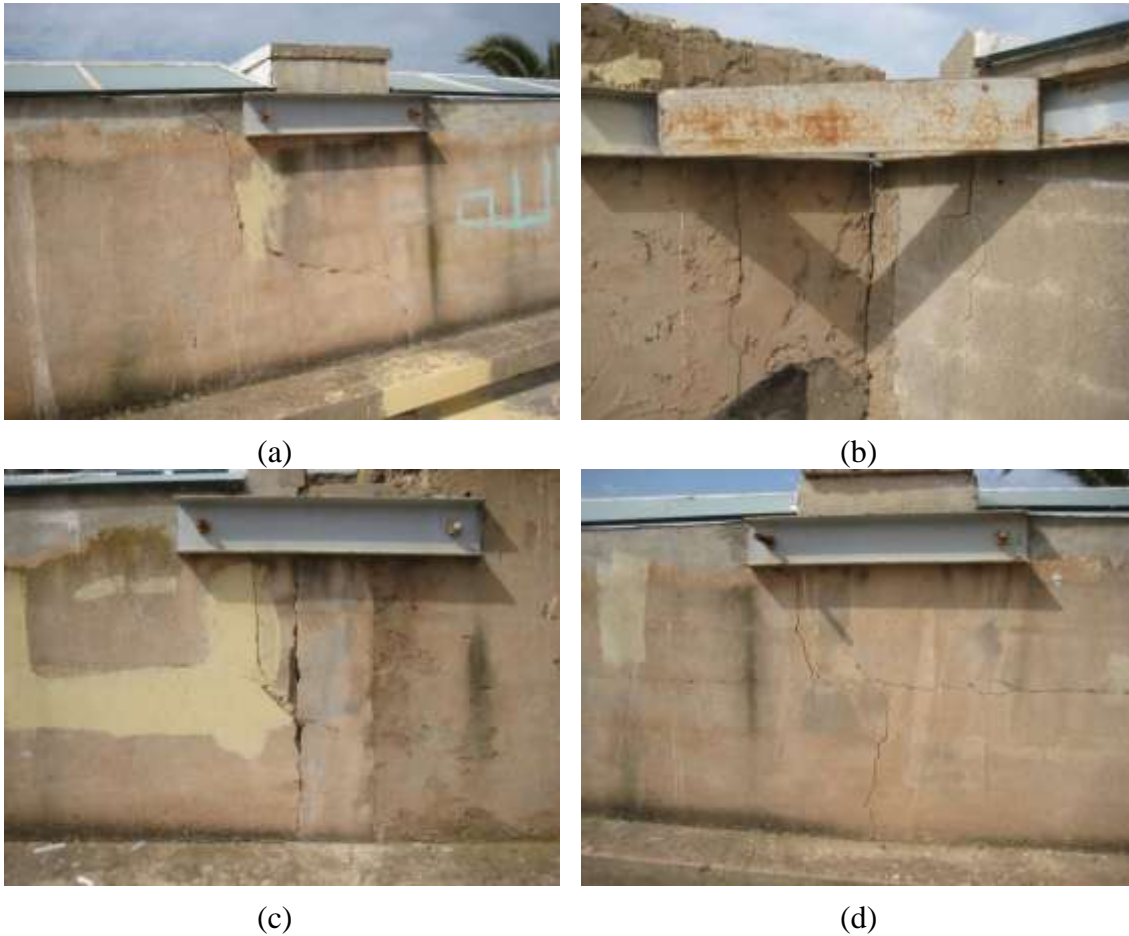


(a)

(b)

**Photos 2.10.** Décollement de carrelage.

- Fissures diverses sur les murs construits sur les acrotères. (**Photos 2.11**).



**Photo 2.11.** Fissure des murs périphériques.

- Un poteau du coin, parmi les sept poteaux des cotés Est et Nord, a été supprimé pour dégager l'entrée de la mosquée ce qui impose deux poutres croisées, la portée de chacune est de 6.30m avec une retombée de 21cm. (**Photo 2.12**).



**Photo 2.12.** Deux poutres croisées, sans poteau.



- Fissures visible sur les escaliers qui mènent au mihrab. (**Photos 2.13**).



(a)

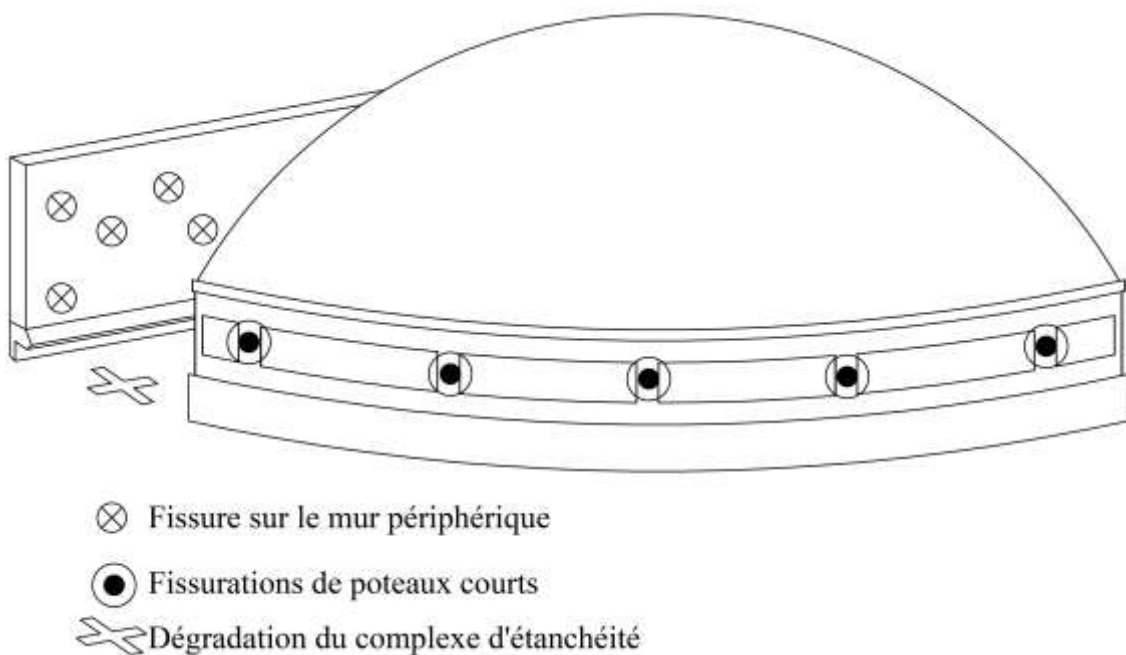


(b)

**Photo 2.13.** Fissures profondes sur les escaliers.

### 2.8.Relevé graphique des pathologies

Dans cette partie on donne une vue générale sur les positions et la gravité des dégâts constatés dans l'étape de diagnostic.



**Figure 2.2.** L'emplacement des pathologies sur la terrasse.

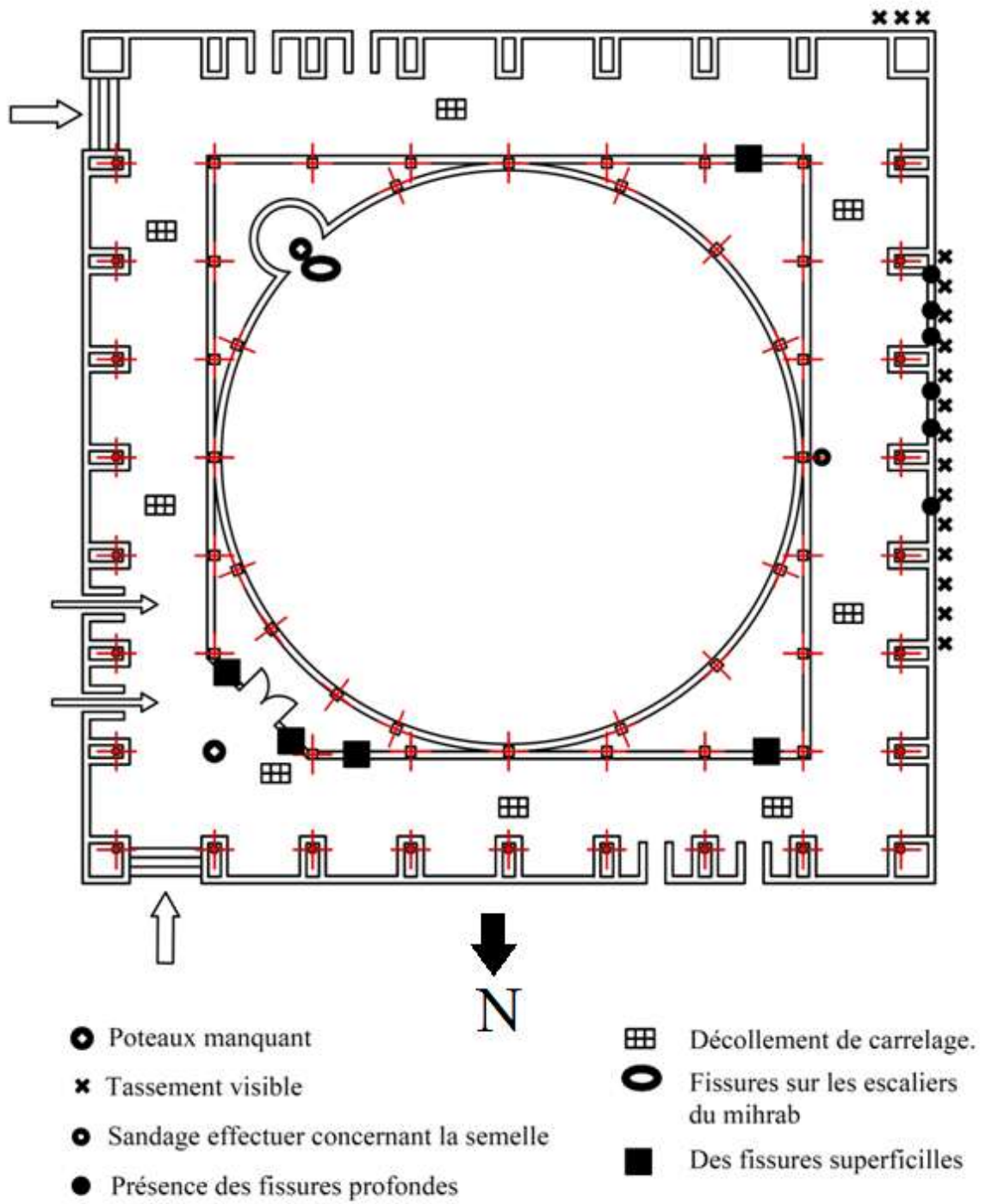


Figure 2.3. L'emplacement des pathologies dans la mosquée.

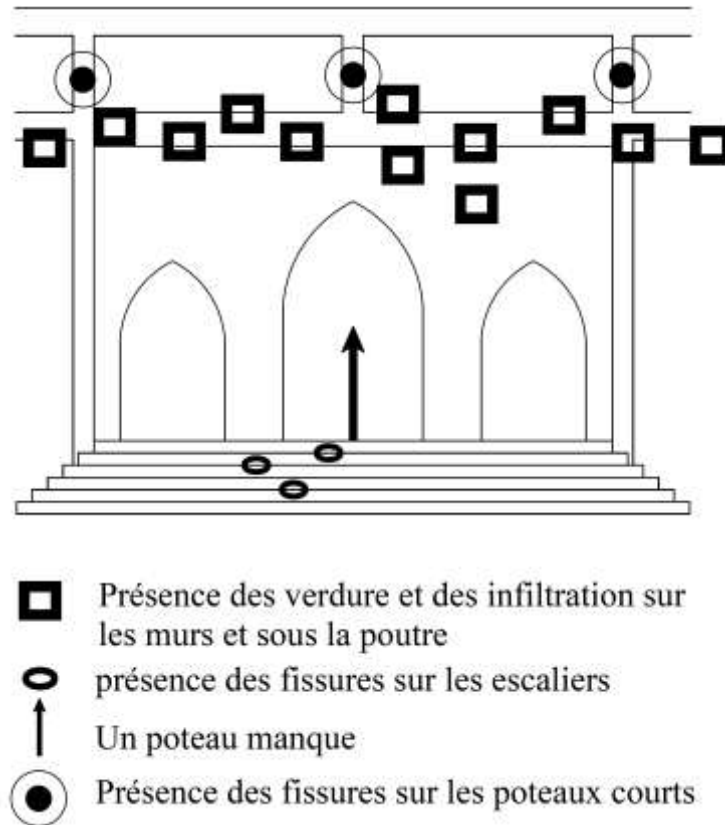


Figure 2.4. L'emplacement des pathologies à l'intérieur de la salle de prière.

### 2.9.Causes des désordres recensées

Les principales causes des désordres sont dues à un tassement différentiel provoqué essentiellement par :

- Le sol d'assise, constitué d'une formation d'argile et de marne de caractéristiques de gonflement et de retrait très importantes.
- La profondeur d'ancrage des fondations est insuffisante pour ce type de sol.
- Absence de protection des infiltrations des eaux sous les murs et fondations pour l'évacuation des eaux pluviales.
- Les éléments structuraux servant d'appuis (poteaux-poutres et semelles) de la structure paraissent sous dimensionnés.
- Absence de longrines autour du carré (couloir), de raidisseurs au niveau de la maçonnerie des murs extérieurs et des murs d'acrotères.
- Vieillessement du complexe d'étanchéité.
- Absence de protection du complexe d'étanchéité.

Insuffisance de la hauteur d'ancrage des semelles. L'ancrage des fondations doit-être suffisant, raisonnable pas moins de 3m, plus un aménagement d'un espace entre le sol et le bas de la longrine aurait dû être entrepris. (Photos 2.14)



**Photo 2.13.** Semelle isolé encreé superficiellement.

Le sondage au niveau de la semelle a fait apparaitre que ses dimensions sont  $140 \times 140 \times 35$  cm<sup>3</sup>. Cette même semelle reçoit un poteau de section  $30 \times 30$  cm<sup>2</sup> ancrée à 1m de profondeur.

Absence de longrines à l'intérieur de la salle entre les poteaux circulaires et les poteaux de la coupole.

Absence probable des longrines internes liant les poteaux de la coupole.

Dégradation, détérioration et disparition par endroit du complexe d'étanchéité sur la terrasse plate. (**Photos 2.14**)



(a)

(b)

**Photo 2.14.** Dégradation du complexe d'étanchéité sur la terrasse plate.

On observe aussi un manque d'un poteau qui a été arraché totalement pour dégager l'espace pour le mihrab. (**Photo 2.15**)



**Photo 2.15.** Un manque de poteau qui a été arraché pour dégager l'espace pour le mihrab.

Traces importantes de ruissellements et d'infiltrations sur les murs, sous la coupole et sur le plafond de la terrasse plate. (**Photo 2.16.**)



(a)

(b)

**Photo 2.16.** Les traces de ruissellements et d'infiltrations sur les murs.

Présence de végétations sur la terrasse plate et divers débris de verres et autres. (**Photos 2.17.**)





**Photo 2.17.** Présence de végétations sur la terrasse.

Présence des arbres à une distance proche de la mosquée sur le coté Nord et le coté Est (**Photo 2.18**).



**Photo 2.18.** Présence d'arbres sur le coté Nord de la mosquée.

Présence d'une source d'eau sur le coté Sud de la mosquée (**Photo 2.19**).



**Photo 2.19.** Une source d'eau sur coté Sud.

Présence d'eaux stagnantes dans le regard situé sur la périphérie du réseau de drainage des eaux superficielles de l'ouvrage avec un signe visible de tassement à l'Ouest de ce réseau. (Photo 2.20).



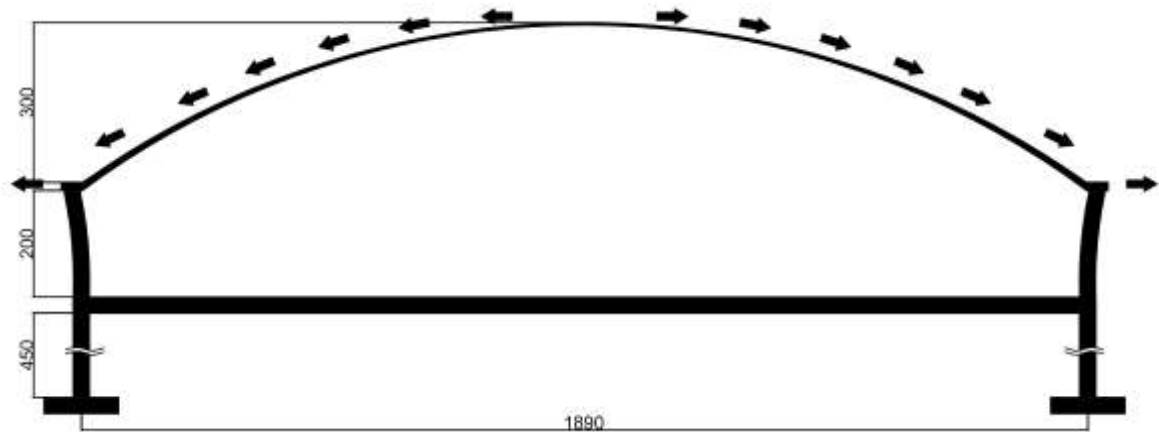
**Photo 2.20.** Eaux stagnantes dans le regard situé sur la périphérie du réseau de drainage.

Déchirures des cordons de soudures réalisés aux droits de rabouillage des sections des profilés en U, ceinturant les murs extérieurs dans leurs parties supérieures (renforcement réalisé durant les années 1996 /1997 après l'apparition des premiers signes de désordres constatés). (Photo 2.21).



**Photo 2.21.** Déchirures des cordons de soudures réalisés aux droits de rabouillage des sections des profilés en U.

Mal choix de l'emplacement du chaînage périphérique lorsque on a un mur en parpaing. Le type de matériau est très fragile et si on exerce un effort sur le mur on peut avoir l'éclatement du parpaing.



**Figure 2.5.** Figure montrant la cause de dégradation des poteaux courts.

La figure ci-dessus présente la cause de dégradation des poteaux courts soumise à la poussée qui est exercée par la coupole. La coupole transmet des charges verticales et horizontales et les poteaux sont construits pour résister seulement aux charges verticales. L'impact de la coupole sur les poteaux courts crée une torsion latérale, c'est pour cela, à la modélisation de la mosquée, on trouve des valeurs de moment très importantes pour ces poteaux.

### 2.10. Étude du sol

Les investigations effectuées afin de définir les caractéristiques du sol en place sont :

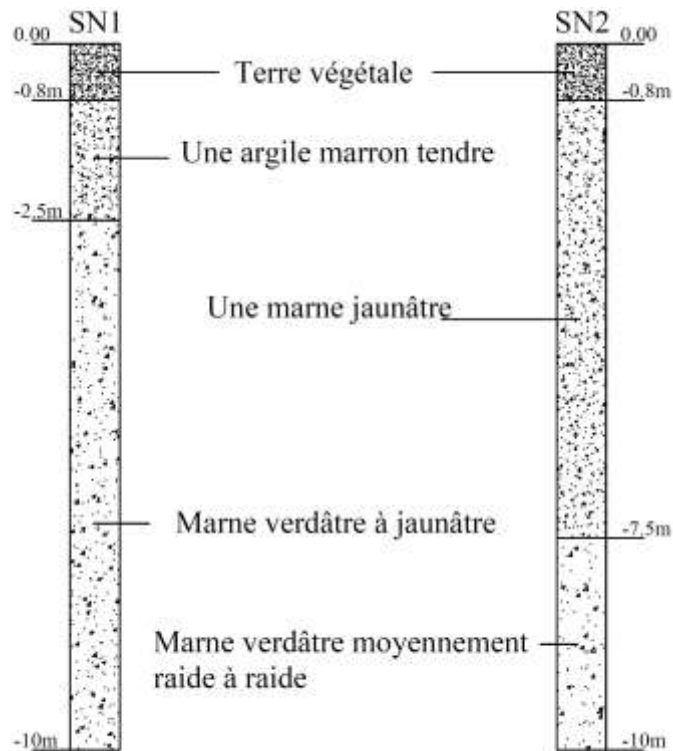
Deux sondages carottés sur une profondeur de 10.00m chacun, faisant apparaître en général la stratification du sol en place. **Figure 2.6.**

Le sondage SN1 effectué à proximité de la mosquée sur son côté Est révèle : une couche de terre végétale d'épaisseur égale à 80cm, une argile marron tendre jusqu'à 2.50m, puis une marne verdâtre à jaunâtre, jusqu'à 10.0m, la fin du sondage, devenant raide à partir de 4.50m.

Le sondage SN2 effectué à proximité de la salle d'exposition sur son côté Ouest révèle : Une couche de terre végétale d'épaisseur égale à 80cm, une marne jaunâtre tendre jusqu'à 7.00m de profondeur, puis une marne verdâtre moyennement raide à raide jusqu'à 10.0m, la fin du sondage.

Cela suppose l'existence d'une grande hétérogénéité entre l'Est et l'Ouest.





**Figure 2.6.** Le résultat des deux sondages effectués autour de la mosquée.

D'après le rapport géotechnique de L.T.P.O les caractéristiques de la formation d'argile est :

Densité sèche =  $1.78 \text{ t/m}^3$ .

Teneur en eau entre 14.63% et 16.84%.

Degré de saturation entre 76.31% et 87.87%.

Densité humide entre  $2.05 \text{ t/m}^3$  et  $2.08 \text{ t/m}^3$ .

WL = 47.57% à 57.52%.

IP = 22.68% à 35.40%.

La formation d'argile est un sol plastique à fort potentiel de gonflement par conséquent et de retrait.

Les caractéristiques de la formation de marne sont :

Densité sèche =  $1.68/2 \%$ .

Teneur en eau = 12.30/19.3%.

Degré de saturation = 80.29/95.02%.

Densité d'humidité =  $1.99/2.25 \text{ t/m}^3$ .

WL = 35.51 /53.87%.

IP = 16.32/ 33.01%.

Il y a lieu de noter en général que nous sommes en présence d'un sol dont la perméabilité est faible.

### **2.11. Conclusions**

Il convient de signaler tout d'abord que notre étude ne s'est porté que sur les parties visibles et accessibles de l'ouvrage, et on ne tient pas compte des anomalies cachées non décelables.

L'état actuel de la mosquée ne permet pas une utilisation normale et ne possède pas toutes les commodités nécessaires pour l'usage auquel elle a été destiné.

Les cause recensées sont multiples vis-à-vis les désordres constatés (les poteaux arrachés, absence des longrines dans l'autre sens, infiltration d'eaux, profondeur d'ancrage des fondations...etc.) ce qui implique que refuser l'utilisation de la mosquée n'est pas possible.

Ce chapitre a permis de conclure que la plupart des dégradations apparues sur les éléments de construction sont essentiellement dues au problème de gonflement, retrait, des formations de marne constituant le sol du terrain d'assise et les problèmes d'hétérogénéité ainsi que les sous dimensionnements de la structure.

## Chapitre III

### 3.1. Introduction

Chaque élément de la structure doit être vérifié aux conditions d'un règlement de construction, pour notre mosquée on essaie de vérifier les calculs aux normes de RPA99. A l'aide de logiciel SAP2000 on détermine les différentes sollicitations et retire les résultats concernant les moments, les efforts tranchant et le ferrailage.

### 3.2. Vérifications des conditions RPA99 pour les éléments structuraux principaux de la mosquée à l'état existant

#### 3.2.1. Vérification des conditions du RPA99 pour les poteaux carrés

$$\text{Min}(a, b) \geq 25\text{cm}$$

$$\text{Min}(25, 25) \geq 25\text{cm} \dots \text{vérifiée.}$$

$$\text{Min}(a, b) \geq h_e/20$$

$$\text{Min}(a, b) \geq 450/20$$

$$\text{Min}(a, b) \geq 22.50\text{cm} \dots \text{vérifiée.}$$

$h_e$  : longueur de poteau

$$1/4 < a/b < 4$$

$$1/4 < 25/25 < 4$$

$$1/4 < 1 < 4 \dots \text{vérifiée.}$$

#### 3.2.2. Vérification des conditions du RPA99 pour les poteaux circulaires

$$\text{Min}(D) \geq 30\text{cm}$$

$$\text{Min}(25) \geq 30\text{cm} \dots \text{n'est pas vérifiée.}$$

$$\text{Min}(D) \geq h_e/15$$

$$\text{Min}(D) \geq 450/15$$

$$\text{Min}(D) \geq 30\text{cm} \dots \text{n'est pas vérifiée.}$$

$h_e$  : longueur de poteau

RPA99 exige des poteaux circulaires un diamètre  $\geq 30\text{cm}$ , pour une zone de sismicité faible (Zone I).

#### 3.2.3. Vérification de flambement

##### 3.2.3.1. Élancement mécanique $\lambda$

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

$l_f$ : La longueur de flambement.

$i$ : Le rayon de giration de la section du béton.

### 3.2.3.2. Le rayon de giration $i$

$$i_x = i_y = \sqrt{\frac{I_{min}}{B}}$$

$I_{min}$ : Moment d'inertie minimum

$B$ : section du béton

On a des poteaux qui possèdent une section carrée et des poteaux qui possèdent une section circulaire donc :

- **Le rayon de giration pour les sections carrées (30x30 cm<sup>2</sup>)**

$$I_{min} = \frac{a}{12} \times b^3 = a^4 \times \frac{1}{12}$$

Avec  $a^2 = 900 \text{ cm}^2$

$$I_{min} = 67500 \text{ cm}^4$$

$$i_x = i_y = \sqrt{\frac{67500}{900}}$$

$$i_x = i_y = 8.66 \text{ cm}$$

- **Le rayon de giration pour les sections carrées (25x25 cm<sup>2</sup>)**

$$I_{min} = \frac{a}{12} \times b^3 = a^4 \times \frac{1}{12}$$

Avec  $a^2 = 625 \text{ cm}^2$

$$I_{min} = 32552,083 \text{ cm}^4$$

$$i_x = i_y = \sqrt{\frac{32552,083}{625}}$$

$$i_x = i_y = 7,21 \text{ cm}$$

- **Le rayon de giration pour les sections circulaires ( $\phi 25$ )**

$$I_{min} = \frac{\pi D^4}{64}$$

$$I_{min} = \frac{\pi (25)^4}{64}$$

$$I_{min} = 18150 \text{ cm}^4$$

$$B = \pi \cdot r^2$$

$$B = 473 \text{ cm}^2$$

$$i_x = i_y = \sqrt{\frac{18153}{473}}$$

$$i_x = i_y = 6.19 \text{ cm}$$

### 3.2.4. La longueur du flambement

$$l_f = 0.7L_0$$

- **Pour les poteaux carrés**

$$l_f = 0.7L_0 = 450 \times 0.7$$

$$l_f = 3.15\text{m}$$

- Donc l'élançement mécanique  $\lambda$  est :

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{l_f}{i}$$

- **a=30 cm :**

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{3,15}{8,66 \cdot 10^{-2}}$$

$\lambda_x = \lambda_y = 36,37 < 50$  donc le flambement est vérifié pour les poteaux carrés 30x30.

- **a=25 cm :**

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{3,15}{7,21 \cdot 10^{-2}}$$

$\lambda_x = \lambda_y = 43,68 < 50$  donc le flambement est vérifié pour les poteaux carrés 25x25.

- **Pour les poteaux circulaires**

$$l_f = 0.7L_0 = 450 \times 0.7$$

$$l_f = 3.15\text{m}$$

- Donc l'élançement mécanique  $\lambda$  est :

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{l_f}{i}$$

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{3,15}{6,19 \cdot 10^{-2}}$$

$\lambda_x = \lambda_y = 51 > 50$  donc le flambement n'est pas vérifié pour les poteaux circulaires.

### 3.2.5. Vérification des poutres

Elles doivent respecter les règles suivantes :

B.A.E.L 91 : selon la condition de flèche

$$L / 15 \leq h \leq L / 10$$

L : La plus grande portée entre l'axe :  $L = 3.15\text{m}$

RPA99 :

-  $b \geq 20\text{cm}$  ..... (1)

-  $h \geq 30\text{cm}$  ..... (2)

-  $b_{\max} \leq 1.5 h + b$  ..... (3)

-  $h / b \leq 4$  ..... (4)

b : largeur de la poutre

h : hauteur de la poutre

### 3.2.5.1. Poutres principales

$$L / 15 \leq h \leq L / 10 \quad \text{avec } L = 3.15\text{m}$$

$$0.21\text{m} \leq h \leq 0.315\text{m}$$

Donc on a des poutres de (h=21cm, b=25cm)

Et le RPA99 exige une poutre de (h≥30cm, b≥20cm)

On a h = 21cm < 30cm.....Donc la hauteur de la poutre n'est pas vérifiée

Avec :

$$b = 25\text{cm} \geq 20\text{cm} \dots\dots\dots \text{Vérifiée.}$$

$$b_{\max} = 21\text{cm} \leq 1.5 \times 21 + 25 \dots\dots\dots \text{Vérifiée.}$$

$$h / b = 0,84 \leq 4 \dots\dots\dots \text{Vérifiée.}$$

On a b = 25cm > 20cm.....Donc la largeur de la poutre est vérifiée

### 3.2.5.2. Chaînage

$$L / 15 \leq h \leq L / 10 \quad \text{avec } L = 3.15\text{m}$$

$$0.21\text{m} \leq h \leq 0.315\text{m}$$

Donc on a des poutres de (h=21cm, b=25cm)

Et le RPA99 exige une poutre de (h≥30cm, b≥20cm)

On a h = 21cm < 30cm.....Donc la hauteur de la poutre n'est pas vérifiée

Avec :

$$b = 25\text{cm} \geq 20\text{cm} \dots\dots\dots \text{Vérifiée.}$$

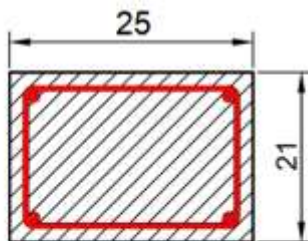
$$b_{\max} = 25\text{cm} \leq 1.5 \times 21 + 25 \dots\dots\dots \text{Vérifiée.}$$

$$- h / b = 0.7 \leq 4 \dots\dots\dots \text{Vérifiée.}$$

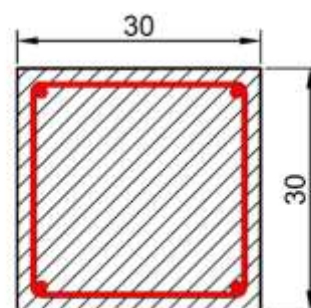
On a b = 25cm > 20cm.....Donc la largeur de la poutre est vérifiée

Par conséquent :

- poutres principales : (b x h) = (25 x 30) cm<sup>2</sup>
- chaînages : (b x h) = (25 x 30) cm<sup>2</sup>



La forme du poutre principal et secondaire



La forme de la couronne sous la coupole

**Figure 3.1 .** Les poutres existantes dans la mosquée

### 3.2.6. Planchers

#### 3.2.6.1. L'épaisseur du plancher

L'épaisseur des planchers à corps creux est estimée selon la condition de flèche admissible suivant les règles du BAEL91 :

$$h_p \geq L / 22.5$$

L : la plus grande portée entre nus d'appuis des poutres

$$L = 3.15\text{m}$$

$$h_p = 315 / 22.5$$

$$h_p = 14\text{cm}$$

On a un plancher:  $h_p = 21\text{cm} = (16+5)\text{cm}$ .

Donc l'épaisseur du plancher est vérifiée.

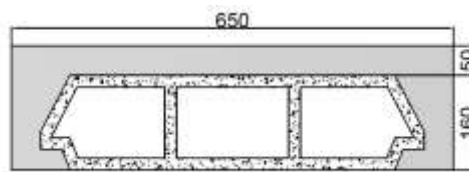


Figure 3.2. Corps creux avec une dalle de compression

#### 3.2.6.2. Poutrelles

\* L'espacement :  $b = 65\text{cm}$

\* la largeur :  $b_0 = 12\text{cm}$

\* la hauteur du plancher :  $h_p = 21\text{cm}$

\* la dalle de compression :  $h_0 = 5\text{cm}$

$$2 b_1 = b - b_0 = 65 - 12 = 53 / 2 = 26.5\text{cm}$$

$$b_1 = 26.5\text{cm}$$

- Les conditions :

\*  $b_1 \leq L / 10$

\*  $b_1 \leq 6 h_0$  à  $8 h_0$

-Vérification :

$$b_1 = 26.5\text{cm} \leq 31.5\text{cm} \dots\dots\dots\text{vérifiée}$$

$$b_1 = 26.5\text{cm} \leq (30 \text{ à } 40)\text{cm} \dots\dots\dots\text{vérifiée}$$

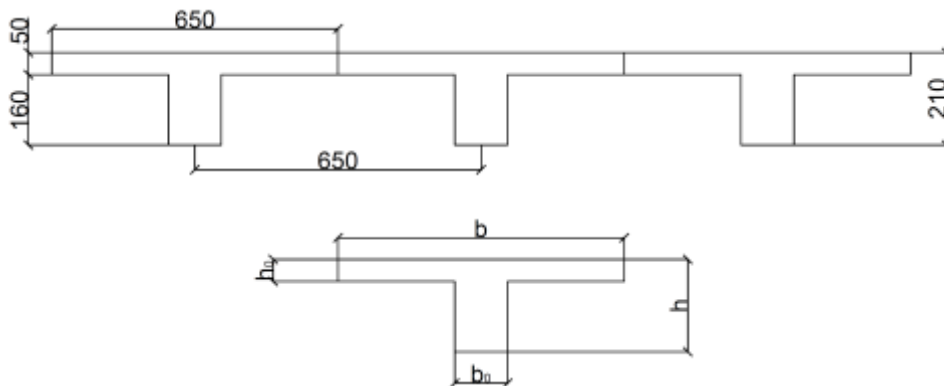


Figure 3.3. Les dimensions des poutrelles existant.

### 3.2.7. Fondation

Le Sandage effectué sur la partie Ouest de la mosquée, nous permet de vérifier l'encrage et les dimensions de la semelle. On utilise les résultats obtenue par SAP2000 pour vérifier ses dimensions. Le poteau pris en compte est de section (30 x 30 cm<sup>2</sup>).

$$\bar{\sigma}_{sol} = 2,50 \text{ bars} = 250 \text{ KN/m}^2 = 0,25 \text{ Mpa}$$

$$a = b = 30 \text{ cm}$$

- Condition d'homothétie

$$\frac{A}{B} = \frac{a}{b} = 1 \quad \Rightarrow A = B \quad (\text{semelles carrées})$$

On a :

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{sol} < \bar{\sigma}_{sol} \\ \sigma_{sol} = \frac{N_s}{A \times B} \end{array} \right\} \Rightarrow A \times B \geq \frac{N_s}{\bar{\sigma}_{sol}} \dots\dots\dots(1)$$

$$(1) \Leftrightarrow B \geq \sqrt{\frac{N_s}{\bar{\sigma}_{sol}} \times \frac{b}{a}} \quad \Rightarrow B \geq \sqrt{\frac{261,22}{250} \times \frac{0,30}{0,30}}$$

$$\Rightarrow B \geq 1,02 \text{ m}$$

Donc la semelle de 1,40 x 1,40 m<sup>2</sup> est vérifiée.

- Détermination de d et h<sub>t</sub>

$$A - a \geq d \geq \frac{B - b}{4} \quad \Rightarrow 1,40 - 0,30 \geq d \geq \frac{1,40 - 0,30}{4}$$

$$\Rightarrow 1,10 \text{ m} \geq d \geq 0,275 \text{ m}$$

$$\Rightarrow d = 30 \text{ cm}$$

$$\text{D'ou : } h_t = d + 5 \text{ cm} \quad \Rightarrow h_t = 35 \text{ cm}$$

- Vérification

On a :

$$\sigma_{SOL} = \frac{N'_U}{S} + \frac{M_U}{I/V} \dots\dots\dots(2)$$



Avec :

$$S = B^2$$

$$I = \frac{B^4}{12}$$

$$V = \frac{B}{2}$$

$$N'_u = N_u + \text{poids propre de la semelle (P.P.S)}$$

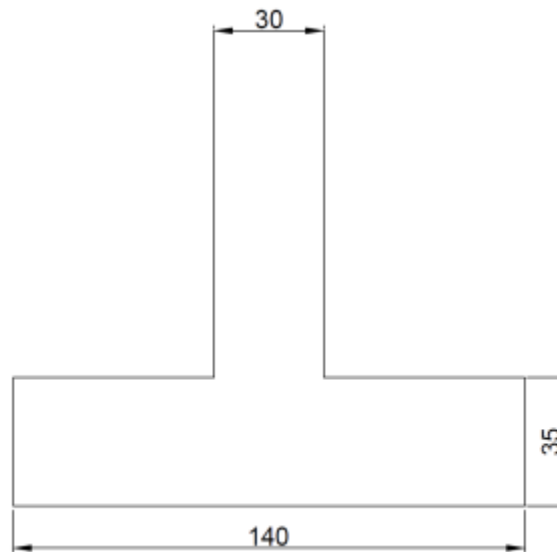
$$P.P.S = (1,40 \times 1,40) \times 0,35 \times 25 = 17,15 \text{ KN}$$

$$(2) \Leftrightarrow \sigma_{sol} = \frac{N_u + P.P.S}{B^2} + \frac{6 \times M_u}{B^3} \Rightarrow \sigma_{sol} = \frac{261,22 + 17,15}{1,40^2} + \frac{6 \times 2,46}{1,40^3}$$

$$\Rightarrow \sigma_{sol} = 147,37 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma_{sol} = 147,37 \text{ KN/m}^2 \leq \overline{\sigma_{sol}} = 250 \text{ KN/m}^2$$

La section de la semelle de  $1,40 \times 1,40 \times 0,35 \text{ m}^3$  est vérifiée.



**Figure 3.4.** Les dimensions de la semelle existante

### 3.3. Modélisation de la mosquée existant par logiciel sap2000

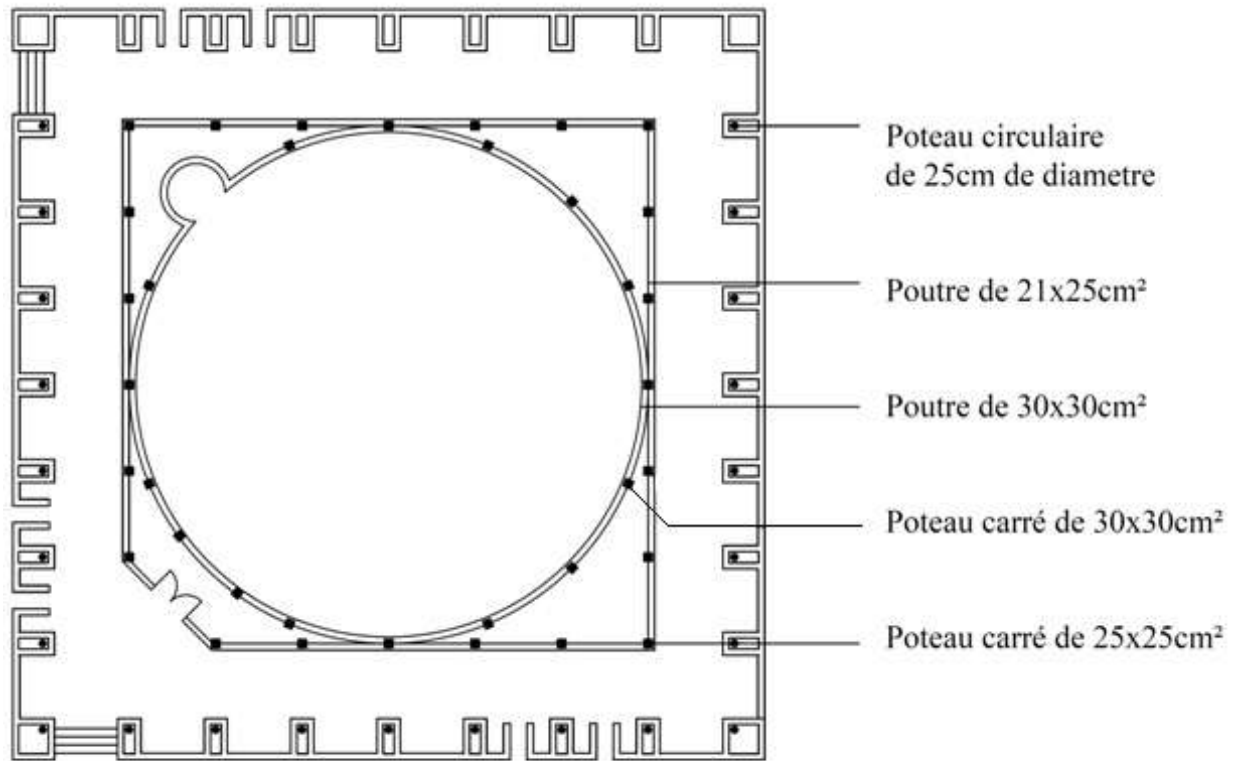
Pour modélisée une structure on a deux méthodes :

- Méthode statique équivalente.
- Méthode d'analyse modale spectrale

La première consiste en une analyse statique de la mosquée sous l'effet d'un système de forces statiques équivalentes à celui de l'action sismique. Par contre la deuxième étude,

c'est une analyse dynamique d'une structure sous l'effet d'un séisme représenté par un spectre de réponse.

Avant chaque étude et analyse d'une structure il faut des classifications nécessaires à la définition de la situation sismique étudiée, au choix de la méthode et des paramètres de calcul des forces sismiques.



**Figure 3.5.** La structure à modéliser.

Pour la modélisation de la mosquée on utilise la méthode d'analyse modale spectrale. 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.

### 3.3.1. Démarches de modélisation de la mosquée

Pour la modélisation de la mosquée on est obligée de :

- 1- Définir la géométrie de la structure.
- 2- Définir les caractéristiques géométriques et mécaniques des éléments.
- 3- Déterminer les conditions aux appuis.
- 4- Déterminer les caractéristiques du matériau.
- 5- Déterminer les chargements de la structure.
- 6- Définir et imposer le spectre de réponse.

### 3.3.2. Propriété des matériaux

Dans la construction de la mosquée, on rencontre un seul matériau (le béton armé). Le béton armé est utilisé pour les poteaux et les poutres et aussi pour la coupole. Concernant les valeurs des caractéristiques physiques et mécaniques du béton armé, elles sont déterminées sur le tableau suivant :

**Tableau 3.1.** Caractéristiques du béton armé utilisé :

Caractéristique de béton	Les valeurs
Résistance à la compression $f_{c28}$ (MPa)	22
Module d'élasticité $E$ (MPa)	$11000 \sqrt{22} = 30800$
Coefficient de Poisson, $\nu$	0,1
La masse volumique $\rho$ $\text{kg/m}^3$	2500

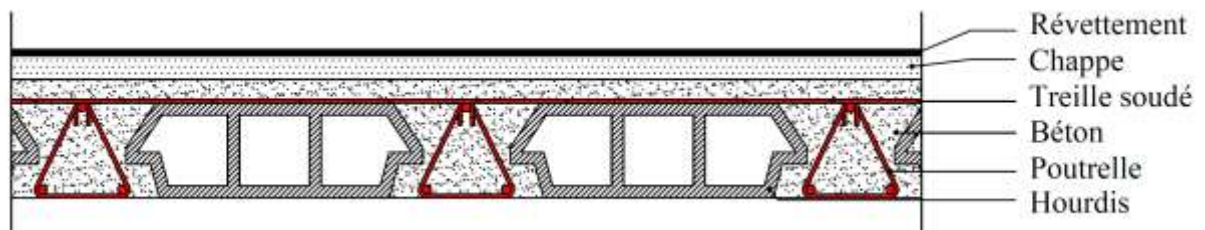
### 3.3.3. Classification de la mosquée

D'après le code RPA99 V2003, on peut classer la mosquée du cimetière des chouhadas dans une zone de sismicité faible (zone I). L'importance de cet ouvrage, est un ouvrage courant ou d'importance moyenne (G2). Cette mosquée est construite sur un site meuble (S3).

### 3.3.4. Détermination des charges permanentes et d'exploitations

Le plancher de notre mosquée est un plancher à corps creux de 21cm d'épaisseur, on peut considérer les corps creux comme des poids morts qui n'interviennent pas dans la résistance de l'ouvrage.

Plancher = poutrelles + corps creux + dalle de compression.



**Figure 3.6.** Coupe d'une dalle.

#### 3.3.4.1. Descente des charges pour la terrasse

##### - Charges permanentes (G)

- |                              |   |                                      |
|------------------------------|---|--------------------------------------|
| 1- Mortier de pose (e = 2cm) | ⇒ | $2 \times 0,2 = 0,40 \text{ KN/m}^2$ |
| 2- plancher (corps creux)    | ⇒ | $2,85 \text{ KN/m}^2$                |
| 3- chape (e = 5cm)           | ⇒ | $5 \times 0,2 = 1 \text{ KN/m}^2$    |

---


$$G = 4,15 \text{ KN/m}^2$$

**-Surcharge d'exploitation (Q)**

Terrasse inaccessible  $\Rightarrow Q = 1 \text{ KN/m}^2$ .

**3.3.4.2. Pour la coupole****-Charge permanentes (G)**

1-  $G = \rho \times e \Rightarrow G = 25 \times 0,15 \Rightarrow G = 3,75 \text{ KN/m}^2$ .

2- Enduit ( $e = 2\text{cm}$ )  $\Rightarrow 2 \times 0,2 = 0,40 \text{ KN/m}^2$ .

---


$$G = 4,15 \text{ KN/m}^2$$

**Surcharge d'exploitation (Q)**

Terrasse inaccessible  $\Rightarrow Q = 1 \text{ KN/m}^2$ .

**Tableau3. 2.** Les charges appliquées sur la mosquée :

Niveau	G (KN/m <sup>2</sup> )	Q (KN/m <sup>2</sup> )	ELU (KN/m <sup>2</sup> )	ELS (KN/m <sup>2</sup> )
Terrasse	4,15	1,00	7,10	5,15
coupole	4,15	1,00	7,10	5,15

**3.3.4.3. Maçonnerie**

Enduit en ciment ( $e = 2\text{cm}$ )  $\Rightarrow 2 \times 0,2 = 0,40 \text{ KN/m}^2$

Parpaings ( $e = 20\text{cm}$ )  $\Rightarrow 2,7 \text{ KN/m}^2$

Enduit en ciment ( $e = 2\text{cm}$ )  $\Rightarrow 2 \times 0,2 = 0,40 \text{ KN/m}^2$

La hauteur du mur  $h = 1.40\text{m}$

---


$$G = 4.9 \text{ KN/ml}$$

**3.3.4.4. L'acrotère**

Ses dimensions sont de  $0.2 \times 0.6$  avec la masse volumique de béton de  $25 \text{ kN/m}^3$ .

---


$$G = 3 \text{ KN/ml}$$

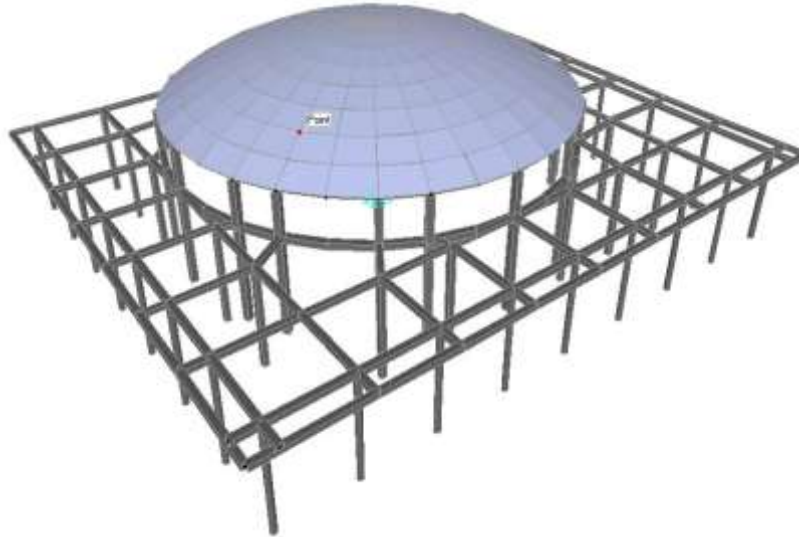
Donc on prend :

Les charges permanentes  $\longrightarrow G = 4,15 \text{ kN /m}^2$ .

Les charges d'exploitation  $\longrightarrow Q = 1 \text{ kN /m}^2$ .

Maçonnerie  $\longrightarrow G = 4.9 \text{ KN/ml}$

L'acrotère  $\longrightarrow G = 3 \text{ KN/ml}$



**Figure 3.7.** Figure 3D de la mosqué à modéliser (model sap2000).

### 3.3.5. Les données de l'analyse modale spectrale

Le code RPA fournit un spectre de réponse de calcul qui permet d'évaluer les forces sismiques pour chaque mode de vibration. Ces forces sont ensuite combinées pour obtenir la réponse de la structure.

Le spectre de calcul est en fonction de plusieurs paramètres parmi lesquels on trouve le coefficient d'accélération de zone (A), le facteur de qualité (Q), le coefficient de comportement (R), le pourcentage d'amortissement critique ( $\xi$ ).

Pour l'amortissement d'après le RPA on a une structure en béton armé on prendre  $\xi = 6\%$ .

Pour le coefficient de comportement global de la structure R le RPA donne pour un Portique autostable sans remplissage en maçonnerie rigide une valeur de **R=3,5**.

**Tableau 3.3.** Valeurs des pénalités  $P_q$  :

Critère q	$P_q$		
	Observé	N/Observé	
Conditions minimales sur les files de contreventement	0	0.05	Non
Redondance en plan	0	0.05	Non
Régularité en plan	0	0.05	Oui
Régularité en élévation	0	0.05	Oui
Contrôle de la qualité des matériaux	0	0.05	Non
Contrôle de la qualité de l'exécution	0	0.10	Non

$$Q = 1 + \sum_1^5 P_q$$

$$Q = 1 + 0.05 + 0.05 + 0.05 + 0.1$$

$$Q = 1.25$$

Pour la mosquée considérée dans cette étude, ces paramètres sont résumés dans le tableau 3.4 donné ci-dessous.

**Tableau 3.4.** Valeurs du paramètre modal spectral

Zone	$\xi$ (%)	Groupe d'usage	R	Q	Site
I	6	2	3.5	1.25	S3

### 1.3.1. Analyse modale

L'analyse modale permet de déterminer les modes et fréquences propres de la structure en l'absence des forces extérieures. Les modes et fréquences propres dépendent uniquement des matrices [K] et [M] de la structure, c'est à dire de la rigidité et de la masse.



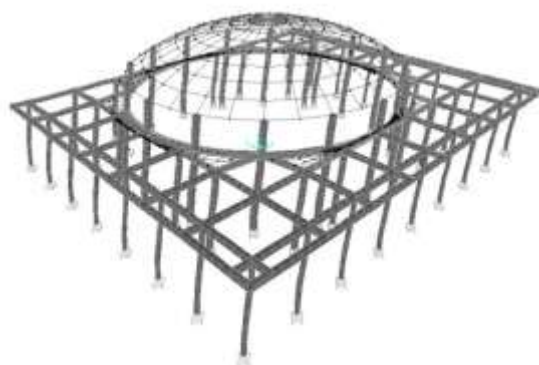
**Figure 3.8.** Le graphe du spectre.

**Tableau 3.5.** Analyse modale de la structure.

Mode	Période T (sec)	Mode de vibrations
1	0.694631	Translation suivant X
2	0.684737	Translation suivant Y
3	0.600258	Torsion suivant Z
4	0.332401	Torsion et Translation suivant X
5	0.325118	Torsion et Translation suivant Y



Mode de vibration 1



Mode de vibration 2



Mode de vibration 3



Mode de vibration 4



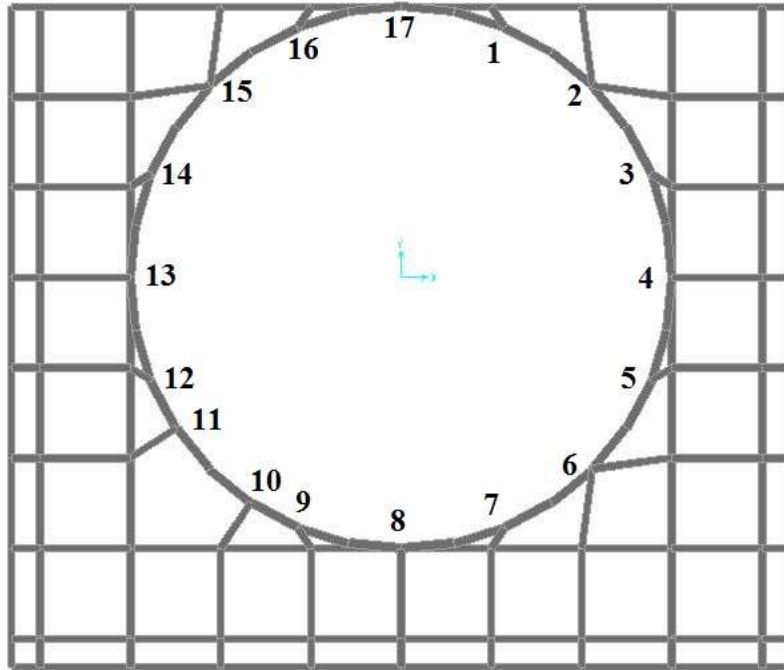
Mode de vibration 5

**Figure 3.9.** Les cinq premiers modes de vibration.

### 3.3.6. Détermination des sollicitations exercées sur les poteaux supportant la coupole

A partir du logiciel SAP2000 on va déterminer les sollicitations exercées par la coupole sur les poteaux pour déterminer les causes de dégradation des poteaux courts de la terrasse, vérifier le ferrailage et même les sections des poteaux.

Sous la coupole on a 17 poteaux courts d'une section de  $30 \times 30 \text{ cm}^2$  et d'une longueur de 2m, et sous le plancher plat on a 16 poteaux (le poteau n°15 a été arraché pour dégager l'espace pour le mihrab). Les dimensions de ces poteaux sont de  $30 \times 30 \text{ cm}^2$  et de 4.5m de longueur. La figure suivante présente ces poteaux, sont numérotés de 1 à 17. (figure 3.10)



**Figure 3.10.** Numérotation des poteaux supportant de la coupole.

Sur le tableau suivant on donne les efforts axiaux et les moments pour chaque poteau.

**Tableau 3.6.** Résultat obtenu par logiciel SAP2000 pour les poteaux représenté sur la figure 3.9

Éléments	Poteau de terrasse (L=2m, S=30 <sup>2</sup> )				Poteau RDC (L=4.5m, S=30 <sup>2</sup> )			
	N	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	S fer	N	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	S fer
1	207.52	51.88	6	22.32	229.81	-12.3	1.72	15.45
2	208.9	49.83	-1.38	21.16	273	-16.11	-4.09	19.59
3	211.89	49.88	0.9	21.28	230.32	-9.9	-5.37	15.62
4	209.66	1.45	-47.95	19.9	261.22	-2.46	4.87	13.24
5	211.43	-3.72	-49.66	21.06	231.75	0.92	9.57	14.13
6	208.31	-0.7	-49.32	20.72	269	0.96	14.53	17.14
7	213.04	3.65	22.95	21.79	216.88	-3.86	12.01	15.46

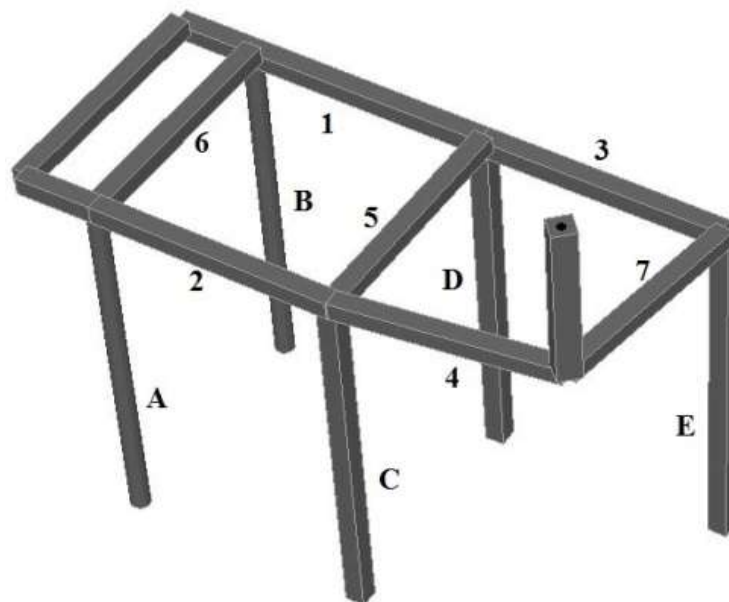


8	208.4	48.16	-1.09	19.77		264.59	-14.17	-0.79	13.32
9	162.56	-45	12.76	22.25		160.95	6.23	-2.79	14.5
10	160	-44.38	-15.9	23.20		201.42	6.07	-2.21	15.77
11	160.12	15.53	43.84	23.19		194.21	2.76	-4.44	17.14
12	159.09	-12.64	43.29	21.12		173.06	3.85	-3.39	17.26
13	201.3	8.97	47.36	20.77		247.32	-6.75	-3.38	17.74
14	<b>284.08</b>	<b>46.08</b>	<b>-37.14</b>	<b>54.12</b>		<b>357.73</b>	<b>15.69</b>	<b>24.5</b>	<b>34.82</b>
15	<b>83.08</b>	<b>1.04</b>	<b>-9.45</b>	<b>6.88</b>		/	/	/	/
16	<b>286.27</b>	<b>79.33</b>	<b>44</b>	<b>57.10</b>		<b>360</b>	<b>-18.8</b>	<b>-19.48</b>	<b>33.61</b>
17	201.26	-49.26	-4.93	20.55		235.5	11.82	2.72	14.15

On observe sur le tableau les moments des poteaux courts très intéressants par rapport les poteaux long à cause de l'influence de la coupole sur les poteaux courts.

### 3.3.7. Détermination des sollicitations exercées sur les structuraux la partie sud-est de la mosquée

La figure au dessous présente la partie Sud-est de la mosquée, la partie ou il existe le mihrab. On a aussi un poteau qui manque dans cette partie ce qui crée des poutres (poutre 4 et 7) reposant sur un seul appui (poteau E,C). Ces poutres là sont de longueur de 2.8m. A partir du logiciel SAP2000 on essaie de déterminer les moments et les ferrailages de ces poutres et ainsi que les poteaux supportant ces poutre.



**Figure 3.11.** Les éléments structuraux de la partie sud-est de la mosquée.

**Tableau 3.7.** Les résultats obtenus par logiciel SAP2000 pour les poutres de la partie Sud-est de la mosquée. Figure 3.11.

Éléments (Poutres)	$M_{\max}$ (kN.m)	Ferraillage (cm <sup>2</sup> )
1	27.72	6.69
2	18.13	5.31
3	11.43	2.85
<b>4</b>	<b>27.45</b>	<b>44.74</b>
5	22	8.87
6	17.8	4.52
<b>7</b>	<b>32.37</b>	<b>44.83</b>

On observe sur le tableau au-dessus deux valeurs importantes, on obtient un ferraillage important pour deux poutres à cause de poteau qui manque. Ces poutres sont à des dimensions de 21 x 25 cm<sup>2</sup>.

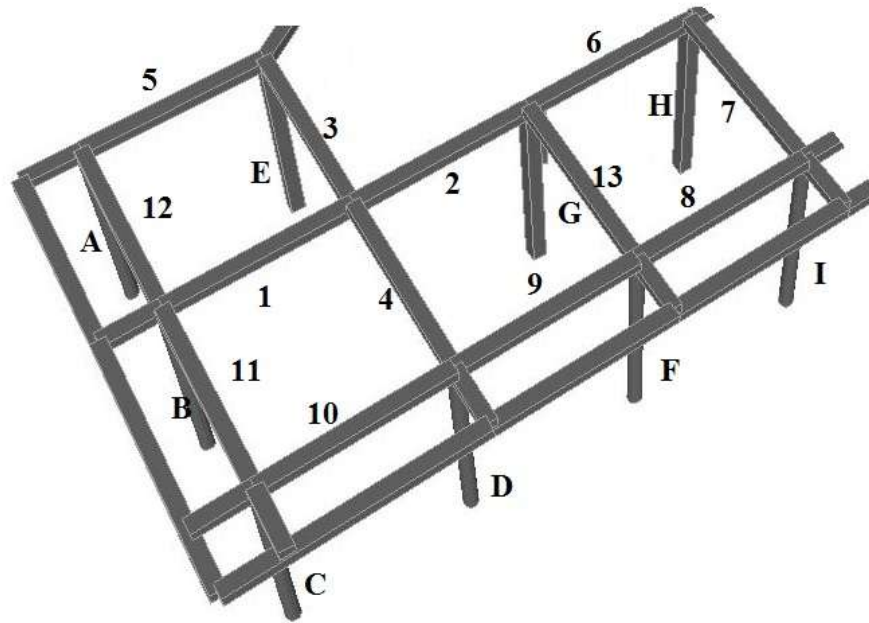
**Tableau 3.8.** Les résultats obtenus par logiciel SAP2000 pour les poteaux de la partie Sud-est de la mosquée. Figure 3.11.

Éléments (Poteaux)	Nu (kN)	$M_{\max}$ (kN.m)	Ferraillage (cm <sup>2</sup> )
<b>A (φ25)</b>	<b>117.34</b>	<b>21.26</b>	<b>14.34</b>
B (φ25)	77.59	10.64	7.05
C (25x25cm <sup>2</sup> )	107.20	15.94	7.86
D (25x25cm <sup>2</sup> )	67.78	11.45	5.2
E (25x25cm <sup>2</sup> )	91.80	23.6	9.53

Le poteau A, c'est le poteau qui reçoit la plus grand charge par rapport aux autres poteaux et c'est le seul qui demande un ferraillage double aux autres.

### 3.3.8. Détermination des sollicitations exercées sur les structuraux la partie Nord-est de la mosquée

La figure ci dessous présente la partie Nord-est de la mosquée, la partie ou il existe l'entrée principal, juste en face de cette entrée il y a un poteau arraché, se qui crée deux poutres (1,2 et 3,4) croisés, la longueur de chacune est de 6.30m, Ces dimension sont de 21 cm de hauteur et 25cm de largeur.



**Figure 3.12.** Les éléments structuraux de la partie Nord-est de la mosquée

**Tableau 3.9.** Les résultats obtenus par logiciel SAP2000 pour les poteaux de la partie Nord-est de la mosquée. Figure 3.12.

Éléments (Poteaux)	Nu (kN)	$M_{\max}$ (kN.m)	Ferrailage (cm <sup>2</sup> )
A ( $\phi 25$ )	<b>114.53</b>	<b>15.25</b>	<b>8.25</b>
B ( $\phi 25$ )	127.55	5.86	3.95
C ( $\phi 25$ )	<b>126.82</b>	<b>10.67</b>	<b>6.12</b>
D ( $\phi 25$ )	118.37	3.26	2.68
E (25x25cm <sup>2</sup> )	107.7	9.88	5.53
F ( $\phi 25$ )	112.91	6	4.03
G (25x25cm <sup>2</sup> )	104.78	8.34	5.17
H (25x25cm <sup>2</sup> )	80.58	1.35	5.01
I ( $\phi 25$ )	113.45	7.52	4.4

Pour cette partie de la mosquée il y a que le poteau A et C qui demande un ferrailage un peut élever par rapport autres poteau.

**Tableau 3.10.** Les résultats obtenus par logiciel SAP2000 pour les poutres de la partie Nord-est de la mosquée. Figure 3.12.

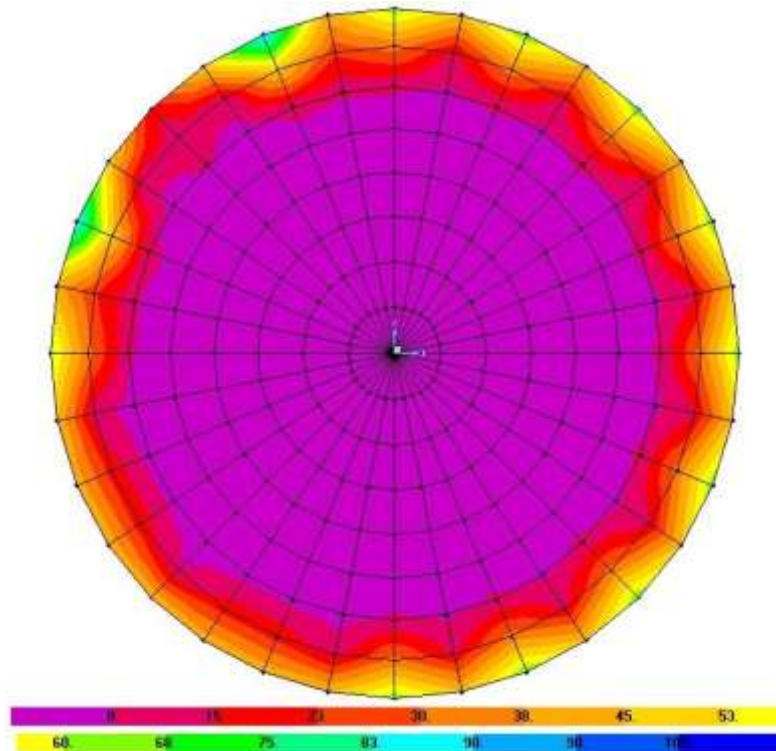
Éléments (Poutres)	$M_{\max}$ (kN.m)	Ferraillage (cm <sup>2</sup> )
<b>1</b>	<b>43.5</b>	<b>53.75</b>
<b>2</b>	<b>34.33</b>	<b>30.57</b>
<b>3</b>	<b>46.64</b>	<b>56.80</b>
<b>4</b>	<b>52.29</b>	<b>69.54</b>
<b>5</b>	<b>22.2</b>	<b>12.19</b>
6	9.43	2.83
<b>7</b>	<b>34.36</b>	<b>34.10</b>
8	2.07	1.27
9	2.45	1.26
10	15.15	4.21
11	21.62	9.61
12	13.54	3.2
<b>13</b>	<b>32.1</b>	<b>29.74</b>

Ce qui concerne les poutres de cette partie de la mosquée on observe que la moitié de poutres qui présentent cette partie demande un ferraillage très élevés a cause de poteau qui est manque et la poutre qui a des dimensions de 21x25 cm<sup>2</sup> et sa longueur est de 6.30m.

### 3.3.9. Résultats des sollicitations de la coupole à l'ELU

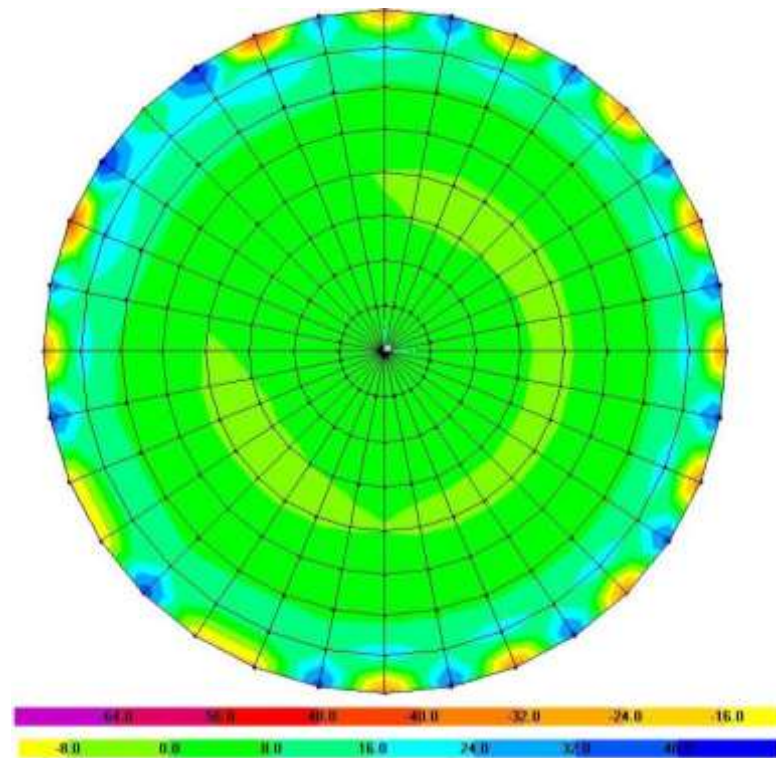
Pour la distribution des charges de la coupole on observe sur la partie Sud-est (au dessus de mihrab) la partie ou il manque le poteau, une valeur pour les efforts tranchant très petite d'environ 18kN/m.

Par contre, les deux poteaux adjacentes, sont à des valeurs d'environ 90 kN/m. Pour ce qui concerne la partie au-dessus de l'entrée de la salle de prière les contraintes ont des valeurs d'environ 40 KN/m, et pour les poteaux restes ont des valeurs entre 60 et 65 KN/m. Figure 3.13.



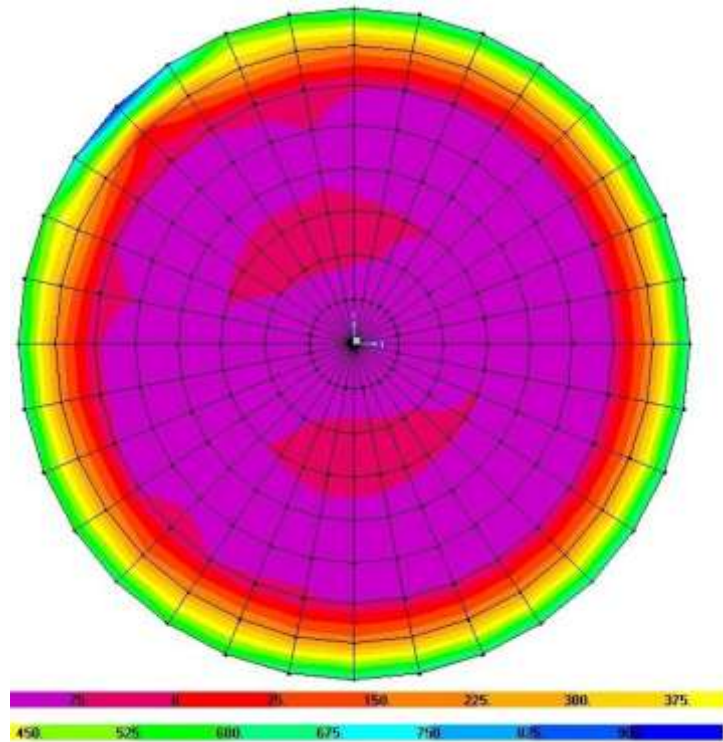
**Figure 3.13.** Résultats obtenues pour les efforts tranchant  $T_{\max}$  à l'ELU

Ce qui concerne les moments de la coupole, sur les appuis de la partie Sud-est on trouve des moments un peut élever d'une valeur d'environ 50KN.m. Pour la partie au dessus de mihrab on obtient une valeur de 6kN.m et pour les autres appuis, des moments de valeurs entre 32 et 35 KN.m. Figure3.14.



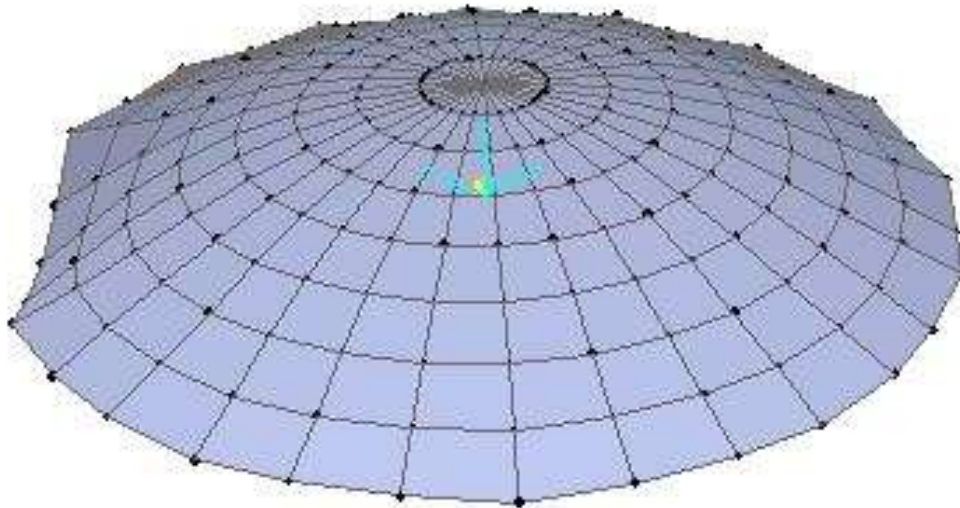
**Figure 3.14.** Résultats obtenues pour les moments  $M_{\max}$  à l'ELU.

Ce qui concerne les efforts normal, la même chose pour la partie au-dessus du mihrab on trouve une valeur très élevé d'une valeur de 912 KN/m, pour les autres poteaux les valeurs sont de 650 à 670 KN/m. Figure3.15.



**Figure 3.15.** Résultats obtenues pour les efforts normal  $N_{\max}$  à L'ELU.

Pour la déformation de la coupole elle est concentrée sur la partie Sud-est.



**Figure 3.16.** Déformation de la coupole.

### 3.3.10. Commentaire

L'analyse dynamique de la mosquée a conduit à :

- Une période fondamentale  $T = 0.694$  sec.
- Le premier et le deuxième mode sont des translations suivant les axes globaux  $x$  et  $y$  respectivement.
- Pour les poteaux courts, les valeurs de moments atteignent jusqu'à 50 KN.m, et pour les poteaux qui sont juste sous les poteaux courts, les valeurs des moments arrivent jusqu'à 15 KN.m.
- **Le ferrailage**

Pour les poteaux circulaires de diamètre 25 cm, le ferrailage maximum est de  $8.25 \text{ cm}^2$  (8 bars de  $\phi 12$ ). On observe un poteau qui est presque sur la même ligne ou il manque le poteau du mihrab demande un ferrailage de  $14.34 \text{ cm}^2$  (13 bars  $\phi 12$ ).

Pour les poteaux carrés de section  $25 \times 25 \text{ cm}^2$ , le résultat obtenu est d'environ 6 à  $9 \text{ cm}^2$  (8 bars  $\phi 12$ ).

Pour les poteaux de section  $30 \times 30 \text{ cm}^2$  inscrit dans le cercle support de la coupole, sont presque tous identique, et exigent un ferrailage de  $3.88 \text{ cm}^2$  (4 bars  $\phi 12$ ).

Le ferrailage de poteau courts est catastrophique, ces poteaux demandent un ferrailage jusqu'à  $70 \text{ cm}^2$  pour une section de  $30 \times 30 \text{ cm}^2$  (60 bars  $\phi 12$ ).

Le ferrailage des poutres de section  $21 \times 25 \text{ cm}^2$ , il est entre 10 à  $20 \text{ cm}^2$  (entre 9 et 18 bars  $\phi 12$ ), mais pour la plupart des poutres, elles exigent un ferrailage entre 3 et  $6 \text{ cm}^2$  (4 ou 6 bars  $\phi 12$ ).

Les poutres supportant les poteaux courts de dimension  $30 \times 30 \text{ cm}^2$ , sont soumis à la flexion déviée avec un ferrailage entre 5 à  $20 \text{ cm}^2$  (6 à 18 bar  $\phi 12$ ).

### 3.1. Conclusion

Après les vérifications des sections, on a trouvé qu'il existe quelques éléments ne respectant pas le règlement de construction (poteaux circulaires, poutres principaux, chaînage). Après la modélisation de la mosquée, on obtient des valeurs concernant les sections des poteaux avec ferrailage très important. Ce chapitre est un outil indispensable lors des interventions dans la mosquée, il permet de bien comprendre le comportement de la structure pour enchaîner le chapitre suivant qui est consacré au plan d'action des opérations de réhabilitation. Les résultats obtenus après la modélisation nous aide pour déterminer les éléments à renforcer.



## Chapitre IV

### 4.1. Introduction

Les travaux de réhabilitation sont de plus en plus importants et nécessitent des compétences spécifiques pour déterminer les causes des désordres et en préconiser les remèdes. Ce chapitre permet avant tout d'aborder la réhabilitation et la mise en œuvre de la mosquée. Les techniques de réhabilitation sont proposées de nous même.

### 4.2. Synthèses et réflexions sur l'analyse

Dans le chapitre précédent nous avons analysé la structure et à partir de des résultats, on localise les zones les plus sollicitées et on les compare avec les relevés pathologiques pour obtenir les causes de dégradation.

À partir des résultats de la modélisation et les relevés pathologiques des désordres, on remarque qu'il y a une convenance entre l'analyse numérique et les relevés visuelle. Par exemple les poteaux courts qui supportent la coupole sont sollicités par un moment fléchissant important par rapport l'axe X, des fois il dépasse 50 KN.m, c'est la cause principale de dégradation ou de cisaillement de ces poteaux.

On remarque aussi que les poutres utilisées dans la construction de la mosquée sont des poutres noyé (sans retombé).

Les fondations aussi sont met directement sur la terre végétal à une profonde de 80cm ce qui exige des travaux en sous œuvre, pour obtenir jusqu'à moins 3m, puisque à cette profondeur les caractéristiques du sol sont constants.

### 4.3. Le plans d'action des opérations de réhabilitation

Avant de procéder aux opérations techniques de réparation, nous avons préconisé d'assurer :

- Que certains travaux n'ont pas un effet néfaste pour la structure.
- La sécurité des travailleurs.
- La stabilité des étayages nécessaires
- Que le choix de la technique de réhabilitation peut être appliqué en réalité.

Les interventions et les travaux de réhabilitation proposés pour la mosquée seront organisés comme suit :

- 1) Reprises-en sous œuvre.
- 2) Renforcer les et les poutres et les poteaux par un chemisage.
- 3) Lier les poteaux par des longrines.
- 4) Éloigner les arbres qui sont juste à coté de la mosquée, ou mettre des écrans anti racines (métallique ou en béton armé).



- 5) Créer un circuit d'évacuation des eaux pluviales.
- 6) Réparer toutes les fissures.
- 7) Remettre et poser le carrelage.
- 8) Réaliser les poteaux qui manquent.
- 9) Refaire l'étanchéité.
- 10) Renforcer le mur périphérique.
- 11) Décaper la végétation sur la terrasse.
- 12) Régler le problème de l'acoustique.

#### 4.3.1 Action 1 : Reprise en sous-œuvre

Dans cette partie on fait descendre les fondations de la mosquée de (-1m) à (-3m) où les caractéristiques du sol sont meilleurs et plus au moins constantes. Les travaux en sous-œuvre concernent les fondations de l'extrémité de la mosquée, sous les poteaux circulaire.

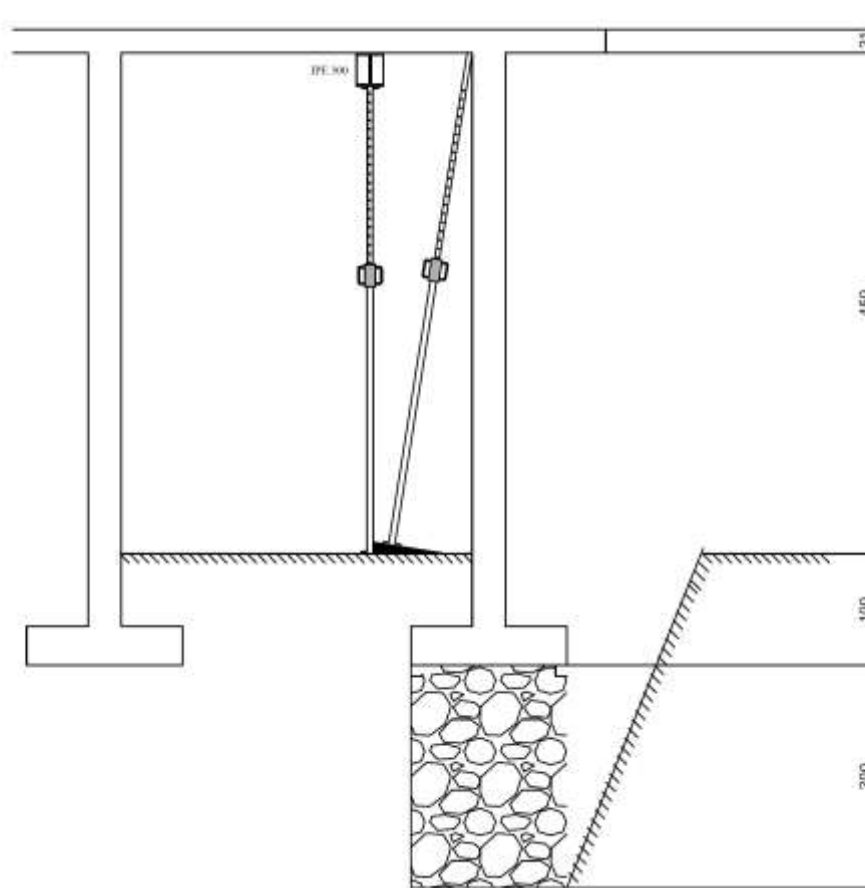
On commence par l'étaisage de la mosquée, pour cela on propose des étais métalliques (pieds droits) de grande charge avec un diamètre de 55mm.

On met ces étais sous la partie dur du plancher (poutre), si elle n'existe pas on met un profilé métallique (IPE 300 par exemple) entre plancher et les étais métalliques pour ne pas dégrader le plafond.

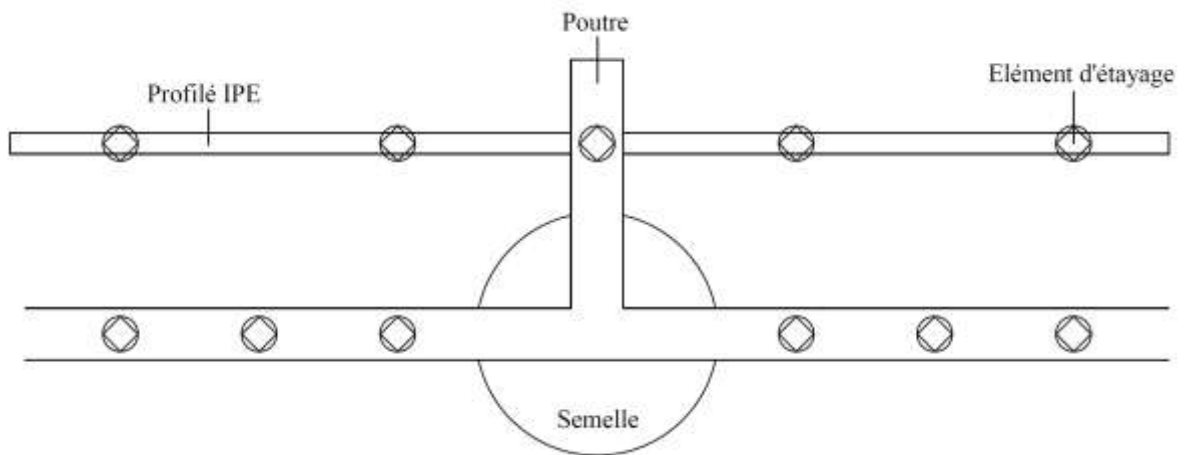
Dans le chapitre précédent on a calculé la charge permanente ( $G = 4.5 \text{ kN/m}^2$ ) et la hauteur du plancher ( $h=4.5\text{m}$ ). Donc on doit s'assurer que les éléments d'étaisage peuvent supporter le plancher, pour cela on a proposé 14 éléments après calcul.

Le pied droit qu'on a proposé est de longueur de 4.70m et de 16.8kg de poids. Il supporte une charge de 1000kg (10kN) à 4.5m de hauteur.

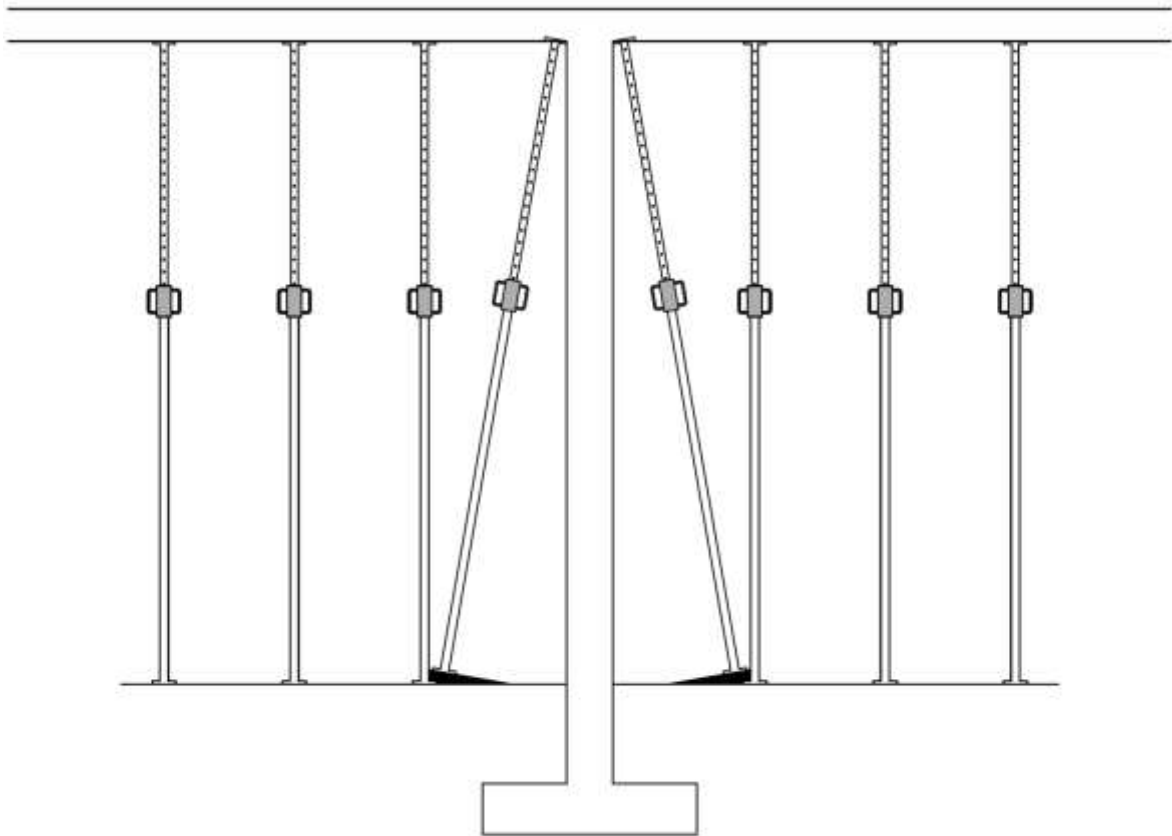
On creuse une fosse sous la semelle d'une profondeur de 2m. On la remplisse par le gros béton (mélange du béton et de la pierre) jusqu'à la limite inférieure de la semelle. **Figure 4.1.**



**Figure 4.1.** Vue latérale d'une partie concernée par les travaux sous fondation.



**Figure 4.2.** Disposition des éléments d'étayage sur la partie concernée par les travaux sous fondation (vue en plan).



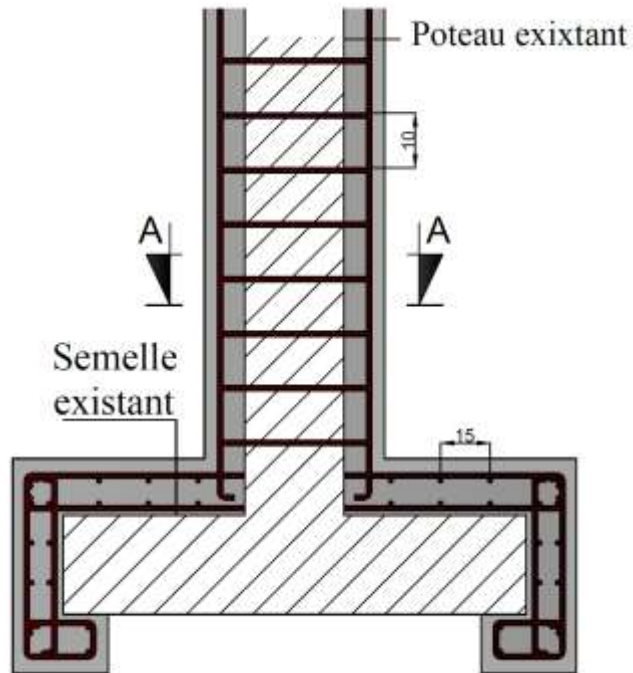
**Figure 4.3.** Disposition des éléments d'échafaudage sur la partie concernée par les travaux sous fondation (vue de face).

#### 4.3.2 Action 2 : Chemisage des poteaux

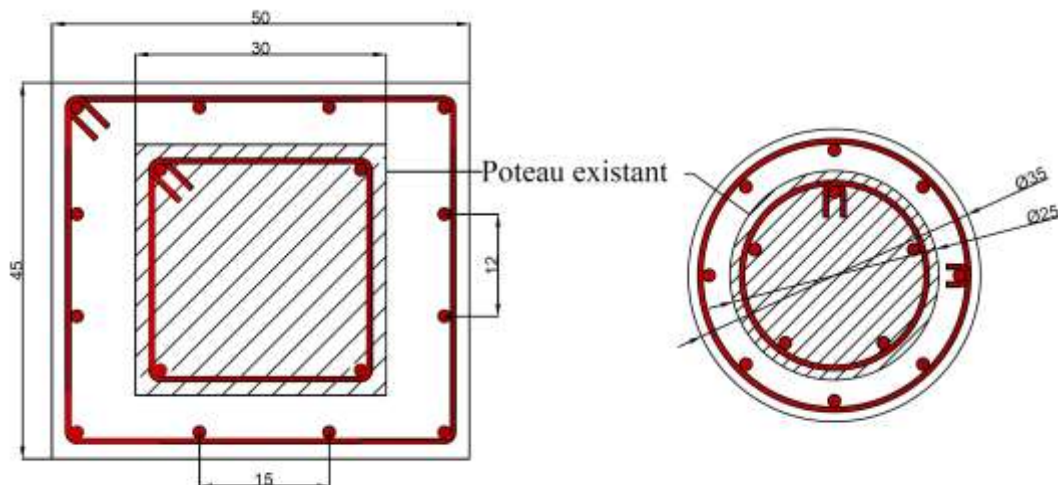
Renforcement des éléments structuraux par un chemisage des poteaux à partir des fondations jusqu'à la partie plate du planché pour les poteaux circulaire, et à partir des fondations jusqu' à la coupole pour les poteaux carrés.

Pour les poteaux circulaires on augmente le diamètre de 25 à 35cm et on propose un ferrailage longitudinal de 8T12 avec ferrailage transversal  $\Phi 8$  avec espacement de 10cm sur les nœuds et de 15cm sur la zone courante.

Pour les poteaux carrés on augmente la section de 30x30 cm<sup>2</sup> jusqu'à 45x50cm<sup>2</sup> et proposé aussi un ferrailage 12T12, et l'espacement entre 12 et 15 cm entre chaque barre, le ferrailage transversale est de  $\Phi 8$  avec espacement de 10cm sur les nœuds et de 15cm sur la zone courante.



**Figure 4.4.** Schéma représentant le chemisage du poteau



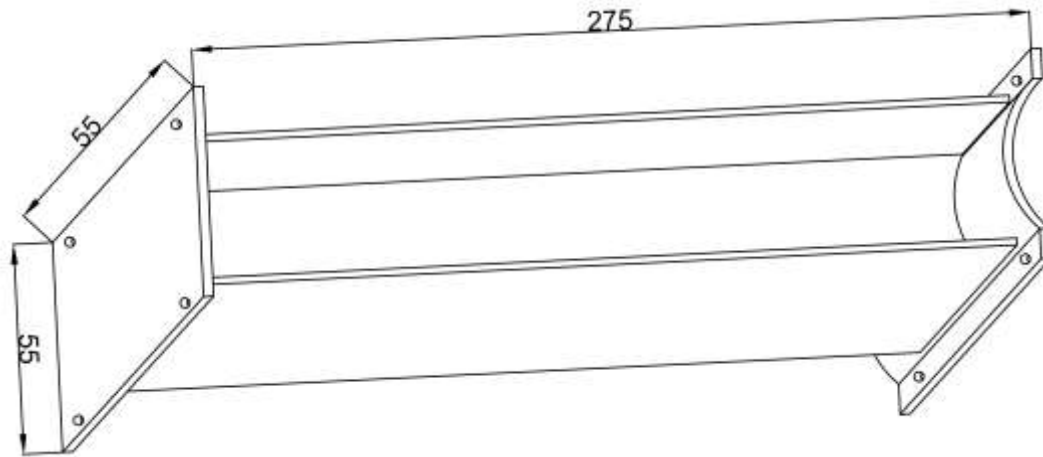
**Figure 4.5.** La coupe AA du poteau carré à gauche et du poteau circulaire à droite

### 4.3.3 Action 3 : La liaison des poteaux par des longrines

Pour la liaison des poteaux par des longrines on peut proposer plusieurs solutions

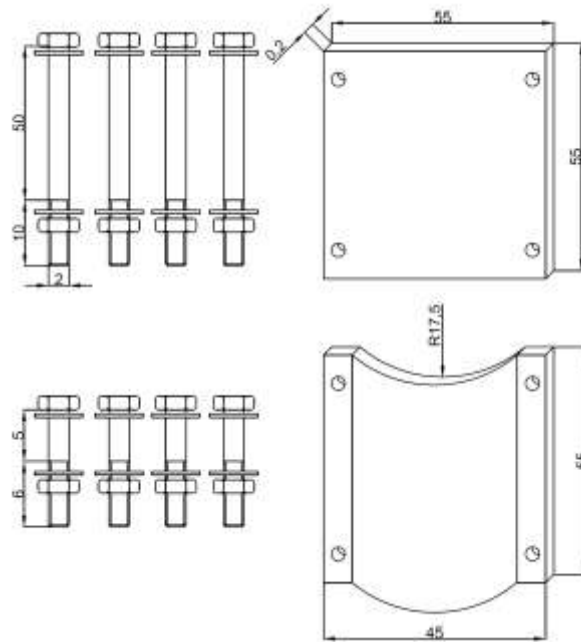
- La 1<sup>ère</sup> : des longrines métalliques

On réalise des longrines a partir du profilé HEA300 soudé à l'extrémité sur une simple platine.

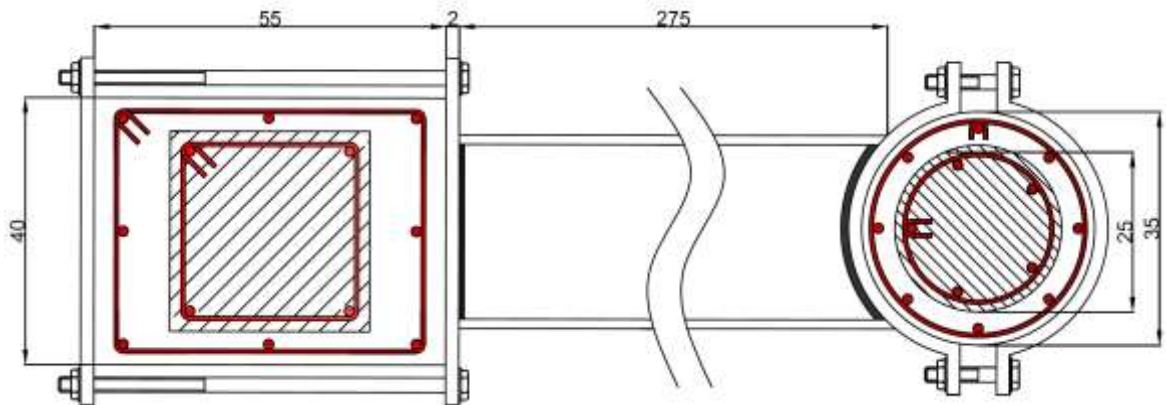


**Figure 4.6.** Longrine de profilé HEA300 soudé à l'extrémité par deux platines

L'assemblage entre longrine et les poteaux se fait à l'aide d'une autre platine et des boulons (minimum 4 boulons).



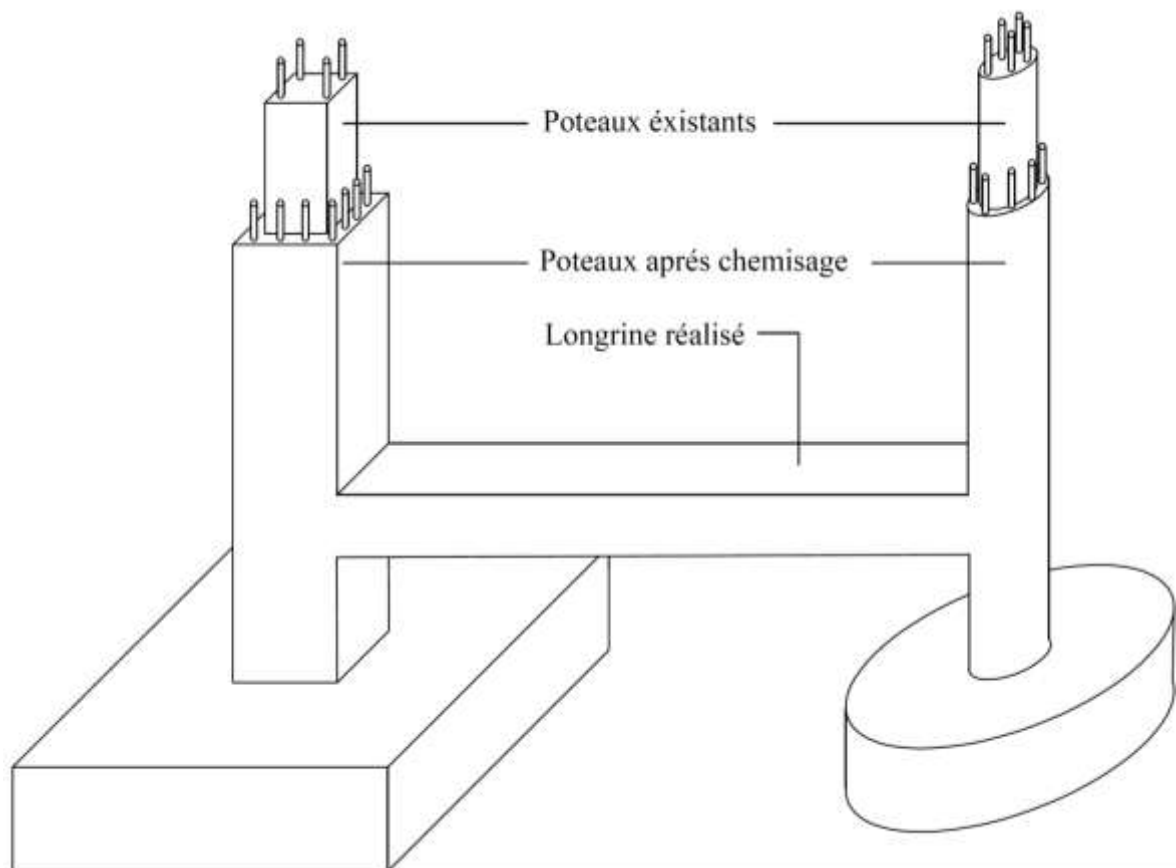
**Figure 4.7.** Les éléments de l'assemblage



**Figure 4.8.** L'assemblage des poteaux par la longrine

- Pour la deuxième solution on peut proposer des longrines en béton armé.

Cette longrine est facile à réaliser, sa coute moins chère par rapport à longrine métallique. On l'accroche directement avec le nouveau poteau, à une profondeur de 40 à 50 cm sous terrain.

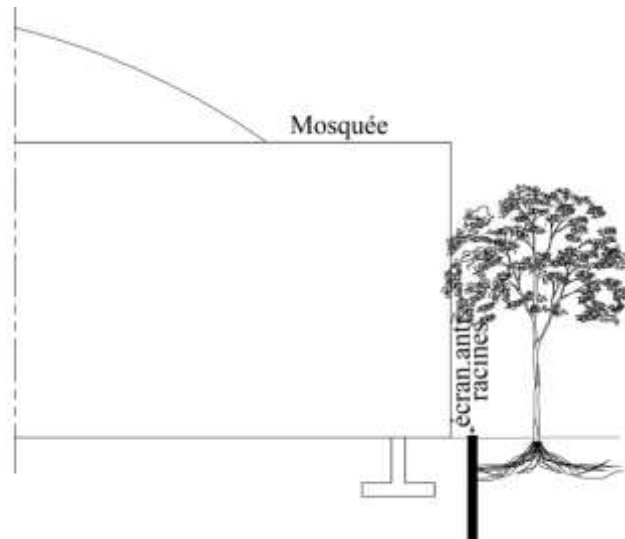


**Figure 4.9.** Longrine en Béton Armé

Notre choix est de réaliser des longrines en béton armé, puisque cette solution n'est pas onéreuse par rapport aux longrines métallique. Seulement, il faut signaler que cette technique prend un peu plus de temps.

#### 4.3.4 Action 4 : Enlevé les arbres qui sont juste à coté de la mosquée

Ces arbres gênent les fondations et ces racines sont des principales causes des infiltrations des eaux vers les semelles. On est obligé de les éloigner et de fermer toutes les ouvertures avant de réaliser un circuit de drainage en béton. Ou, on met des écrans anti-racine entre l'arbre et la mosquée, ces écrans sont réalisés soit en béton armé ou en sont des écrans métalliques (les rideaux palplanche).



**Figure 4.10.** Un arbre près de la mosquée

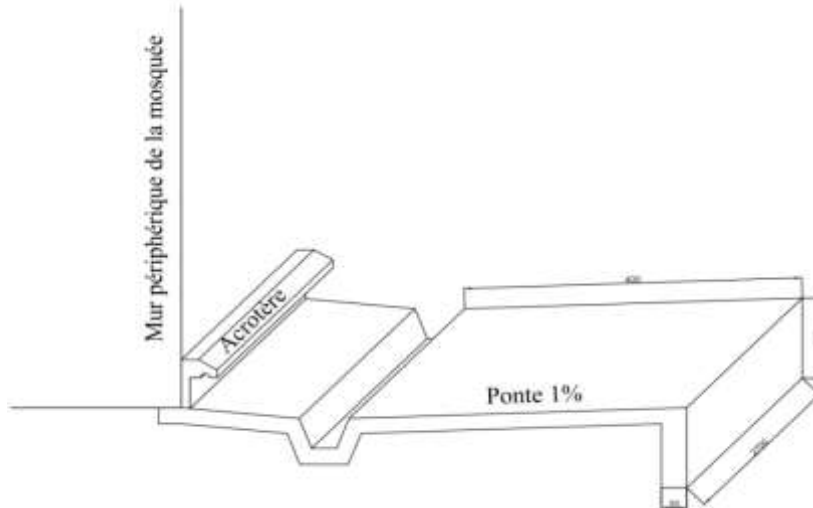
Donc on propose des écrans anti racine en béton armé puisque moins chère et on garde bien sur les arbres.

#### 4.3.5 Action 5 : drainage

On propose de réaliser un circuit d'évacuation des eaux pluviales en béton sur tout le périphérique de la mosquée. Ce réseau a l'objectif de protéger les fondations de la mosquée contre le gonflement et le retrait du sol. Il permet de recueillir les eaux et de les évacuer hors du périmètre à aménager. On couvre une surface à partir de 5 m du mur périphérique de la mosquée avec une pente pour diriger les eaux vers un canal.

On ajoute un mur en béton armé d'une profondeur d'environ 1m sur l'extrémité du circuit.

On utilise le même réseau pour évacuer l'eau de la source.



**Figure 4.11.** Le circuit d'évacuation des eaux pluviales.

#### 4.3.6 Action 6 : Traitement des fissures profondes par la technique des agrafes

Les dégâts sont très importants vu la nature des fissures. Après l'opération du diagnostique, on observe bien qu'il existe des fissures qui sont déjà réparées mais elles apparaissent de nouveau. Ça veut dire qu'on a des fressures actives.



**Photo 4.1.** Une fissure active sur la façade de la mosquée qui est déjà réparée.

Le traitement d'une fissure comporte les trois phases suivantes :

- Déterminer la nature et l'état de fissure (fissure passive ou active).
- Préparation du support ; un nettoyage pour éliminer les salissures, les débris et la poussière.
- Préparation et réalisation de l'opération



La cause principale de ces fissures revient au mouvement du sol (retrait et gonflement). Pour cela, avant de réparer ces fissures il faut protéger les semelles contre les infiltrations d'eau pour garder la teneur en eau constant au niveau des semelles.

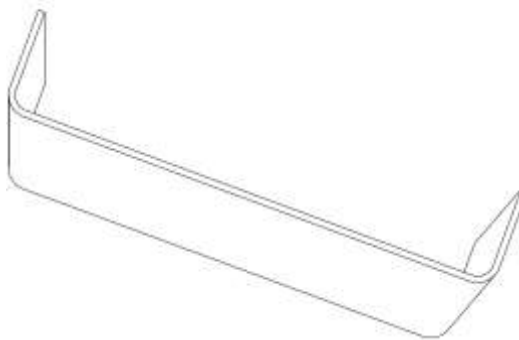
Avant de commencer l'opération, les fissures et le support doivent être débarrassés de tous les dépôts qui pourraient gêner leur traitement comme la poussière, la boue, les traces de calcite, les mousses ...

La mise en œuvre de cette technique est faite comme suite:

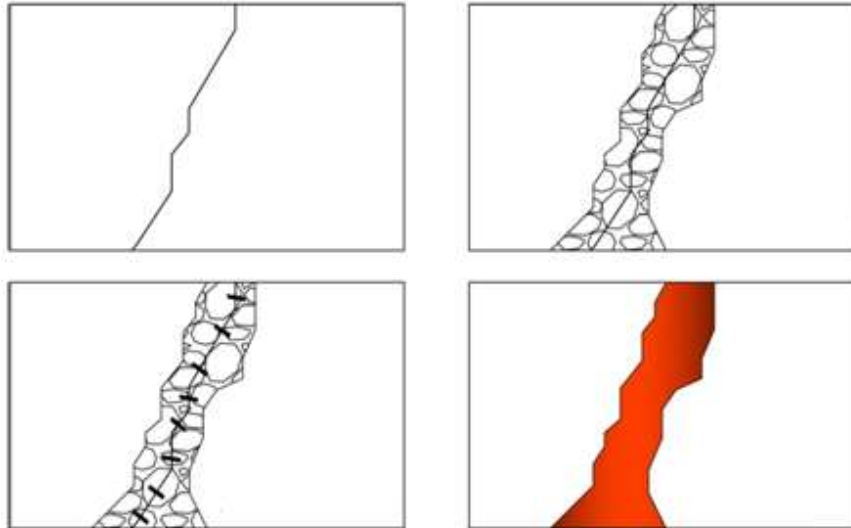
- Décaper les enduits autour de la fissure à l'aide d'un ciseau et marteau.
- Dégager les joints en mortier le long de la zone fissurée. Utiliser avec soin un ciseau ou un burin avec un marteau. Le joint obtenu doit avoir une profondeur suffisante (jusqu'au fond du parement) pour assurer la consolidation et la bonne tenue du nouveau mortier de joint.
- Nettoyer et dépoussiérer les joints avec une brosse dure.
- Humidifier les joints avec de l'eau jusqu'à saturation, pour une meilleure prise du mortier.
- mettre de mastic.
- Laissez sécher et on met à nouveau en cas de retrait.
- Préparation des agrafes en fer plat de forme U. **figure 4.12.**
- À l'aide d'un marteau et ciseau faire des trous sur les deux côtés de la fissure
- ancrer les agrafes dans les trous à l'aide de marteau.
- Finir par un mortier bien dosé en ciment **Figure 4.13.**

Pour le mastic on propose un mastic élastique microfibré en phase aqueuse, formulé pour reboucher les fissures sur supports en plâtre, ciment, béton, briques, béton cellulaire, bois, et sur tous supports absorbants ou semi-absorbants.

Ce matériau est commercialisé en cartouche.



**Figure 4.12.** Des agrafes en fer plat de forme U

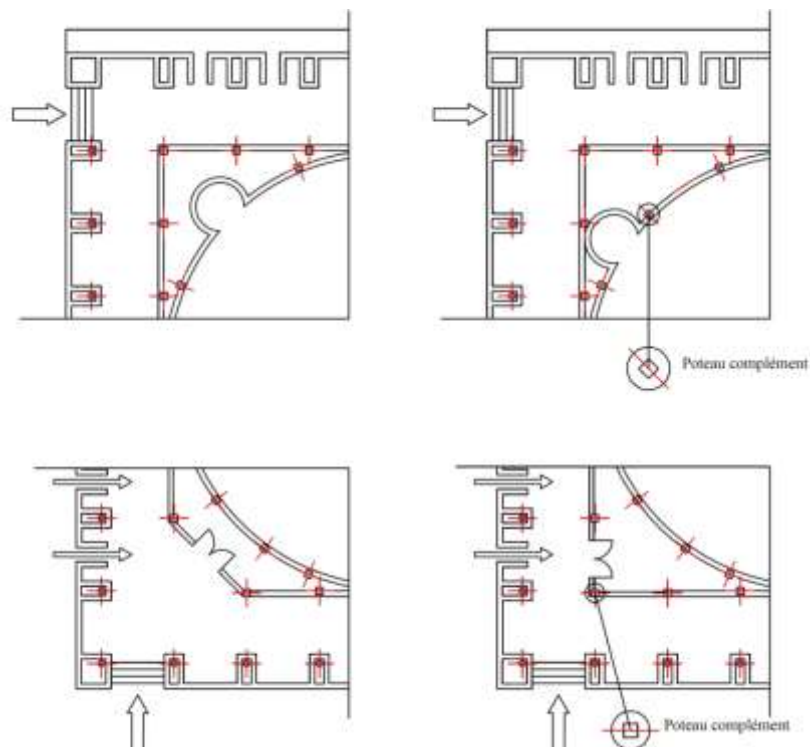


**Figure 4.13.** Traitement d'une fissure

#### 4.3.7 Action7 : Réaliser les poteaux qui manque

Pour le poteau qui manque à l'intérieur de la mosquée qui est arraché pour dégager l'espace pour le mihrab, on propose de changer la direction de la qibla à  $11^\circ$  pour réaliser un poteau d'une section de  $50 \times 40 \text{ cm}^2$ .

C'est La même chose pour le poteau arraché pour dégager l'entrée de la mosquée, on propose de changer la façade de l'entrée de la mosquée vers l'Est ( $45^\circ$ ) et reconstruire un poteau de section  $30 \times 30 \text{ cm}^2$ .



**Figure 4.14.** Remettre les poteaux à leur place

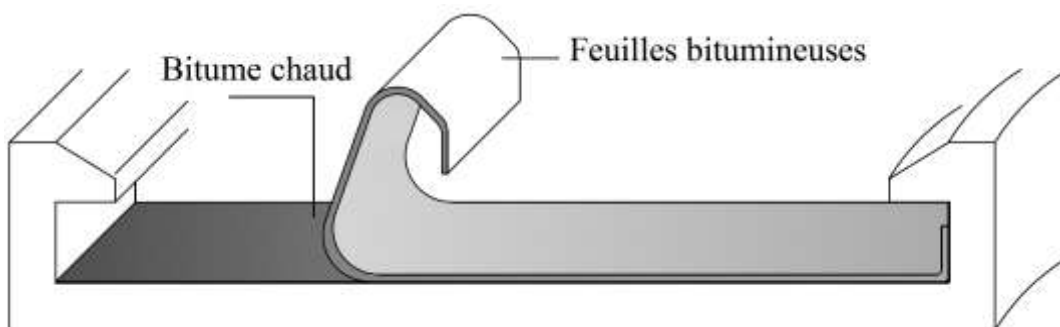
#### 4.3.8 Action8 : Remise et pose du carrelage

- Il faut tout d'abord enlever et décaper tous le carrelage existant dans les couloirs.
- mettre une Plateforme dosée bien en ciment sur une grille métallique et laisser sécher.
- Avant de commencer la pose, on doit vérifiez que le support soit parfaitement préparé. Il doit être solide, sain, propre, sec et bien sûr plan.
- Dans le cas d'une surface très poreuse, il est conseillé de passer une couche de mortier-colle à l'aide d'une brosse et de laisser sécher avant de commencer la pose du carrelage. Un simple enduit de rebouchage peut aussi faire l'affaire. Si les carreaux sont poreux, nous pouvons les faire tremper dans de l'eau afin que le mortier-colle ne sèche pas trop vite.
- Poser d'un nouveau le carrelage suivant les normes en vigueur.

#### 4.3.9 Action 9 : Refaire l'étanchéité

Les actions sont :

- Le décapage de l'ancien complexe d'étanchéité.
- La réalisation d'une forme de pente en béton ou du moins sa correction.
- Vérifier de manière systématique le bon fonctionnement des descentes des eaux pluviales et les réparer ou bien les remplacer par de nouvelles en cas de besoin.
- La pose d'un nouveau complexe d'étanchéité suivant les normes en vigueur.
- La mise en place d'une couche de protection lourde.
- Des essais de chargement en eau, sanctionnés par un procès verbal, doivent être effectués dès l'achèvement des travaux, ainsi que le pesage d'échantillons qui seront prélevés du nouveau complexe d'étanchéité.
- vérifier définitivement la qualité des travaux après les chutes de pluie.
- 



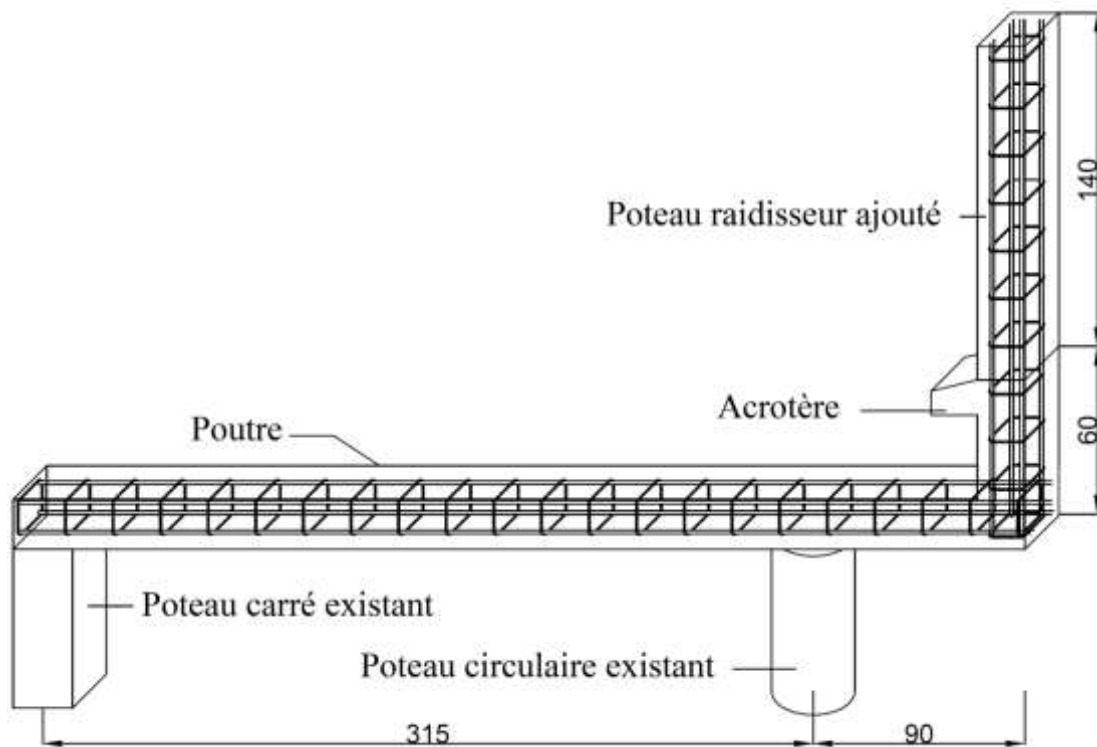
**Figure 4.15.** Mise en œuvre par collage de feuilles.

Pour la coupole nous recommandons de la protéger par une étanchéité liquide synthétique à base d'acrylique, par exemple, et la création de becquet avec gouttière.

#### 4.3.10 Action 10 : Renforcement des murs périphériques

En ce qui concerne le renforcement des murs périphériques nous recommandons d'entreprendre les actions suivantes :

- Pour pouvoir raidir les murs à l'aide des poutres existantes, il y a lieu de bourrer les réservations où se trouvent ces poutres à l'aide d'un béton légèrement dosé ( $200 \text{ Kg/m}^3$ ) pour permettre le contact avec la maçonnerie.
- Prévoir des raidisseurs verticaux et horizontaux en béton armé pour la deuxième paroi de maçonnerie installés au niveau des acrotères.
- Les armatures des raidisseurs doivent être ancrées à partir de la poutre et passées par l'acrotère en béton par perçage et accrochage à l'aide d'un ciment colle.
- Enlever les éléments métalliques en U.
- Colmater les fissures par un enduit richement dosé en ciment en additionnant un adjuvant de reprise de bétonnage (type SIKALATÉX par exemple).
- Enfin les travaux de réfection du complexe d'étanchéité doivent impérativement être menés au niveau de la terrasse plate.



**Figure 4.16.** Poteau raidisseur

#### 4.3.11 Action 11 : Décapé la végétation sur la terrasse

Il suffit de mettre un produit anti-mousse, produit spécial pour enlever toute la verdure sur les murs, trottoirs, toitures... On verse directement dessus ou avec un vaporisateur, en 48 heures tout disparaît, à faire par temps sec.

Une autre méthode plus simple, l'eau de Javel, en dilution normale du commerce, appliquée au pinceau ou au pulvérisateur (bien nettoyer la buse ensuite). Il n'y a pas de rinçage requis, le produit se neutralisant tout seul. On peut broser quand c'est sec pour faire tomber les résidus.

#### 4.3.12 Action 12 : Régler le problème de l'acoustique

La forme géométrique de la mosquée est le facteur principale qui amplifie l'écho. Pour traiter convenablement la salle de prière, on dispose de quatre principes acoustiques fondamentaux : l'absorption, la réflexion, la diffraction et la diffusion. A partir de ces quatre principes on propose deux solutions pour les murs pour limiter l'écho dans la salle et trouver une solution pour la coupole.

**Éliminer l'écho par la technique de l'absorption :** Lorsqu'une onde sonore rencontre un matériau, une partie de l'énergie incidente est absorbée, le reste est réfléchi. L'absorption se mesure en Sabines. Chaque matériau possède un coefficient qui correspond à un pourcentage d'absorption. Ce coefficient varie avec la fréquence et l'angle d'incidence, il s'exprime en alpha Sabines. Par exemple, un coefficient de 0.55, signifie que 55% de l'énergie sonore est absorbée et par conséquent 45% réfléchi.

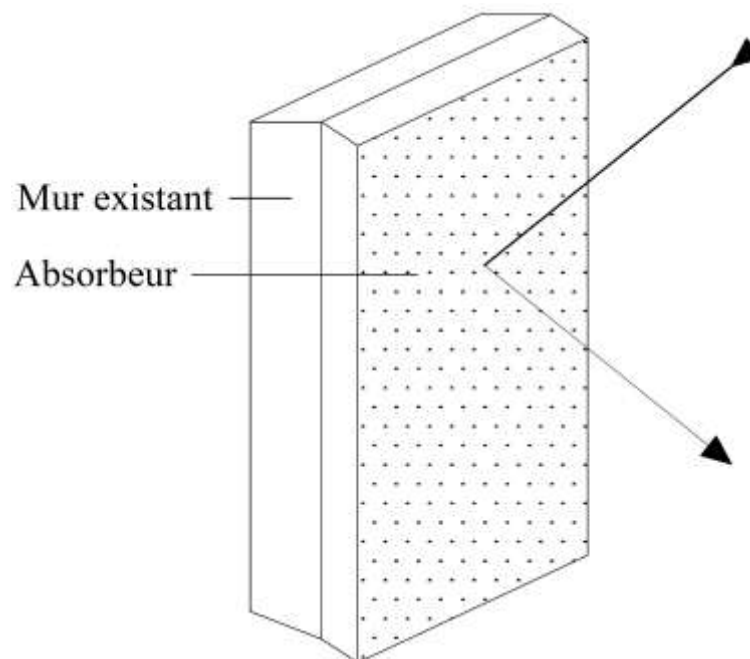


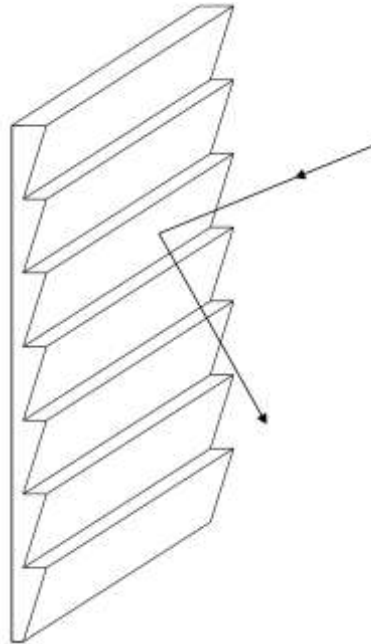
Figure 4.17. Absorbeur de son

Donc on doit proposer un matériau possédant un coefficient d'absorption élevé (absorbé le maximum de l'onde), La mousse de mélamine Isotek possède des propriétés étonnantes qui en font un matériau privilégié pour toutes les applications délicates. Son pouvoir absorbant est exceptionnel. Elle résiste au feu et n'émet pas de fumée toxique.

**Éliminer l'écho par la technique de la diffraction :** Toute surface réfléchissante dévie la trajectoire d'une onde. Ceci est vrai à condition que la taille de l'obstacle soit supérieure à la longueur d'onde du signal. Les zigzags, les surfaces convexes et les reliefs accidentés (improprement appelés diffuseurs) sont intéressants pour casser les échos flottants liés à la présence d'ondes stationnaires. Les surfaces de réflexion planes sont utiles pour modifier les proportions apparentes de la pièce. Les surfaces concaves sont à éviter car elles

focalisent l'énergie en un point, et créent des nœuds de pression dont les conséquences sont catastrophiques.

La figure suivante présente un panneau absorbant avec relief en dent de scie. Il contrôle la réverbération et supprime les échos flottants par une diffraction modérée. Usage polyvalent.



**Figure 4.18 .** Panneau absorbant avec relief en dent de scie

Entre ces deux choix, du point de vue économique on a préféré l'absorbeur de son.

Pour la coupole on propose de mettre un enduit phono-absorbant dans toutes les parties dans lesquels il est nécessaire d'éliminer les échos, les grondements et la réverbération.

On propose un enduit pré-mélangé Diathonite Premix : sa structure macroporeuse donne au matériau un coefficient d'absorption acoustique de 70%. Cela veut dire que 70% de l'onde sonore qui arrive sur la surface de Diathonite Premix est absorbée et dissipée et seulement 30% est réfléchi vers le milieu.

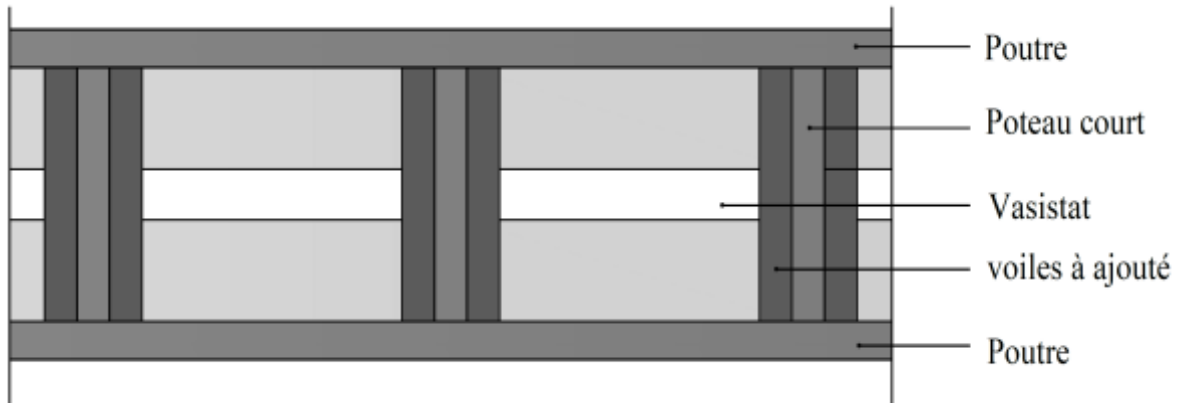
Diathonite Premix est un enduit phono-absorbant et un isolant acoustique, pré-mélangé, formulé avec du liège, argile, poudres de diatomées et de la chaux hydraulique naturelle. Diathonite Premix est utilisé pour la correction acoustique des façades et des cloisons, pour la réalisation des revêtements acoustiques phono-absorbants, pour l'élimination de l'écho, l'élimination de la réverbération et la réduction du bruit dans les pièces.

Diathonite Premix est caractérisé par son pouvoir d'isolation acoustique et phono-absorbant, mais aussi pour les bonnes caractéristiques d'isolation thermique et avec des excellentes capacités de déshumidification.

Par conséquent, il est possible de réaliser des surfaces phono absorbantes dans tous les milieux qui demandent une correction acoustique.

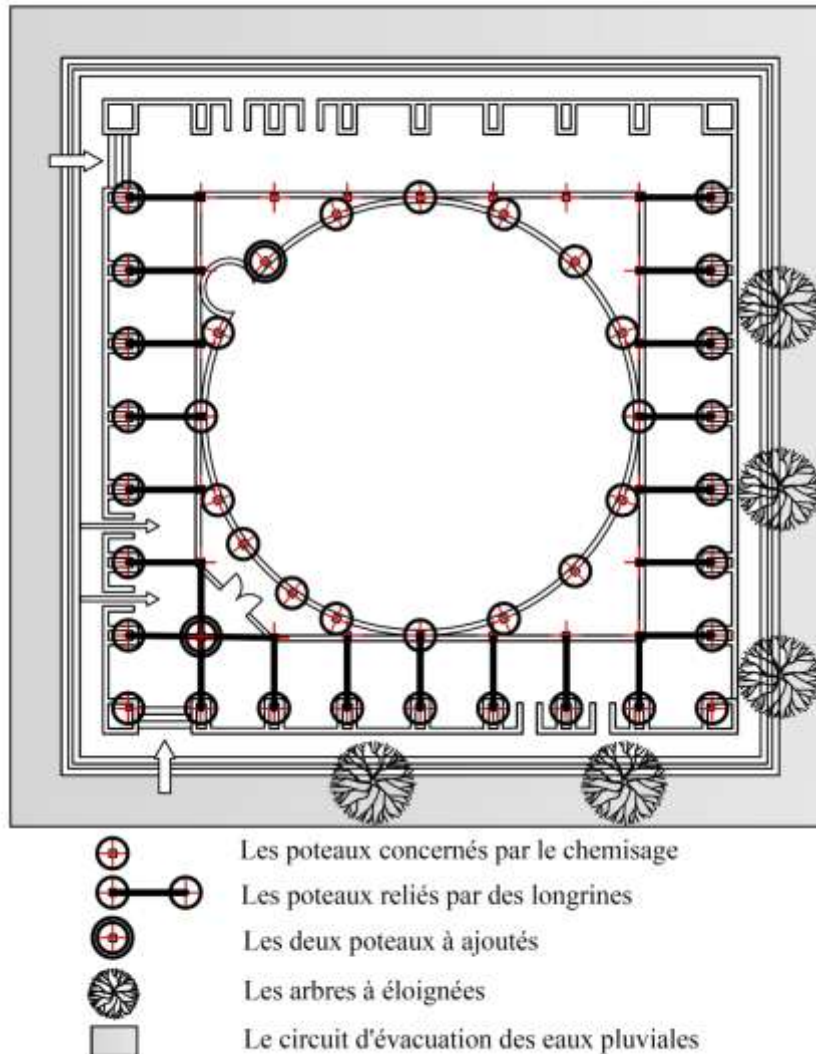
### 4.3.13 Action 13 : Éliminer le cisaillement du poteau court

Pour éviter l'effet de poteau court tout en conservant des poteaux courts, on place des voiles en béton armé sur les deux cotés de poteau.



**Figure 4.19.** Protection des poteaux courts contre le cisaillement par des voiles en béton armé.

#### 4.3.14 Les parties concernées par les travaux de réhabilitation



**Figure 4.20.** Schéma représentant l'emplacement des travaux de réhabilitation

**Tableau 4.1.** Tableau récapitulatif des opérations de réhabilitation

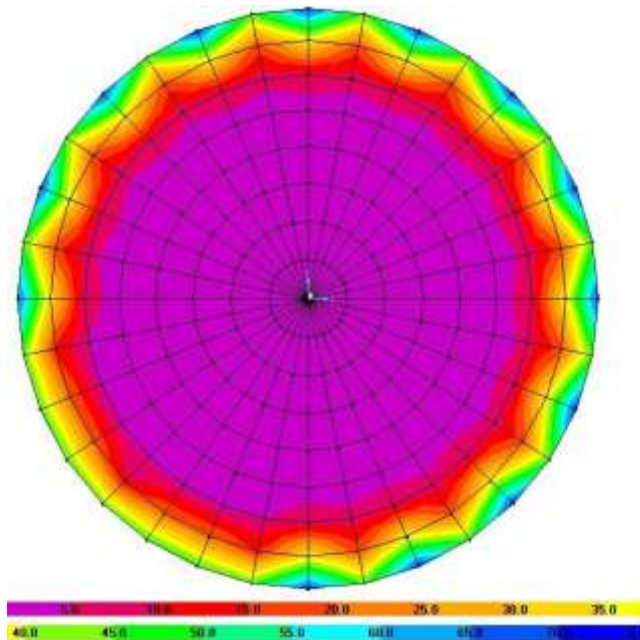
Opérations	L'emplacement	Quantitatif
Reprises-en sous œuvre	Sous fondation	23
Réseaux d'évacuation d'eau	Au niveau de sol	Refaire avec des nouvelles conduites
Traitement de fissures profondes	Sur les murs extérieurs	fissures profondes dispersés dans tous la mosquée réparés par la technique des agrafes
Traitement des fissures superficiel	Sur les murs intérieur et extérieur.	fissures dispersés dans tous la mosquée
Chemisage des poteaux	Intérieur de la mosquée	39 poteaux carrés et circulaire



Remettre et repose le carrelage	sur les couloires de la mosquée	Sur une superficie de 300m <sup>2</sup>
Réalisé des longrines	sur les couloires	21 longrines
Construction des deux poteaux	à l'entrée de la mosquée et sur le mihrab	02 poteaux en béton armé
Réparer l'étanchéité	Sur la toiture	Sur une superficie de 350m <sup>2</sup>
Panneaux anti-écho	Dans la salle de prière	Périphérique de 60m et hauteur de 4.5m
remplacement des menuiseries	Toute la mosquée	Les portes et les fenêtres
L'installation électrique et alimentation en eau	Toute la mosquée	Refaire avec les normes nouvelles
Éloigné les arbres	Périphérique de la mosquée	4 arbres

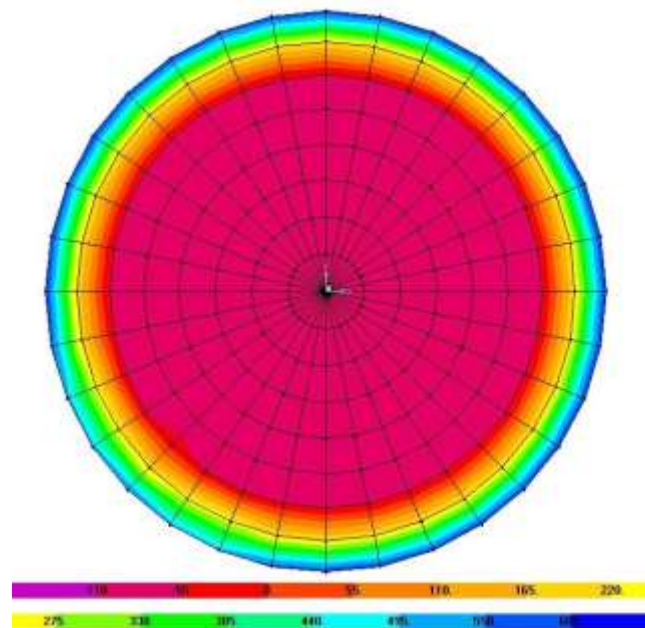
#### 4.4. Les résultats obtenus après et après les travaux de réhabilitation

Pour la distribution des efforts tranchant sur la coupole on observe sur la partie Sud-est (au dessus de mihrab) la partie ou il manque le poteau, une valeur de 65 kN/m, cette valeur est identique par rapport aux autres valeurs, et Sur la partie Nord-est juste au dessus de l'entrée principale on obtient des valeurs d'environ 40 à 45 kN/m, on peut dire que la distribution des charges est régulière.



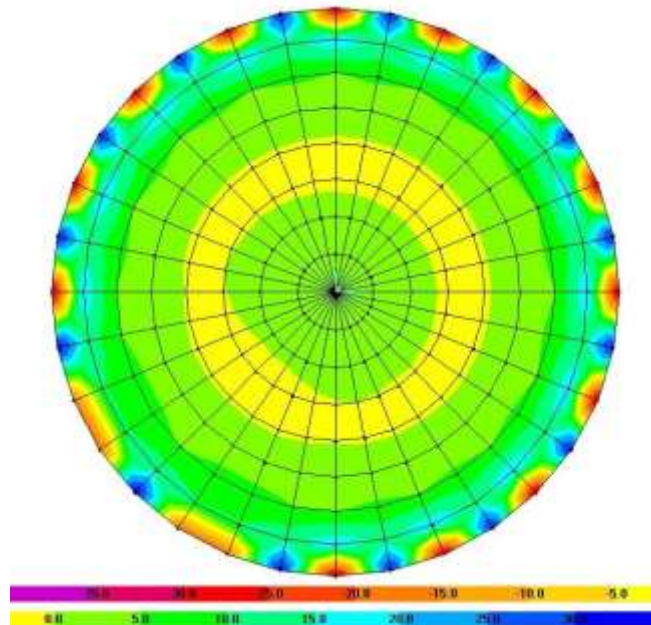
**Figure 4.21.** Résultats obtenus pour les efforts tranchant  $T_{max}$  à l'ELU.

Pour les efforts normal la distribution des charge est régulière, elle est d'environ 600 kN/m.



**Figure 4.22.** Résultats obtenues pour les efforts normal  $N_{\max}$  à L'ELU.

Ce qui concerne les moments on peut dire que les moments sont distribue d'une valeur régulière, elle est d'une valeur d'environ 30 kN.m.



**Figure 23.** Résultats obtenues pour les moments  $M_{\max}$  à l'ELU.

- Après le renforcement de la structure, et les résultats obtenus par SAP2000 on peut dire que les contraintes est distribue d'une manière régulière. On trouve presque la même valeur sur les 17 appuis supportant de la coupole soit pour les moments ou les efforts tranchant.

- Pour le ferrailage, avant la réhabilitation on trouve des valeurs obtenues jusqu'à 70 cm<sup>2</sup> pour chaque sections, mais après le renforcement cette valeur est diminuée jusqu'à 6 à 10 cm<sup>2</sup> pour chaque section.

**Tableau 2.** Tableau des périodes avant et après la modélisation.

Mode	Période avant la réhabilitation (sec)	Période après la réhabilitation (sec)	Mode de vibrations
1	0.694631	0.4620733	Translation suivant X
2	0.684737	0.451656	Translation suivant Y
3	0.600258	0.380819	Torsion suivant Z
4	0.332401	0.284658	Torsion et Translation suivant X
5	0.325118	0.277119	Torsion et Translation suivant Y

### Ferrailage :

Après la réhabilitation et l'augmentation des sections des éléments structuraux, on a modélisée de nouveaux la mosquée est on obtient les résultats suivant :

**Poteaux courts (45x50 cm<sup>2</sup>, h=2m) :** Le ferrailage obtenue est de 6.75 cm<sup>2</sup>, ce qui implique qu'on doit ferrailer les poteaux avec 6 bars de  $\phi 12$ , et nous ferrailons avec 12 bars donc on est on sécurité.

**Poteaux de (45x50 cm<sup>2</sup>, h=4.5m) :** on a obtenue un ferrailage de 13 cm<sup>2</sup>, ce qui implique qu'on doit ferrailer les poteaux avec 12 bars de  $\phi 12$ , et nous ferrailons avec 12 bars donc on est on sécurité.

**Poteaux circulaire  $\phi 35$  :** Le ferrailage il a obtenue jusqu'à 7.33 cm<sup>2</sup>, ce qui implique qu'on doit ferrailer les poteaux avec 7 bars de  $\phi 12$ , et nous ferrailons avec 8 bars donc on est on sécurité.

### 4.5. Recommandation et précaution

Il faut assurer des bons étayages en cas de reprise en sous œuvres pour la sécurité des travailleurs.

Il faut ordonner les travaux et respecter le planning : commencer par la réparation des fondations, éloigné les arbres, on passe sur les éléments structuraux tel que le chemisage et le circuit de drainage avant le traitement de fissures, puis passés aux éléments secondaires tels que les enduits, les fenêtres, plomberie, électricité...

Pour le bétonnage des éléments en béton on doit utiliser une granulométrie réduite et un adjuvant super plastifiant, éventuellement un accélérateur de durcissement ou, à défaut, lorsque les zones de réparation sont réduites (épaufures) utiliser un mortier commercial à faible granulométrie et bonne adhérence avec le vieux béton.

#### **4.6. Conclusion**

Il est important de noter que certaines techniques peuvent satisfaire à plusieurs objectifs ou que des techniques différentes peuvent être associées sur le même chantier de réhabilitation.

La réparation devra être accompagnée par un entretien et une maintenance de l'ouvrage pour maintenir une durée de vie plus long des matériaux et ralentir les dégradations ultérieures.

## Conclusion général

Notre travail consiste à faire l'étude de réhabilitation de la mosquée et la remettre en état fonctionnel ainsi que ces équipements.

Dans ce projet on a traité cette mosquée comme un le type de construction avec ces caractères principal. Nous avons permis de faire le constat suivant :

La construction de la mosquée date de l'année 1970, il convient de signaler que l'ouvrage n'a fait l'objet d'aucun contrôle technique pendant la phase de réalisation, où les exigences d'édification n'étaient pas encore celles d'aujourd'hui et notamment en matière du parasismique.

Ainsi nous avons confirmé sur terrain que la structure est sous-dimensionnée par rapport aux normes de constructions actuelles.

Rajouté à cela, la mosquée souffre de dégradations multiples : fissures dans les murs intérieurs et extérieurs, dégradation de l'étanchéité, écaillage de la peinture, tassement différentielle sur les cotés Est et Ouest de la mosquée, dégradation et cisaillement des poteaux, soulèvement de carrelages, des semelles superficielles type isolée ancrée à une profondeur insuffisantes.

Nous avons confirmé donc que ces dégradations sont dues pour la plupart à la vétusté de la mosquée (40 ans d'âge). Plus l'absence d'une maintenance systémique, le sol hétérogène constitué d'une formation d'argile et de marne de caractéristiques de gonflement et de retrait très importants. Mais le point qui pose problème. Le terme d'étude, est celui de la résistance structurale du bâtiment et notamment vis avis d'un éventuel risque de séisme.

Après modélisation de la structure et calcul par la méthode modale spectrale, la comparaison faite entre le modèle obtenu et le modèle réelle, nous a démontré la nécessité de renforcer notre structure. Un renforcement adéquat passe par une étude de vulnérabilité.

Nos conclusions correspondent alors, à des avis fondés sur nos constats , sur les parties visuelle de la structure.

Notre diagnostic aboutit finalement à une véritable prise de position, les solutions que nous avons adoptées visent le renforcement de la structure en priorité puis la résorption des autres dégradations « légères ». Nos recommandations tiennent compte, des enjeux économiques et de la faisabilité technique des travaux préconisés en matière de :

- Traitement des causes et des effets de désordres.
- Réparation, renforcement des structures.

Nous nous sommes dirigés alors vers le chemisage des poteaux et automatiquement l'augmentation des dimensions des semelles pour le renforcement de la structure.

Et pour le cas du traitement des causes des fissures sur les murs, nous avons recommandé un drainage périphérique de l'ouvrage, une protection par bandes, ainsi que le

renouveau de l'étanchéité et éventuellement la suppression des arbres qui entourent de la mosquée.

Ainsi, nous espérons que notre méthodologie de travail a abouti sur un bon diagnostic qui recommande d'entreprendre les travaux de réhabilitation adéquats pour donner à la mosquée du cimetière de « Chouhada » l'opportunité de vivre une seconde vie.

## Références bibliographiques :

- Encyclopédia Universalis France S.A. 1968, Volume 11, première publication, novembre 1971
- GEORG G. et al., Rénover le bâti – Maintenance, reconversion, extension, Lausanne, 2012, 280 p.
- Soha Gaafar et Marwa Mourad., La grande mosquée de Kairouan, un maillon clé dans l’histoire de l’architecture, Le progrès Egyptien, 29 octobre 2005, p. 3
- Olivier Gagliardini, IUP Génie Civil et Infrastructures, (2004), page 84-85.
- M.Alexander, Introduction to Soil Microbiology, New York, 1961 ; Microbial Ecology, New York, 1971.
- Roger BASTIEN, Islam art et géométrie, éd. BASTIEN, 25 juin 2010, 205p.
- Andrew Petersen, Dictionary of Islamic Architecture, éd. Routledge, 1999, p. 186.

### Sites internet :

<http://www.maison-construction.com/les-murs-porteurs/desordres-en-maconnerie.html>, [10/05/2012].

<http://www.maison-construction.com/les-murs-porteurs/fissure-dans-un-mur.html>, [10/05/2012].

<http://www.cosmovisions.com/monuDome.htm>, [25/11/2012]

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Flambage>, [12/05/2012]

[actualite.lemuslim.com/mosquees-et-ses-elements-architecturaux-qu1if2ou](http://actualite.lemuslim.com/mosquees-et-ses-elements-architecturaux-qu1if2ou), [13/12/2012]

<http://www.larousse.fr/encyclopedie/nom-commun-nom/mosqu%C3%A9/71586>, [13/12/2012]

[http://www.euratlas.com/Atlas/istanbul/fr\\_sainte\\_sophie\\_dome.html](http://www.euratlas.com/Atlas/istanbul/fr_sainte_sophie_dome.html), [13/12/2012]

[http://www.albert-videt.eu/photographie/carnet-de-route/iran\\_10-2006/autres\\_chiraz\\_04.php](http://www.albert-videt.eu/photographie/carnet-de-route/iran_10-2006/autres_chiraz_04.php), [13/12/2012]

[www.qantara-med.org](http://www.qantara-med.org), [13/12/2012]

<http://www.iqramag.info>, [13/12/2012]

## **Résumé :**

Les mosquées présentent un impact très profond sur notre vie quotidienne, pour cela il faut bien protéger et sauvegarder notre sacré.

La réhabilitation d'une mosquée a le but de réparer les éléments de la construction défectueux, et d'assurer le confort des adorateurs.

La réhabilitation consiste assurément l'un des problèmes les plus délicats que rencontre le domaine de génie civil.

Notre projet vise à faire une étude de réhabilitation de la mosquée du cimetière des « Chouhada » située à l'entrée de la ville d'El Hennaya. Elle est construite dans les années soixante dix.

Cette étude consiste après un diagnostique, à déterminer les pathologies qui touchent la mosquée et les causes de dégradation.

Les désordres constatés dans cette construction ont été traitées de façon à rechercher d'abord leurs origines et causes. Par suite, des propositions de solutions sont données pour une meilleure réhabilitation à notre cas d'étude.

## **Mots clés :**

Mosquée, réhabilitation, diagnostic, pathologie, génie civil, dégradation

## **Abstract :**

Mosques present a profound impact on our daily lives, for that we must protect and preserve our sacred.

The rehabilitation of the mosque in order to repair the defective construction elements, and ensure the comfort of worshipers.

The rehabilitation is certainly one of the most difficult problems facing the field of civil engineering.

Our project aims to study the rehabilitation of the mosque of cemetery "Shuhada" located at the entrance of the city Hennaya, this mosque is build in seventies.

This study consists after diagnosis, to identify the pathology affecting the mosque and the cause of deterioration.

The disorders observed in this construct were treated to their first look origins and causes. Therefore, proposed solutions are given for better rehabilitation in our case study.

## **Keywords:**

Mosque, rehabilitation, diagnosis, pathology, engineering, deterioration



## ملخص :

للمساجد تأثير عميق على حياتنا اليومية، لذلك يجب علينا أن حماية وصون مقدساتنا. الهدف من إعادة تأهيل المسجد هو إصلاح خلل في عناصر المنشأة، وضمان راحة المصلين. إعادة التأهيل هي بالتأكيد واحدة من أكثر المشاكل الصعبة التي تواجه مجال الهندسة المدنية. مشروعنا يهدف لدراسة إعادة تأهيل مسجد مقبرة الشهداء الموجود بمدخل مدينة الحناية، بني هذا المسجد في السبعينات. تهدف هذه الدراسة بعد التشخيص، تحديد الأعطاب التي أصابت المسجد وأسباب تدهورها. وقد قمنا في هذه الدراسة بمعالجة الاضطرابات التي وجدت في هذا المبنى وكذلك البحث عن أسبابها، وفي الأخير اقتراح حلول المعالجة.

## كلمات رئيسية:

مسجد، إعادة تأهيل، التشخيص، أعطاب، الهندسة المدنية، تدهور.